

NABU-Standpunkt Carbon Farming

Eine Analyse der Gefahren und Potenziale von Carbon Farming für den Natur- und Klimaschutz sowie Empfehlungen an die Politik für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie

Carbon Farming wird derzeit vielfach als Lösungsansatz präsentiert, der die Landwirtschaft befähige, ihrer Verantwortung in der Klimakrise gerecht zu werden. In diesem NABU-Standpunkt zu Carbon Farming wird zunächst der sozio-ökologische Kontext von Carbon Farming umrissen und im Anschluss der sozio-ökonomische und politische Kontext beschrieben. Daraufhin werden drei Carbon Farming-Ansätze vorgestellt, verglichen und bewertet. Der NABU-Standpunkt formuliert abschließend Empfehlungen für politische Entscheidungsträger*innen zur intelligenten Integration privater und öffentlicher Instrumente für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie, die zu einer sozial-ökologischen Transformation des Ernährungssystems beitragen kann.

Zusammenfassung

Die intensive landwirtschaftliche Produktion ist in hohem Maße mitverantwortlich für die sich wechselseitig verstärkenden Klima- und Biodiversitätskrisen (Campbell et al. 2017). „Carbon Farming“ wird unter anderem von der Europäischen Kommission als Lösungsansatz vorgeschlagen, um die Landwirtschaft zu befähigen, ihrer Verantwortung in der Klimakrise gerecht zu werden. Carbon Farming, Klimafarming, Humuszertifikate oder ähnliche Begriffe bezeichnen in der Praxis zurzeit den Ansatz, Entwicklungen des Gehalts von organischem Kohlenstoff (C_{org}) in landwirtschaftlich genutzten Böden positiv zu beeinflussen. Diese Beeinflussung soll gemessen oder modelliert werden, um den C_{org} -Aufbau finanziell zu honorieren. Diese privatwirtschaftliche Vergütung soll Landnutzer*innen Anreize für eine klimabewusstere Landnutzung bieten.

Carbon Farming kann aber auch in einem weiteren Sinne begriffen werden. So definiert zum Beispiel das European Environmental Bureau (EEB) Carbon Farming als „das Management von landbasierten Treibhausgasflüssen, einschließlich des Kohlenstoffvorrats und -flüssen in Böden, Materialien und der Vegetation, mit dem Ziel, Emissionen zu reduzieren und die Kohlenstoffentnahme (aus der Atmosphäre) und -speicherung (in Böden, Materialien und Vegetation) zu erhöhen“ (Nyssens 2021, eigene Übersetzung). In diesem NABU-Standpunkt zu Carbon Farming liegt der Fokus auf dem Nexus von Treibhausgasflüssen und landwirtschaftlich genutzten Böden.

Der NABU-Standpunkt analysiert anhand einer sozio-ökologischen und -ökonomischen Kontextualisierung und dreier praktischer Ansätze die Potenziale und Gefahren, die



Kontakt

NABU Bundesverband

Team Landnutzung

Simon Krämer

Ernährungssystem- und Bodenpolitik

Tel. +49(0) 151 251 811 91

simon.kraemer@NABU.de

von Carbon Farming im Hinblick auf die notwendige Transformation des Ernährungssystems ausgehen. Abschließend wird ein möglicher Weg skizziert hin zu einer intelligenten Kombination aus (regulierten) privaten Anreizen, öffentlicher Förderung und Ordnungsrecht für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie.

Die Analyse legt zunächst dar, dass Carbon Farming zurzeit als Sammelbegriff verstanden werden sollte, hinter dem sich ein breites Spektrum an Ansätzen verbirgt. Die Ansätze verbindet zwar das erklärte Ziel des Aufbaus von C_{org} in Böden, sie sind ansonsten aber sehr unterschiedlich.

Eine Gefahr, die von Carbon Farming-Ansätzen in der Landwirtschaft ausgeht, liegt in dem reduzierten Fokus auf Kohlenstoffdioxid (CO_2) begründet, wenn es um die Nachhaltigkeit des Ernährungssystems geht. Diese verengte Sichtweise kann sich z. B. in der Folge negativ auf die Biodiversität oder soziale Parameter auswirken. Es lässt sich beobachten, dass die CO_2 -Effizienz als neue „Leitkennzahl“ in der Ernährungssystempolitik platziert wird, um die bisherige Leitkennzahl „standard output“ (der durchschnittliche Geldwert der landwirtschaftlichen Produktion zum Ab-Hof-Preis) abzulösen oder zumindest zu ergänzen. Bestehende andere strukturelle (Nachhaltigkeits-)Probleme des Ernährungssystems werden dabei jedoch nicht adressiert, sondern potenziell verstetigt. Dies gilt unter anderem für die negativen Effekte intensiver Landnutzungsformen auf die Biodiversität.

Gleichzeitig gibt es aber auch Potenziale, die von den Überwachungs-, Berichts- und Verifizierungslösungen (monitoring, reporting and verification, MRV) rund um Carbon Farming und einem neuen Interesse an der Bodengesundheit für eine progressivere Ernährungssystempolitik ausgehen. Organischer Bodenkohlenstoff (C_{org}) ist die erste Kennzahl dessen MRV und Bewertungsskala (Vereinfacht: Je größer der C_{org} -Aufbau, wenn der Säuregehalt und der pH-Wert richtig gesteuert werden, desto größer die positiven Effekte für u. a. die Bodenfruchtbarkeit, die Bodenbiodiversität sowie die Wasser- und Kohlenstoffspeicherkapazität des Bodens) die Inwertsetzung einer Ökosystemleistung in der ganzen landwirtschaftlich genutzten Fläche effizient ermöglichen kann. C_{org} bietet damit die Chance, ökologisch gezielte Förderung und Regulation, in der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche effizient umzusetzen. Eine regulierte Inwertsetzung kann positive Übertragungseffekte für die Biodiversität und soziale Parameter kreieren.

Denn die Potenziale von Carbon Farming in der landwirtschaftlich genutzten Fläche sind eng mit den Potenzialen des Humusaufbaus verknüpft. Diese Möglichkeiten hängen wiederum eng mit der Vitalität der Bodenbiodiversität und der Gesundheit landwirtschaftlich genutzter Böden zusammen. Letzteres ist eine Mehrertragsstrategie, die synergetisch auf alle Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen einzahlen kann (Lal 2020).

Der lebendige Humusaufbau kann als Kaskaden-Strategie Klimaschutz (Mitigation) und -anpassung in der Landwirtschaft befähigen. Zum Beispiel fördert die intelligente Integration von Leguminosen in Fruchtfolgen den Humusaufbau (Anpassung durch z. B. verbesserte Wasserinfiltrations- und -speicherkapazität des Bodens), vermeidet gleichzeitig eine ganze Reihe von Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion und Anwendung von synthetischen Stickstoffdüngern verursacht werden, sequestriert neben Stickstoff auch 1,8 Tonnen CO_2 aus der Atmosphäre pro aufgebauter Tonne Humus (Mitigation), und erhöht die ökonomische Resilienz der landwirtschaftlichen Betriebe. Die Gesundheit unserer Böden und ihrer Organismen ist schließlich die Grundlage für die Gesundheit aller terrestrischen Pflanzen, Tiere, Menschen, der Umwelt und des

Planeten – grundlegend für den Schutz der biologischen Vielfalt, des Klimas und unserer Ernährungssicherheit.

Der NABU möchte basierend auf der hier vorliegenden Analyse folgende politische Empfehlungen in die Diskussion rund um Carbon Farming im Spannungsfeld von Klima-, Naturschutz- und Agrarpolitik einbringen:

Mindestanforderungen an private Carbon Farming-Ansätze:

- Die Stärkung der **Biodiversität** sollte bei dem Ziel, Emissionen zu reduzieren und die Kohlenstoffentnahme und -speicherung zu erhöhen, nicht nur eine verpflichtende Nebenleistung sein, sondern in den Handlungsstrategien als „Enabler“ begriffen und in den Maßnahmen integriert sein.
- Fachlich anerkannte **methodische Anforderungen** zur Bestimmung der C_{org} -Veränderungen (Probenahme, Analytik, Bestimmung C_{org} -Vorrat) müssen gegeben sein.
- Die **Langfristigkeit** des im Boden sequestrierten atmosphärischen Kohlenstoffs muss adressiert bzw. die mögliche Reversibilität der Senke einkalkuliert werden.
- **Verschiebungseffekten** muss z. B. durch gesamtbetriebliche Optimierungsstrategien vorgebeugt werden.
- Zertifikate basierend auf C_{org} dürfen **keine Landspekulationen** ermöglichen, sondern sollten regionale Wertschöpfungsstrukturen stärken. Die Nutzung dieser Zertifikate sollte Regulatorien unterliegen, die **ausschließen, dass Konsument*innen fehlgeleitet oder Emissionsreduktionen verzögert werden.**

Weitergehende Empfehlungen an die Politik für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie:

- Aufbau eines **staatlichen Förder- und Regulierungsprogramms**, das standort- und nutzungsspezifisch relative C_{org} -Veränderungen reguliert, relative Verbesserungen und den Erhalt optimaler C_{org} -Vorräte honoriert sowie langfristig Bodenbiodiversitätsindikatoren in die MRV mit einbezieht
- Förderung von **Schulung und Beratung** von Landwirt*innen zur ökologischen und ökonomischen Resilienzförderung von Agrarökosystemen, durch das Vermitteln von Handlungsfähigkeit und -Wissen für eine regenerative Bodennutzung
- **Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen** in Technologielösungen für Bodenanalyse und -nutzung, die die Handlungsautonomie und Selbstlernförderung von Landwirt*innen unterstützen
- **Integration aller Treibhausgasflüsse** landwirtschaftlicher Betriebe in Carbon Farming-Ansätze

Inhalt

Zusammenfassung	1
1. Einleitung	5
1.1 Stand der Carbon Farming-Debatte	7
1.2 Struktur des Papiers	8
2. Der sozio-ökologische Kontext von Carbon Farming.....	9
2.1 Mit lebendigem Humusaufbau biogene Kohlenstoff-, Nährstoff- und Wasserkreisläufe regenerieren	10
2.1.1 Der Einfluss des Wasserkreislaufs auf die Erderwärmung und die Regeneration des biogenen Kohlenstoffkreislaufes	11
2.2 Intensive Landnutzung - eine negative Rückkoppelungsschleife.....	12
2.3 Lebendiger Humusaufbau für produktive Resilienz.....	14
3. Der sozio-ökonomische Kontext von Carbon Farming	16
3.1 Push-Faktoren	16
3.2 Pull-Faktoren.....	17
4. Die „EU Carbon Farming Initiative“	20
5. Carbon Farming-Ansätze.....	21
5.1 Online-Tool und Förderprogramm Humuserhalt und -aufbau der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft	21
5.2 Praxisnahe Weiterbildung und Humuszertifikate der Stiftung Lebensraum und KlimaHumus GmbH	22
5.3 Das Carbon Program der Bayer AG.....	24
6. Vergleichende Bewertung und Einordnung der Carbon Farming-Ansätze	25
6.1 Methodische Anforderungen	26
6.2 Fairness	27
6.3 Reversibilität / Langfristigkeit	28
6.4 Zusätzlichkeit, Verschiebungseffekte und Trade-Offs.....	28
6.5 Bodenbildung – pädagogisch und praktisch	30
6.6 Resilienzstärkung des Agrarökosystems	31

7. Empfehlungen an die Politik – Potenziale einer biodiversitätsfördernden Carbon Farming-Strategie.....	33
Quellen.....	37

1. Einleitung

Die intensive Landnutzung ist der Haupttreiber der sich wechselseitig verstärkenden Klima- und Biodiversitätskrisen (Campbell et al. 2017). Von der Europäischen Kommission, aber auch großen Wissenschaftsinstitutionen wie der Harvard Universität, wird „Carbon Farming“ als Lösungsansatz vorgeschlagen, um die Landwirtschaft zu befähigen, ihrer Verantwortung in der Klimakrise gerecht zu werden.

Carbon Farming, Klimafarming, Humuszertifikate oder ähnliche Begriffe bezeichnen in der Praxis zurzeit den Ansatz, Entwicklungen des Gehalts von organischem Kohlenstoff (C_{org}) in landwirtschaftlich genutzten Böden positiv zu beeinflussen und die Beeinflussung zu erlauben oder zu modellieren, um C_{org} -Aufbau finanziell zu honorieren. Den Landwirten*innen wird damit der Zugang zu einem neuen Markt ermöglicht. Die privatwirtschaftliche Vergütung soll die durch die Landnutzer*innen erbrachte Stärkung der Ökosystemleistungen honorieren, um Anreize für eine klimabewusstere Landnutzung zu generieren.

Carbon Farming kann aber auch in einem weiteren Sinne begriffen werden. So definiert zum Beispiel das European Environmental Bureau (EEB) Carbon Farming als „das Management von landbasierten Treibhausgasflüssen, einschließlich des Kohlenstoffvorrats und -flüssen in Böden, Materialien und der Vegetation, mit dem Ziel, Emissionen zu reduzieren und die Kohlenstoffentnahme (aus der Atmosphäre) und -speicherung (in Böden, Materialien und Vegetation) zu erhöhen“ (Nyssens 2021, eigene Übersetzung).

Dieser NABU-Standpunkt möchte klar differenzieren zwischen dem Konzept Carbon Farming als gesamtheitlicher politischer Handlungsstrategie und der Gewinnung von CO_2 -Zertifikaten durch C_{org} -Aufbau. Carbon Farming kann, wie dieser Standpunkt zu erörtern versucht, als ganzheitliches strategisches Konzept für politische Maßnahmen definiert nach dem EEB und eingebettet in das Verständnis der Agrarökologie, einen Beitrag zu einem nachhaltigen Wandel des Ernährungssystems leisten. CO_2 -Zertifikate gewonnen durch C_{org} -Aufbau, analysiert der NABU-Standpunkt, da sie augenblicklich bereits entweder zu einer klimabewussteren Landnutzung beitragen - d.h. zum Beginn der Umsetzung von Carbon Farming in der Fläche - oder aber sozio-ökologische Missstände im Ernährungssystem verstetigt. Der NABU-Standpunkt bewertet deshalb die Carbon Farming-Ansätze, die sich u. a. durch CO_2 -Zertifikate finanzieren, anhand von qualitativen Indikatoren. Dieser NABU-Standpunkt argumentiert, dass die Politik einen Weg anstreben sollte, der private Carbon Farming-Ansätze mit negativen sozio-ökonomischen und ökologischen Auswirkungen reglementiert (jedoch ohne vielversprechende Ansätze zu blockieren) und der sich außerdem zum Ziel nimmt ein eigenes staatliches Förder- und Regulierungsprogramm zu entwickeln.

Eine Gefahr, die von Carbon Farming-Ansätzen ausgeht, liegt in dem reduzierten Fokus auf Kohlenstoffdioxid (CO_2) begründet, wenn es um die Nachhaltigkeit des Ernährungssystems geht. Diese verengte Sichtweise kann sich z. B. in der Folge negativ auf die Biodiversität oder soziale Parameter auswirken. Es lässt sich beobachten, dass die CO_2 -Effizienz als neue „Leitkennzahl“ in der Ernährungssystempolitik platziert wird,

um die bisherige Leitkennzahl „standard output“ (der durchschnittliche Geldwert der landwirtschaftlichen Produktion zum Ab-Hof-Preis) im grünen Gewand abzulösen oder zu komplementieren¹. Bestehende andere strukturelle (Nachhaltigkeits-)Probleme des Ernährungssystems werden dabei jedoch nicht adressiert, sondern potenziell verstetigt. Dies gilt insbesondere für die negativen Effekte intensiver Landnutzungsformen auf die Biodiversität.

Gleichzeitig gibt es aber auch Potenziale, die von den Überwachungs-, Berichts- und Verifizierungslösungen (MRV) rund um Carbon Farming und einem neuen Interesse an der Bodengesundheit für eine progressivere Ernährungssystempolitik ausgehen. Organischer Bodenkohlenstoff² (C_{org}) ist die erste Kennzahl dessen MRV und Bewertungsskala die Inwertsetzung einer Ökosystemleistung in der ganzen landwirtschaftlich genutzten Fläche effizient ermöglichen kann. C_{org} bietet damit die Chance, ökologisch gezielte Förderung und Regulation, in der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche effizient umzusetzen. Eine regulierte Inwertsetzung kann positive Übertragungseffekte für die Biodiversität und soziale Parameter kreieren.

Denn die Potenziale von Carbon Farming sind eng mit den Potenzialen des Humusaufbaus und Humuserhalts verknüpft. Die Möglichkeiten des Humusaufbaus in der Landwirtschaft hängen wiederum eng mit der Vitalität der Bodenbiodiversität zusammen. Die Potenziale des lebendigen Humusaufbaus zu heben ist von enormer Bedeutung, denn die Gesundung landwirtschaftlich genutzter Böden kann synergetisch auf alle Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen einzahlen (Abbildung 1). Die Gesundheit der Böden ist schließlich die Grundlage für die Gesundheit aller terrestrischen Pflanzen, Tiere, Menschen, der Umwelt und des Planeten – grundlegend für den Schutz der biologischen Vielfalt und des Klimas (Lal 2021). In der Debatte um Klimaschutz nehmen neben der Reduktion von Treibhausgas-Emissionen Kohlenstoffspeicher eine zentrale Rolle ein³. Böden sind der größte terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff (Scharlemann et al. 2014). Böden können als Senke funktionieren und atmosphärischen Kohlenstoff sequestrieren. Heute sind aber die meisten landwirtschaftlich genutzten Ackerböden – in der Folge von anthropogenen Landnutzungsänderungen – eine Kohlenstoffquelle. Dann emittieren Böden mehr Kohlenstoff, als sie sequestrieren.

¹ Siehe dazu z. B. die „Forest, Land, and Agriculture Science Based Target Setting Guidance“ (<https://sciencebasedtargets.org/resources/files/FLAG-Guidance-Public-Consultation.pdf>) oder den Report des World Resources Institute „A Pathway to Carbon Neutral Agriculture in Denmark“ (<https://www.wri.org/research/pathway-carbon-neutral-agriculture-denmark>).

² Es gibt einen Standard-Umrechnungsfaktor zur Bestimmung des Humusgehaltes im Boden: Die Multiplikation der gemessenen Menge an organischem Kohlenstoff im Boden mit 1,72 ergibt den Humusgehalt. Da Bodenökosysteme sehr standortspezifisch und vielfältig sind, kann die Anwendung dieser allgemeinen Berechnung für alle Böden ohne Berücksichtigung standortspezifischer Faktoren und der Bodenbewirtschaftung zu ungenauen Werten führen. Der Einfachheit halber wird in diesem Standpunkt nicht zwischen organischem Kohlenstoff, organischer Substanz und Humus im Boden unterschieden. Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass organische Bodensubstanz und Humus streng genommen zum größten Teil aus Kohlenstoff, aber auch aus Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel in unterschiedlichen Anteilen bestehen, während organischer Bodenkohlenstoff nur organisch gebundener Kohlenstoff ist. (<https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031122/index.php>)

³ Exekutiv-Vizepräsident der EU-Kommission Frans Timmermans (2021): „Unsere Klimaschutzmaßnahmen müssen in erster Linie die vom Menschen verursachten Emissionen verringern. Aber wir müssen auch natürliche Kohlenstoffsinken wiederherstellen und schützen, damit wir CO₂ aus der Atmosphäre aufnehmen und in unseren Böden und Wäldern speichern können.“

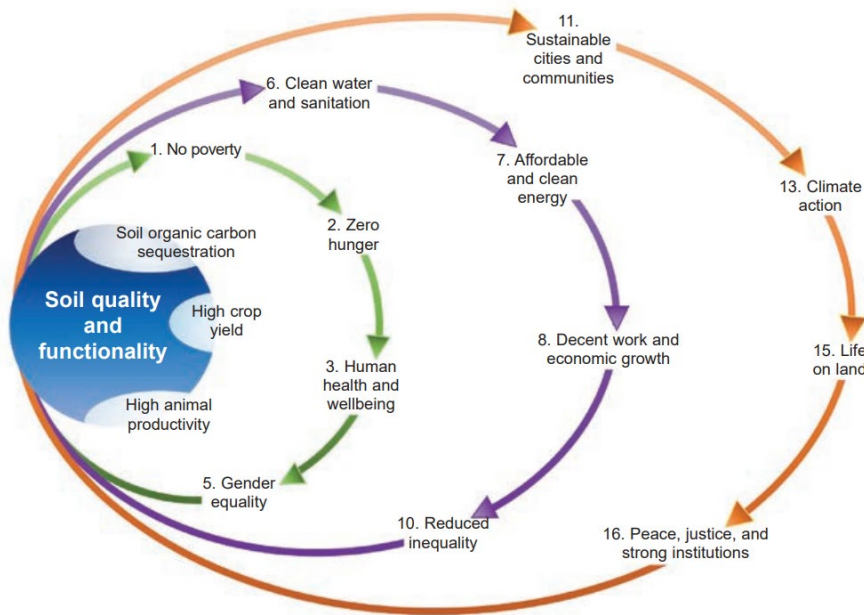


Abbildung 1: Bedeutung der Bodenqualität und -funktionalität für die Ziele der nachhaltigen Entwicklung der Vereinten Nationen (Lal 2020)

In Deutschland sind mit rund 2,5 Milliarden Tonnen Kohlenstoff (in 0 bis 100 cm Bodentiefe) landwirtschaftliche Böden mit Abstand der größte Speicher für organisch gebundenen Kohlenstoff (Jacobs et al. 2018). Der Vorrat an organisch gebundenem Kohlenstoff im Boden steht in engem Zusammenhang mit vielen essenziellen Ökosystemleistungen (Lal 2019). Jedoch sind die derzeitigen Entwicklungen im Hinblick auf den organischen Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden besorgniserregend. Die Ergebnisse einer vom Thünen-Institut durchgeführten Bodenzustandserhebung dokumentieren Verluste von durchschnittlich 0,19 Tonnen organischem Kohlenstoff (circa 0,7 Tonnen CO₂) pro Hektar und Jahr in Böden unter andauernder Ackernutzung (Jacobs et al. 2018).

Maßgeblich verantwortlich für die Verluste sind industrielle landwirtschaftliche Produktionsmethoden sowie die Folgen der ökologischen Krisen, maßgeblich des Klimawandels. Viele der Ursachen der aktuellen ökologischen Krisen liegen wiederum in der intensiven Landnutzung. Denn mit dem Verlust von Humus geht der Verlust von Kohlenstoff im Boden einher und damit der Verlust von Bodenbiodiversität und essentiellen Bodenfunktionen wie zum Beispiel der Wasserspeicherkapazität. Der Verlust dieser Bodenfunktionen wiederum verschlimmert das strukturelle Einkommensproblem der Landwirtschaft, gefährdet die Ernährungssicherung und befeuert die ökologischen Krisen – eine negative Rückkoppelungsschleife (Morris et al. 2014; Schrumpf & Trumbore 2011).

1.1 Stand der Carbon Farming-Debatte

Ansätze zur Operationalisierung von Carbon Farming kamen in Europa bis vor kurzem meist aus der Privatwirtschaft, insbesondere von Finanzdienstleistern und der Agrarindustrie, oder aus der Zivilgesellschaft in Form von gemeinnützigen Organisationen. Seit kurzem engagieren sich nun auch Regierungsbehörden und supranationale Organe wie die Europäische Kommission für anwendbare Ansätze oder Rahmenbedingungen rund um Carbon Farming. Diese verschiedenen Akteure verfolgen verschiedenste Interessen mit entsprechend großen (zu erwartenden) Unterschieden in den jeweiligen

Auswirkungen auf den Natur- und Klimaschutz und eine sozial-ökologische Transformation des Ernährungssystems.

Der vorliegende NABU-Standpunkt will versuchen, sich differenzierend und ergänzend in die Debatte rund um das Thema Carbon Farming einzubringen. Die zurzeit geführte Debatte greift nach Ansicht des NABU in drei wesentlichen Aspekten zu kurz: (1) Sie wird nicht **differenziert** geführt, d. h. es werden keine qualitativen Unterschiede der verschiedenen Carbon Farming-Ansätze diskutiert; (2) Die Debatte ist nicht **reflexiv**, d. h. der Einfluss eines Ansatzes vor allem auf die Handlungskapazität und Motivation der Landwirt*innen wird nicht diskutiert; (3) Die Debatte **kontextualisiert** sich selbst nicht, d. h. Carbon Farming wird in Deutschland bisher in keinem makroökonomischen oder komparativen Kontext diskutiert. Sozial-ökologische oder -ökonomische Übertragungseffekte und Effekte zweiter oder dritter Ordnung, die zum Beispiel Macht- und Marktasymmetrien durch weitere Markt- und Datenkonzentration im Ernährungssystem verstetigen könnten, sind in der Debatte bisher meistens abwesend⁴.

Das Europäische Umweltbüro (EEB) in Brüssel hat eine Analyse zur Entwicklung der Kohlenstoffspeicherung als Einkommensquelle für Landnutzer*innen vorgelegt. Das Ergebnis: Klimaschutz und Biodiversität könnten profitieren, doch die politisch-ökonomischen Rahmenbedingungen müssen angepasst werden (Nyssens 2021). Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden anzureichern kann zur Ernährungssicherung, der Klimamitigation und -anpassung der Landwirtschaft sowie der Regeneration der Biodiversität beitragen – es kommt aber auf die richtige Operationalisierung an. Als holistisches Ziel einer Operationalisierung von Carbon Farming (aufbauend auf der Definition des EEBs) und als Leitkriterien der folgenden Analyse und Diskussion können die Stärkung der Resilienz⁵ von Agrarökosystemen und die damit einhergehende Klimamitigation und -anpassung der Landwirtschaft sowie der Naturschutz angesehen werden.

1.2 Struktur des Papiers

Der NABU-Standpunkt vermittelt zunächst einen Überblick, wie die gekoppelten Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe in ihrer Wechselwirkung mit der Degradation der Bodenbiodiversität durch die intensive Landwirtschaft mit der Erderwärmung zusammenhängen. Damit soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, dass eine gemeinsame kausale Ursache der sich wechselseitig verstärkenden Klima- und Biodiversitätskrisen in den Landnutzungsänderungen und der intensiven Landnutzung sowie dem ein-

⁴ Siehe dazu z. B. die Veranstaltungen von MEP Martin Häusling oder der DAFA:

<https://www.martin-haeusling.eu/presse-medien/pressemitteilungen/2821-klimawandel-und-landwirtschaft-carbon-farming-was-hat-es-damit-auf-sich-und-wie-sinnvoll-ist-es.html>;

<https://www.dafa.de/2022-workshop-serie-zu-landwirtschaft-im-klimawandel/#carbonfarming>.

⁵ Eine Definition von Resilienz, die sich in Bezug auf sozial-ökologische Systeme in der Literatur herausbildet, beschreibt die Fähigkeit eines sozial-ökologischen Systems, das menschliche Wohlergehen durch Anpassung oder Transformation in Konfrontation mit Veränderungen oder externen Einflüssen aufrechtzuerhalten (Folke et al. 2016). Peter Feindt, aber auch die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) klassifizieren drei Dimensionen dieser Definition von Resilienz in Bezug auf Ernährungssysteme: (1) Robustheit als die Fähigkeit eines Systems, externen Schocks zu widerstehen, um seine Funktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten; (2) Anpassungsfähigkeit als die Fähigkeit eines Systems, seine internen Prozesse an eine sich verändernde Umwelt anzupassen und damit seine Funktionsfähigkeit zu erhalten; (3) Transformationsfähigkeit als die Fähigkeit eines Systems, sich selbst, d. h. seine Paradigmen, Identität und Produktionslogik angesichts einer sich stark verändernden Umwelt, die ohne Veränderung zur Dysfunktionalität des Systems führen würde, radikal zu verändern (Feindt und Weiland 2018; OECD 2020).

hergehenden Raubbau am Boden zu verorten ist. Das Bewusstsein dieser kausalen Ursache ist Ausgangspunkt für das Verständnis des Wirkungspotenzials, das der lebendige Humusaufbau und -erhalt als Beitrag zur Konfrontation der Klima- und Biodiversitätskrisen in sich trägt. Dieses Verständnis wird außerdem als Voraussetzung erachtet, um die Carbon Farming-Ansätze am Kriterium der Resilienz bewerten zu können.

Im nächsten Schritt wird der sozio-ökonomische Kontext von Carbon Farming umrissen und in der Folge die als legislative Rahmen positionierte „EU Carbon Farming Initiative“ und EU-Bodenstrategie.

Schließlich werden drei heterogene Carbon Farming-Ansätze vorgestellt, verglichen und bewertet. Diese Ansätze sind

- das Online-Tool und -Förderprogramm „Humuserhalt und -aufbau“ der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL),
- die praxisnahe Weiterbildung und Humuszertifikate der Stiftung Lebensraum und KlimaHumus GmbH und
- das Carbon Program der Bayer AG.

Abschließend wird ein Operationalisierungspfad für eine intelligente Integration von regulierten privaten Anreizen, öffentlicher Förderung und Ordnungsrecht im Hinblick auf eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie skizziert.

2. Der sozio-ökologische Kontext von Carbon Farming

“Ignoring the inseparable nature of climate, biodiversity, and human quality of life will result in non-optimal solutions to either crisis.”

(IPBES-IPCC 2021)

Im Folgenden werden sozio-ökologische Prozesse dargelegt, die ein Verständnis des Zusammenhangs von Landnutzung und den gegenwärtigen ökologischen Krisen vermitteln. Der Fokus wird dabei auf die gekoppelten Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe im Zusammenspiel mit der Bodenbiodiversität sowie deren Beeinflussung durch landwirtschaftliche Produktionsmethoden gelegt.

Das Bodenökosystem und damit die Grundlage von allen terrestrischen Ökosystemen entstand vor rund 420 Millionen Jahren durch die Symbiose von Pionierorganismen wie Pilzen und Algen, die als Flechten ehemals unbelebtes Gestein besiedeln konnten – der Beginn der Pedogenese. Heute gibt es eine große Vielzahl an unterschiedlichen Böden, die sich durch verschiedene physische, chemische und biologische Eigenschaften auszeichnen. Vereinfacht kann man sagen, dass gesunde Böden etwa zur Hälfte aus Poren bestehen (Schwammgefüge). Diese sind der Lebensraum der Bodenbiodiversität. Wurzeln, Pilze, Bakterien, Würmer und eine Vielzahl anderer (Mikro-)Organismen befähigen den Boden zur Erbringung der für das oberirdische Leben und den Naturhaushalt so bedeutenden Ökosystemleistungen.

2.1 Mit lebendigem Humusaufbau biogene Kohlenstoff-, Nährstoff- und Wasserkreisläufe regenerieren

Die Bildung von Humus erfordert die Photosynthese zur Aufnahme von Kohlendioxid in grünen Blättern, gefolgt von der Exsudation von Einfachzuckern aus den Pflanzenwurzeln und der Humifizierung in biologisch aktiven Bodenaggregaten. Humifizierung ist ein Prozess, bei dem einfache Kohlenstoffverbindungen zu komplexeren und stabileren Molekülen verbunden werden. Für die Bildung von Humus ist eine vitale Bodenmikrobiologie erforderlich, darunter Mykorrhizapilze, stickstoffbindende Bakterien und phosphorsolubilisierende Bakterien, die jeweils ihre Energie aus Pflanzenzuckern (flüssigem Kohlenstoff) beziehen (Zhang et al. 2020).

Grünpflanzen nutzen circa 50 – 60 %, der von der Sonne aufgenommenen Energie, um Exsudate (Wurzelausscheidungen) zu produzieren. Diese Ausscheidungen werden an Bakterien und Pilze abgegeben, die sich von dem im Exsudat enthaltenen Kohlenstoff ernähren. Die Bakterien und Pilze dienen wiederum als Nahrung für mikrobivore Organismen, wie z. B. Fadenwürmer. Mikrobivore Organismen wie Würmer scheiden überschüssigen Kohlenstoff in pflanzenverwertbarer Form aus. Würmer nehmen organische Moleküle auf und mineralisieren bzw. wandeln sie in anorganische Moleküle um, die die Pflanzen für ihr Wachstum nutzen können – das Bodennahrungsnetz.

Die organische Bodensubstanz, die tote (Humus) und lebende (Biomasse) organische Substanz, ist das endgültige und langfristige Reservoir für die von den Pflanzen während der Photosynthese aufgenommene Energie. Die organische Bodensubstanz ist der Lebensraum und die Energiequelle für das mikrobielle Leben im Boden. Der Klimawissenschaftler und Mikrobiologe Walter Jehne spricht daher auch vom soil carbon sponge (Bodenkohlenstoffschwamm) (Jehne 2017).

Wenn Kohlenstoff als Pflanzenmaterial (z. B. Stoppeln) in das Bodenökosystem gelangt, zersetzt er sich und kehrt oft als Kohlendioxid in die Atmosphäre zurück. Dagegen kann flüssiger Kohlenstoff, der über die Hyphen von Mykorrhizapilzen in die Bodenaggregate geleitet wird, schnell durch Humifizierung stabilisiert werden, sofern geeignete Bodenbewirtschaftungssysteme vorhanden sind (z. B. Pasture Cropping) (Domeignoz-Horta et al. 2021).

Vor allem Fein- oder Haarwurzeln verleihen Pflanzen, besonders mehrjährigen Gräsern, Kräutern und Leguminosen, im Zusammenspiel mit der Bodenbiodiversität das Potenzial zum Humusaufbau. Dieses Potenzial liegt vor allem bei solchen Pflanzen, die unterirdisch mehr Biomasse haben als oberirdisch und besonders viele Feinwurzeln und damit Exsudate ausbilden. Diese Eigenschaften sind Teil des besonderen Potenzials, das Dauergrasland für den lebendigen Humusaufbau und damit für die Resilienz von Agrarökosystemen in sich trägt – sowohl für die Klimamitigation, als auch für die Klimaanpassung (Terrer et al. 2021).

Heute reguliert das globale Ökosystem Erde die Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe maßgeblich durch die Nettoprimärproduktion (NPP). Der Begriff Primärproduktion bezeichnet in der Ökologie die Produktion von Biomasse durch die Produzenten – also Pflanzen – mithilfe von Licht und chemischer Energie aus anorganischen Substanzen. Die gekoppelten Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe stehen so in einem komplexen Verhältnis zu unterirdischen Organismen, die chemische Energie und anorganische Substanzen sowie Wasser für das Pflanzenwachstum verfügbar machen.

Eine Tonne Humus enthält etwa 0,55 Tonnen Kohlenstoff und etwa 1,25 Tonnen Sauerstoff und entzieht somit der Atmosphäre 1,8 Tonnen CO₂. Die Begriffe Kohlenstoffse-

questrierung und -verlust vermitteln allerdings nicht hinreichend das Prinzip, dass es sich beim Kohlenstoffkreislauf um einen Kreislauf von insgesamt 17 Nährstoffkreisläufen handelt, die für das gesunde Grünpflanzenwachstum benötigt werden, und der darüber hinaus eng mit den Wasser- und anderen Nährstoffkreisläufen verknüpft ist. Wenn Kohlenstoff als treibender Motor der biologischen Produktion verstanden wird, dann ist Wasser dessen Treibstoff, denn der terrestrische Kohlenstoffkreislauf ist eng mit dem terrestrischen Wasserkreislauf verbunden.

2.1.1 Der Einfluss des Wasserkreislaufs auf die Erderwärmung und die Regeneration des biogenen Kohlenstoffkreislaufes

Perspektivisch kann die Landwirtschaft die Erderwärmung nur dann abmildern, wenn durch eine erhöhte Primärproduktion und zunehmende unterirdische (Fein-) Wurzelmasse zusätzlicher Dauerhumus (sog. stabiler Humus) aufgebaut wird und vermehrte „Evapotranspiration“ (Abbildung 2) Ökosysteme kühlt und befeuchtet (Trenberth et al. 2009), während alle von der Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen drastisch reduziert werden.

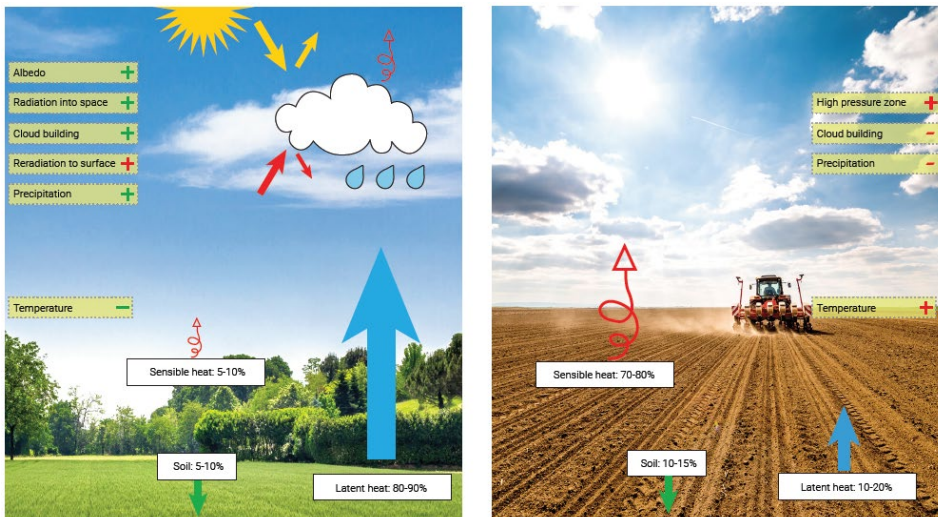


Abbildung 2: Die Evapotranspiration verringert die Bodentemperatur und erhöht die Wolkenalbedo, die Abstrahlung in den Weltraum während des Kondensationsprozesses, die Wolkenbildung und somit den Niederschlag. Das Entfernen von Vegetation erhöht die Temperatur in Bodennähe, schafft Hochdruckgebiete, die den Durchzug von Tiefdruckgebieten (und damit feuchten Luftmassen) behindern, das Wolkenbildungspotenzial und somit die Niederschläge vermindern. (Schwarzer 2021)

Ohne Wasser ist die Fähigkeit der Pflanzen zum Humusaufbau und der Sequestration von atmosphärischem Kohlenstoff nicht vorhanden⁶. In einer Metastudie, die 21 lang-

⁶ Nur 1 % der Sonnenstrahlung, die auf die Vegetationsoberfläche trifft, wird für die Photosynthese genutzt. 5 – 10 % der Sonneneinstrahlung erwärmen die Luft und über 70 % der Strahlung wird von den Pflanzen für die Transpiration genutzt, wobei flüssiges Wasser in Wasserdampf umgewandelt wird (Schwarzer 2021). In Kombination mit nicht beplanten Flächen und Wasserflächen werden schätzungsweise 50 % der Sonnenenergie, die den Boden erreicht, für die Verdunstung und Transpiration von Wasser (Evapotranspiration) verwendet. Dabei entstehen Luftmassen, die in die Atmosphäre aufsteigen, die einfallende Sonnenstrahlung reflektieren und außerdem eine Quelle für neuen Niederschlag darstellen. Von den gesamten Niederschlägen, die auf die Erdoberfläche fallen, stammen etwa 40 % vom Land (Ellison et al. 2019, Schneider et al. 2017). 60 – 80 % dieser vom Land stammenden atmosphärischen Feuchtigkeit stammt aus der

fristige Versuchsflächen mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsregimen umfasste, die über den gesamten nordamerikanischen Subkontinent verteilt waren, fanden Insam et al. und Heinemeyer schon 1989 und 1990 einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Klima und der organischen Kohlenstoffbilanz. Als besten klimatischen Prädiktor fanden sie das Verhältnis von Niederschlag zu Verdunstung.

Aus dem Verständnis der gekoppelten terrestrischen Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe lässt sich ein vollständigeres Bild der Auswirkungen der Landnutzung auf die ökologischen Krisen, insbesondere die Erderwärmung, zeichnen. Die Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe sind eng miteinander verbunden. Wenn sich die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre verändert, verändern sich das Klima und der gekoppelte Wasserkreislauf. Der Wasserkreislauf wiederum reguliert die Verfügbarkeit der für die Kohlendioxidaufnahme der Pflanzen erforderliche Bodenfeuchtigkeit (Gentine et al. 2019). Exemplarisch sind die gemessenen Unterschiede in der Oberflächentemperatur von Wald und brachliegendem Acker in einer tschechischen Studie dargestellt und unterscheiden sich erheblich (Hesslerová et al. 2013) (siehe Abbildung 3).

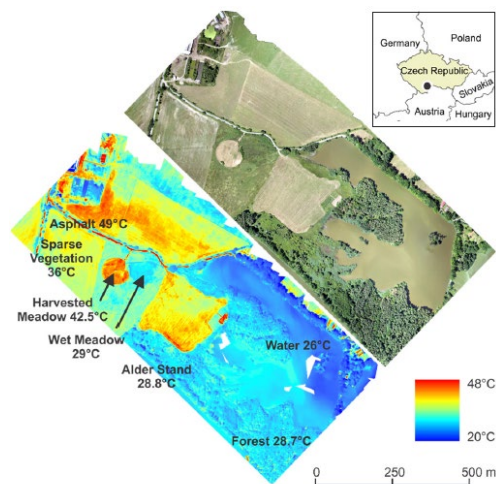


Abbildung 3: Oberflächentemperaturverteilung in einer gemischten Landschaft mit Wald (Hesslerová et al. 2013)

2.2 Intensive Landnutzung - eine negative Rückkoppelungsschleife

Als bündelnder Feedback-Indikator der Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe sowie des regionalen Ökosystems sind der Humus, als langfristiges Reservoir von Energie und als Lebensraum, sowie die Bodenbiodiversität eine ausschlaggebende Referenz (Wagg et al. 2019).⁷ Der Einfluss von Landnutzung auf den Boden kann nach dem Bodenwissen-

Transpiration von Pflanzen (Jasechko et al. 2013). Es ist eine relativ neue wissenschaftliche Erkenntnis, dass der Einfluss des Menschen auf den Wasserdampf in der Atmosphäre im Vergleich zur Verdunstung aus den Ozeanen nicht zu vernachlässigen ist. Diese Einsicht wurde erst im August 2021 in der wissenschaftlichen Kommunikation der UNEP veröffentlicht. Der Einfluss des Menschen auf den atmosphärischen Wasserdampf ist vor allem auf die größtenteils vom Ernährungssystem verursachten Landnutzungsänderungen zurückzuführen (Kravčík et al. 2007, Mahmood et al. 2014).

⁷ So wie der Boden als bündelnder Feedback-Indikator eines Agrarökosystems dienen kann, kann der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) im Boden als vorläufiger bündelnder Feedback-Indikator für die Bodengesundheit dienen. Der C_{org} -Gehalt hat im Vergleich zu den anderen Indikatoren für die Bodengesundheit zwei wesentliche Vorteile. Zum einen lässt sich aus seiner Taxonomie ableiten, dass die Zunahme des C_{org} -Gehaltes im Allgemeinen (wenn der Säuregehalt und der pH-Wert richtig gesteuert werden) immer eine wünschenswerte Entwicklung ist. Der zweite

schaftler Ladi Miko konzeptualisiert werden als Akkumulations- oder „Ausbeutungsregime“ (Exploitation Regime) (siehe Abbildung 4). Das Akkumulationsregime ermöglicht den zusätzlichen Aufbau oder Erhalt von Dauerhumus (sog. stabiler Humus).

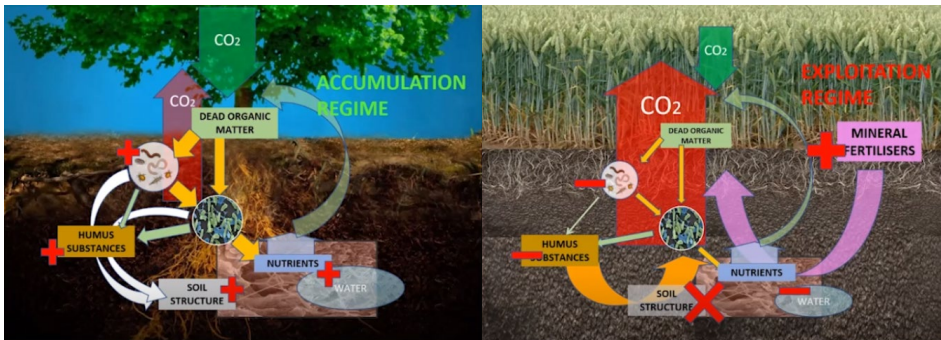


Abbildung 4: Akkumulations- und Exploitationsregime der Landnutzung (Miko 2021)

Das Ausbeutungsregime beraubt den Boden seines Humus, seiner Fähigkeit atmosphärischen Kohlenstoff zu sequestrieren und treibt die negative Rückkoppelungsschleife. Die intensive Landwirtschaft setzt meist hohe Mengen an synthetischem Dünger und Pestiziden sowie sehr schweres landwirtschaftliches Gerät ein. Dies hat desaströse Auswirkungen auf die Bodenlebewesen und damit auf die Bodenfunktionen (Gunstone, Tari, et al. 2021; Riedo et al. 2021; Keller & Or 2022), vor allem auf die gekoppelten Bodenfunktionen der Sequestrierung von Kohlenstoff und der Wasserspeicher- und Infiltrationskapazität. Es wirkt sich darüber hinaus aber auch auf die Fähigkeit des Bodens aus, Nährstoffe für Pflanzen bereitzustellen und zu puffern (Mayer 1997).

In Deutschland, Europa und dem Großteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen des Rests der Welt verstetigt sich dieses Ausbeutungsregime. Die industrielle Landnutzung reduziert dauerhaft die unterirdische Biomasse im Vergleich zu der Vegetation auf einer nicht genutzten Fläche um bis zu 90 % (siehe Abbildung 5) und steht so sinnbildlich für dieses Ausbeutungsregime.

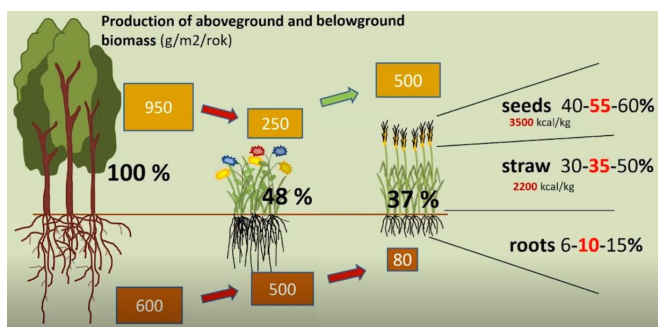


Abbildung 5: Produzierte über- und unterirdische Biomasse verschiedener Vegetationsarten (Miko 2021)

Dessen Auswirkungen zeigen sich in den Trenddaten der Humusgehalte z. B. deutscher Ackerböden. Die Bodenzustandserhebung des Thünen-Instituts zeigt Verluste von

Hauptvorteil ist die vorhandene und sich entwickelnde Messtechnik für den C_{org} -Gehalt im Vergleich zur Kosteneffizienz der Messtechnik für andere Bodengesundheitsindikatoren. Vereinfacht kann man sagen, steigt der C_{org} -Gehalt, verbessert sich der pH- und Eh-Wert sowie die Vitalität der Bodenbiodiversität und die Nährstoffverfügbarkeit (EAL 2022).

durchschnittlich 0,19 Tonnen organischem Kohlenstoff pro Hektar und Jahr. In Deutschland werden 52,3 % der Böden landwirtschaftlich genutzt, davon waren 2016 70,6 % Ackerland, 28,2 % Dauergrünland und 1,2 % Dauerkulturen (UBA 2015). Darüber hinaus nehmen organische Böden, Moore und Anmoore einen Anteil von 5,2 % der Fläche Deutschlands ein. Der in den Böden der verschiedenen Landnutzungsarten enthaltene Kohlenstoff ist äußerst ungleich verteilt. Die Bodenzustandserhebung der deutschen Landwirtschaft des Thünen-Instituts mit insgesamt 3104 Beprobungspunkten benennt den mittleren C_{org}-Vorrat in 0 – 100 cm von Böden unter Ackernutzung mit 101 Tonnen pro Hektar. Der C_{org}-Vorrat der Böden unter Dauergrünland beträgt beinahe das Doppelte: 200 Tonnen pro Hektar. Böden unter Dauergrünland haben damit auch einen doppelt so großen C_{org}-Vorrat wie Waldböden. Für letztere wurde ein mittlerer C_{org}-Vorrat von rund 100 Tonnen pro Hektar ermittelt. Der mittlere C_{org}-Vorrat in Moor- und weiteren moorähnlichen kohlenstoffreichen Böden betrug im obersten Meter 515 Tonnen pro Hektar. Dies ist ein Vielfaches des durchschnittlichen C_{org}-Vorrats in mineralischen Böden. Moore und moorähnliche Böden enthalten – trotz der enormen Landnutzungsänderungen, denen sie ausgesetzt sind – noch immer 24 % des gesamten C_{org}-Vorrats der Böden Deutschlands (Jacobs et al. 2018).

2.3 Lebendiger Humusaufbau für produktive Resilienz

C_{org}-Vorräte können durch verschiedene Maßnahmen in landwirtschaftlich genutzten Böden erhalten oder erhöht werden. Diese Maßnahmen können auch die Biodiversität stärken, die Evapotranspiration der Ökosysteme steigern, um diese zu kühlen und zu befeuchten, Emissionen in der Landwirtschaft verringern und vermeiden sowie Erträge sichern. Eine Studie des IEEP im Auftrag der Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission schätzt das Mitigationspotenzial von landwirtschaftlich genutzten Böden in Europa auf 0,5 – 7 Tonnen CO₂ pro Jahr und Hektar (Abbildung 6). Es besteht enormer Handlungsbedarf, dieses Potenzial zu heben. Handlungsbedarf, die Emissionen der Landwirtschaft zu vermeiden, Versorgungssicherheit im Angesicht der sich mehrenden Wetterextreme zu gewährleisten und unsere Böden in lebendige Senken und Speicher von atmosphärischem Kohlenstoff zu verwandeln. Darüber hinaus besteht Handlungsbedarf hinsichtlich des lebendigen Humusaufbaus, um unsere Böden wieder zu befähigen, nahrhafte Lebensmittel mit ausreichend Mikro- und Phytonährstoffen bereitzustellen (Mayer 1997; Montgomery et al. 2022).

Assessment criterion	Managing peatlands	Agroforestry	Maintain and enhance SOC on mineral soils	Livestock and manure management	Nutrient management on croplands and grasslands
Carbon farming actions	Peatland rewetting / maintenance / management	Creation, restoration, and management of woody features in the landscape	Cropland and grassland management	Technologies to reduce enteric methane, manure management, increased herd and feed efficiency	Improved nutrient planning, timing and application of fertilisers; reduction in fertilisers
Total EU mitigation potential (Mt CO ₂ -e/yr)	51 - 54 Mt CO ₂ -e/yr	8 - 235 Mt CO ₂ -e/yr	9 - 70 Mt CO ₂ -e/yr	14 - 66 Mt CO ₂ -e/yr	19 Mt CO ₂ -e/yr
Per hectare mitigation potential (t CO ₂ -e/ha/yr)	3.5 - 29	0.03 - 27	0.5 - 7	Not available	Not available
Mitigation mechanism	Avoided emissions	Removal	Removal and avoided emissions	Reduced emissions	Reduced emissions
Type of change	Land use	Management	Management and land use	Management	Management
Co-benefits for farmers	Potential for paludiculture (productive use of wet peatlands)	Diversification of outputs protects against single crop failure	Improved water holding capacity and workability of soils, productivity	Lower input costs (feed, fertiliser, energy), soil health, productivity	Lower input costs
Societal co-benefits	Biodiversity, flood regulation, water quality	Improved water retention, microclimate, soil health, biodiversity	Improved water retention, soil health, biodiversity	Decreased nutrient runoff; decreased ammonia emissions	Decreased nutrient runoff; decreased ammonia emissions
Risks	CH ₄ emissions (although net GHG benefit), decrease in production	Non-native species' impact on biodiversity	Biochar and off-farm compost impacting soil health/biodiversity	Animal welfare; water quality impacts of feed additives	Water quality impacts of nitrification inhibitors

Abbildung 6: Überblick von Carbon Farming-Maßnahmen (McDonald et al. 2021)

Die in Abbildung 8 genannten Maßnahmen sind fachlich anerkannt und einige werden in der Executive Summary der EU-Kommission zur Operationalisierung der „EU

Carbon Farming Initiative“ aufgelistet. Diese Liste ist allerdings bei weitem nicht vollständig und nicht alle Maßnahmen können an dieser Stelle genannt werden. Wie in Spalte 1 der Abbildung 8 ersichtlich, bindet die Wiedervernässung von Moorböden überdurchschnittlich viel CO₂ pro Hektar, obwohl diese nur einen geringen Anteil an der gesamtlandwirtschaftlich genutzten Fläche ausmachen. Aufgrund des Trockenlebens wird der über Jahrtausende in diesen Flächen akkumulierte Kohlenstoff freigesetzt. Dadurch sind degradierte organische Böden zu einer bedeutenden CO₂-Quelle des deutschen Landnutzungssektors geworden. Moore wieder zu vernässen ist ein absolutes Imperativ der Klimamitigation. Um eine Trendwende der Kohlenstofffreisetzung aus landwirtschaftlich genutzten Böden einzuleiten, muss auf dem Acker die Diversität vergrößert, die Vegetationsperiode verlängert und die Wurzelbildung sowie dauerhafte Durchwurzelung gefördert werden. Von besonderer Bedeutung ist das Dauergrünland, sowohl dessen quantitative und qualitative Regeneration wie auch die systemintegrierte Weidenutzung. Auch Maßnahmen, die die Sequestrierungsleistung von Waldböden verbessern, sind nicht zu vernachlässigen.

Es ist vor allem zu beachten, dass die positiven ökologischen Effekte (z. B. die CO₂-Sequestrierung, die Stärkung der Biodiversität, die Wasserspeicherkapazität oder die Evapotranspiration) der Maßnahmen sich synergetisch verstärken können und Flächenkonkurrenzen vorgebeugt werden kann, je mehr verschiedene Maßnahmen integriert in einer Landnutzung angewandt werden (WBGU 2020; Morriën et al. 2017). Die Bodenbiodiversität ist maßgeblich für die Klimamitigation und -adaption der Landwirtschaft, und damit ausschlaggebend für den Erhalt der Erträge im Angesicht sich mehrender Wetterextreme und Schädlingsbelastungen. Vielfältige Agrarökosysteme mit gesunden Böden sind resilienter und können langfristig für eine Win-Win-Win-Win-Situation sorgen, bei der die Biodiversität, die Qualität der Ernährung (Verbesserung der Mikro- und Phytonährstoffe), die Mitigation des und Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel und die Betriebsökonomie von Landwirt*innen synergetisch profitieren.

Dass ökologische Verbesserungen – trotz verminderter synthetischer Inputs – nicht mit Ertragsverlusten einhergehen müssen, ist mehrfach bewiesen (z. B. Loboguerrero et al. 2019; LaCanne et al. 2018) (Abbildung 7). In der Praxis beweisen bottom-up u.a. Regenerative Landwirt*innen, angepasst an ihre lokalen ökologischen und betriebswirtschaftlichen Kontexte, dass Ertragssicherung und die Regeneration von Agrarökosystemen Hand in Hand gehen können. Die Förderung der Resilienz von Agrarökosystemen durch die Humusbildung hat somit das Potenzial, nicht nur die jetzigen Erträge zu sichern, sondern zu einer langfristigen Verbesserung der Ernährungssicherheit – vor allem durch die Erhöhung des *tatsächlichen* (die Input-Abhängigkeit berücksichtigenden) Selbstversorgungsgrads und durch Klimaadaptation – beizutragen. Es wird im Folgenden analysiert und diskutiert, wie die Operationalisierungsstrategien verschiedener Carbon Farming-Ansätze dazu beitragen, dieses umfangreiche Potenzial entweder zu boykottieren oder zu heben.

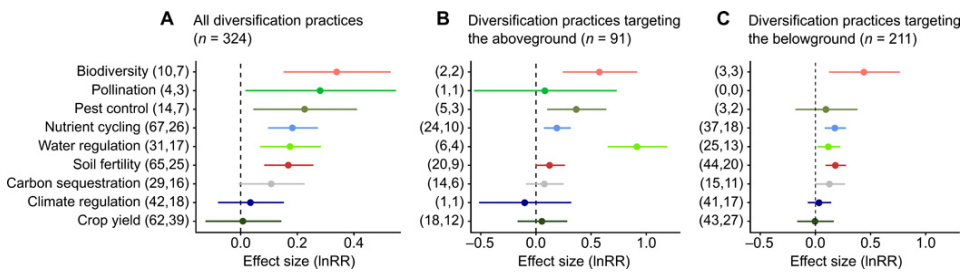


Abbildung 7: Eine Meta-Analyse zeigt, wie die Diversifizierung der Landwirtschaft Biodiversität und Ökosystemleistungen wie die Kohlenstoffsequestrierung, die Bodenfruchtbarkeit und Wasserregulation fördert, ohne die Ernteerträge im Vergleich zu Anbausystemen ohne diese Praktiken zu beeinträchtigen. (Tamburini et al. 2020)

3. Der sozio-ökonomische Kontext von Carbon Farming

Im sozio-ökonomischen Kontext von Carbon Farming gibt es Push-Faktoren und Pull-Faktoren, die Landwirt*innen durch intrinsische oder externe Impulse zur Teilnahme an Carbon Farming-Ansätzen und Anwendung von Carbon Farming Maßnahmen bewegen.

3.1 Push-Faktoren

Die sozio-ökologischen Probleme wirken als Push-Faktoren für Carbon Farming. Landwirtschaftliche Betriebe erfahren Ertragsrisiken durch die zunehmende Degradation ihrer Böden und ihres Ökosystems im Zusammenspiel mit den sich mehrenden Wetterextremen (zum Beispiel vermindert eine geringere Wasserspeicher- und -leitkapazität der Böden die Ertragsresilienz bei Dürren oder Starkregen). Landwirtschaftliche Betriebe erfahren außerdem Risiken der Wirtschaftlichkeit durch steigende Inputkosten im Zusammenspiel mit einer verminderten Fähigkeit der Böden z. B. zur Nährstoffpufferung. Landwirtschaftliche Betriebe haben also ein intrinsisches Interesse, gesunden Boden aufzubauen. Wenn Landwirt*innen aufgrund mangelnden Handlungswissens- und/oder Kapazität dieses Interesse nicht wahrnehmen können bzw. sich dessen nicht bewusst sind, können Honorierungen und unabhängige Beratungsangebote zusätzliche Anreize und Handlungsmöglichkeiten schaffen, diese gesamtgesellschaftlichen Interessen zu wahren.

Erste agrarsoziologische Erkenntnisse gibt es aus zwei wissenschaftlichen Studien, die öffentliche Carbon Farming-Ansätze in Australien und den USA analysierten. Bei den USDA-NRCS Programmen in den USA lag die Teilnahme nur bei 2 – 5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Amundsen und Biarreau 2015). Bei der Carbon Farming Initiative der australischen Regierung kamen nur 4,8 Prozent der eingereichten und geförderten Projekte aus der Landwirtschaft (Kragt et al. 2017). Gründe für die geringe Teilnahme und Akzeptanz werden ähnlich derer in Europa beurteilt. Landwirt*innen stehen Änderungen in dem Management ihrer landwirtschaftlichen Produktionsmethoden aus verschiedenen Gründen skeptisch gegenüber: 1) unzureichende sichtbare Beweise für die Verschlechterung der Bodenqualität und die Vorteile von präventiven gegenüber kurativen Maßnahmen; 2) begrenztes Bewusstsein für langfristige Synergien; 3) unzureichende Vergütung von Ökosystemleistungen; 4) Mangel an vertrauenswürdigen Wissen; 5) Fehlen von Anreizen und Vorschriften für die regenerative Bodennutzung und dessen Durchsetzung (Schröder et al. 2020).

In Deutschland lässt sich feststellen, dass der direkte monetäre Anreiz von Humusaufbauzertifikaten bei dem derzeit hierzulande üblichen Preis von 45 € pro Tonne CO₂ (von dem 30 € dem/der Landwirt*in ausgezahlt werden) keinen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines landwirtschaftlich genutzten Hektars Ackerland hat. Eher als direkte finanzielle Anreize sind die positiven Auswirkungen des Humusaufbaus auf die Bodenfruchtbarkeit ausschlaggebend für Landwirt*innen zur Teilnahme an Carbon Farming-Ansätzen. Ungeachtet des derzeit ausschlaggebenden Impulses für die Änderung der Landnutzung, sind C_{org}-Entwicklungen als Feedbackindikator von sich nachhaltig wandelnder Landnutzung jedoch durchaus etwas, das sich die Agrarpolitik zu Nutze machen könnte.

Würde man die flächengebundenen Direktzahlungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in eine Förderung von relativen Entwicklungen von organischem Bodenkohlenstoff pro Hektar ummünzen und die besten relativen Verbesserungen jeweiliger Bodenregionen sowie den Erhalt des nutzungsspezifischen Optimalzustands fördern, wären die finanziellen Anreize für Betriebsleiter*innen andere. Bei einer begleitenden biodiversitätsfördernd programmierten Regulation könnten synergetisch positive Auswirkungen auf die Resilienz von Agrarökosystemen ergebnisorientiert gefördert werden. In Kapitel 7 beleuchtet dieser NABU-Standpunkt diese Option genauer.

3.2 Pull-Faktoren

Ein weiterer Grund für das große Interesse an Carbon Farming entspringt der Finanzwirtschaft und wirkt als Pull-Faktor. So verzeichneten die Märkte des verbindlichen Emissionsrechtehandel (das EU-ETS ist der weltweit größte Markt) nach Angaben von McKinsey ein Handelsvolumen von 250 Milliarden Dollar im Jahr 2020. Die freiwilligen Märkte sind mit einem Volumen von ca. 300 Millionen Dollar begrenzter (McKinsey 2021). Doch wird dem freiwilligen Markt ein großes Wachstum vorausgesagt, da sich Staaten und Unternehmen weltweit in ihren Klimastrategien zur Netto-Klimaneutralität bekannt haben.

Die Logik der Netto-Klimaneutralität entspringt zum einen der Hierarchie der Schadensminderung (Vermeidung, Minimierung, Ausgleich) und zum anderen dem allgemeinen Rahmen des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt, das auf der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro im Jahr 1992 unterzeichnet wurde. In diesem Übereinkommen wurde ein Paradigmenwechsel in der Naturschutzpolitik befürwortet, die Verantwortung des Schutzes der Natur privaten Akteuren und Marktinstrumenten zu übertragen. Dieser Ansatz basiert auf der Inwertsetzung der Natur, die als Naturkapital begriffen wird und Ökosystemleistungen hervorbringt. Eine dieser Leistungen ist die Kohlenstoffbindung, der, dem Ansatz folgend, ein Preis zugewiesen werden kann. Die Kohlenstoffmärkte waren historisch gesehen das erste dieser Marktinstrumente, die aus dem Kyoto-Protokoll (1997) hervorgingen.

Der Artikel 6.4 des Pariser Klimaabkommens legt den Grundsatz des internationalen Ausgleichs fest, der besagt, dass Vertragsparteien des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen die Möglichkeit haben, ihre national festgelegten Beiträge auch zu leisten, indem sie Minderungsergebnisse anderswo nutzen. Der Inhalt des Abkommens wurde auf der COP 26 in Glasgow im November 2021 weiter geschärft. Unternehmen haben in ihren Klimastrategien größtenteils diese Logik übernommen, obgleich sie doch keine Vertragsparteien des Rahmenübereinkommens sind. Emissionen, die nicht vermieden oder vermindert werden, sollen in den Klimastrategien vieler Unternehmen durch Ausgleichsmaßnahmen (CO₂-Zertifikate) „neutralisiert“ werden – meist mit dem Ziel der „Netto-Null“ Emissionen bis zu einem definier-

ten Zeitpunkt in der Zukunft. Indirekte Emissionen, sogenannte Scope 3 Emissionen, bleiben bei den Klimaneutralitäts-Aussagen oft unberücksichtigt. Ein Spannungsverhältnis entsteht außerdem zwischen den Anrechten auf die Verwendung der Ausgleichs zwischen staatlichen und privaten Akteuren, das ungelöste Problem der sogenannten Doppelzählung⁸. Das Spannungsverhältnis verhärtet sich unter dem für Ausgleichs oft hervorgehobenen Kriterium der Zusätzlichkeit.

Die Möglichkeit des konzeptuellen Ausgleiches nicht vermiedener Emissionen kritisiert der NABU scharf, der Ansatz hat mehrere, kaum heilbare methodische Schwächen. Eine angemessene Diskussion des Themas kann aber an dieser Stelle nicht erfolgen und so soll z. B. auf Watt (2021) und das Risiko der klimapolitischen Inkohärenz sowie der grundlegenden Problematik der Verrechnung fossiler Emissionen mit biogenen Senken⁹ verwiesen werden.

Der vielen Bedenken und Problematiken zum Trotz ist es heutiger Standard, dass Unternehmen, um ihrer meist selbst auferlegten Klima-Verpflichtung gerecht werden zu können, freiwillige CO₂-Zertifikate kaufen oder dies planen, um ihre noch vorhandenen Emissionen zu neutralisieren. Diese sogenannten „Carbon Pledges“ (das Versprechen der Kompensation der Unternehmensemissionen durch CO₂-Zertifikate) sind ein riesiger Absatzmarkt für Finanzprodukte. Die Finanzialisierung¹⁰ landwirtschaftlich genutzter Böden und dessen organisch gebundenen Kohlenstoffs scheint als Ressource der Finanzwirtschaft unabdingbar, um die wachsende Nachfrage bedienen zu können.

Mit der Finanzialisierung der Landnutzung sind allerdings enorme Risiken für den Naturschutz und die soziale Gerechtigkeit verbunden (Bjorkhaug et al. 2018). Die Gefahr, die von der Finanzialisierung für eine soziale und nachhaltige Landnutzung ausgeht, begründet sich in der wachsenden Distanz zwischen der Entscheidungs- und Anwendungsebene der Landnutzung. Die sich im Zuge der Finanzialisierung wandelnden Eigentumsverhältnisse haben starke Auswirkungen auf die Art und Weise der Landnutzung, und damit auf die Entwicklung des Bodens (IPES & ETC Group 2021). Die Verantwortung für das Land wird verschleiert. Verantwortung und Entscheidungsgewalt werden von Personen, die im regionalen sozio-ökologischen und -ökonomischen Kontext verwurzelt sind, auf eine anonyme und weit entfernte Gruppe von Fondsmanager*innen, Vorständen und Geschäftsführer*innen verlagert. Ebenso wird der kurzfristige Ertrag gegenüber dem langfristigen Management immer mehr bevorzugt. Der Zusammenhang zwischen generationenübergreifender Landbewirtschaftung und deren nachhaltiger Nutzung wird unterbrochen. Exemplarisch ist der Zyklus eines Private-Equity-Geschäfts in der Agrarfinanzierung – dieser Investmentzyklus hat eine Lebenserwartung von 10 bis 14 Jahren, an deren Ende von vornherein eine Ausstiegsstrategie vorgesehen ist, d. h. ein Roll-over oder ein strategischer Verkauf (Ouma 2018). Das Ziel ist also, in 10 bis 14 Jahren dem Land so viel Profit abzurufen wie möglich. Dieser

⁸ Siehe dazu die unterschiedlichen Positionen des Gold Standards und des Verified Carbon Standards oder des WWF (<https://www.youtube.com/watch?v=CBVeMnLZOB8>, ab Min. 18:40).

⁹ Siehe dazu u. a. die Forderungen der Umwelt- und Klimaverbände unter <https://carbonmarketwatch.org/wp-content/uploads/2022/02/Letter-on-green-claims-for-European-Commission.pdf>.

¹⁰ Aufgrund der Diversität der empirischen Phänomene, die mit dem Begriff der „Finanzialisierung“ beschrieben werden, ist auch das Angebot an Definitionen umfangreich. Ein Definitionsvorschlag, der mittlerweile von vielen Autor*innen akzeptiert wird, stammt von Epstein (2005, S. 3): „financialisation means the increasing role of financial motives, financial markets, financial actors and financial institutions in the operation of the domestic and international economies“.

Raubbau begünstigt, neben der Finanzwirtschaft, primär die Bodenverarmung sowie die ökologischen Krisen und gefährdet langfristig die Ernährungssicherung.

Der auf die Initiative des WWF 2016 gegründete Bodendialog „Lebendiger Boden für Landwirtschaft und Naturschutz“ ist sich dieser komplexen Problematiken sehr bewusst. Der Bodendialog von Landnutzer*innen, Naturschützer*innen (darunter auch Vertreter*innen des NABU) und Bodenexpert*innen, versucht Konsens und Handlungsempfehlungen rund um die Bodengesundheit zu erarbeiten. Zusammen mit den Mitgliedern des Gesprächskreises und weiteren Unterstützern, veröffentlichte der WWF 2020 das Positionspapier „Die gemeinsame Basis für Landbau und Naturschutz ist der lebendige Boden“, das sich sowohl an Landnutzer*innen, als auch an Naturschützer*innen und Vertreter*innen der Politik richtet. Gemeinsam wurde 2021 auch das Papier „Position zur Festlegung von Kohlenstoff in Böden und ihrer möglichen Honorierung mittels CO₂-Zertifikaten“ veröffentlicht. Darin wird konstatiert:

„Die unterzeichnenden Personen und Institutionen unterstützen eine strukturelle und einkommenswirksame Förderung der Erhaltung, Rückgewinnung und Steigerung des Humusgehalts landwirtschaftlich genutzter Böden. Die Kompensation von Treibhausgasemissionen anderer Sektoren durch Humusaufbau via CO₂-Emissionszertifikaten wird hingegen abgelehnt.“¹¹

Die freiwilligen Kohlenstoffmärkte werden gemeinhin als Wilder Westen bezeichnet. Es gibt bereits besorgniserregende und klar zu verurteilende Fälle von Landgrabbing¹² und Datagrabbing (IPES-Food & ETC Group 2021) auf der Grundlage der Spekulation in Kohlenstoffmärkten. Gleichzeitig steht die Lenkwirkung von Kohlenstoffmärkten in Frage, z. B. aufgrund der großen Preisvolatilität, wie zuletzt erfahren auch im verpflichtenden Kohlenstoffmarkt während des Beginns des Ukraine-Krieges¹³. Die bevorstehende Richtlinie der Generaldirektion Justiz (Verbraucherpolitik – Stärkung der Rolle der Verbraucher beim Übergang zu einer grünen Wirtschaft) und die bevorstehende Verordnung der Generaldirektion Umwelt (Umweltleistung von Produkten & Unternehmen – Nachweise) der Europäischen Kommission werden versuchen, einen verbindlichen Rechtsrahmen zu konstruieren.

Dies ist Teil der Mammutaufgabe der EU-Kommission und nationaler Politik, verschiedene Politikfelder kohärenter miteinander zu integrieren. Carbon Farming spielt dabei für die EU-Kommission im Spannungsfeld von Agrar- und Klimapolitik eine zentrale Rolle. Sowohl private und öffentliche Carbon Farming-Ansätze werden erörtert und tauchen mit steigender Häufigkeit in den Kommunikationen, Initiativen und legislativen Dokumenten der europäischen Agrar- und Klimapolitik auf. Der Carbon Farming-Politikpfad führt zum einen vom Green Deal über das Fit for 55 Packet und die Sustainable Carbon Cycles-Kommunikation zur Carbon Farming Initiative bzw. zum Carbon Removal Certification Mechanism. Zum anderen führt der Pfad über die Farm to Fork-Strategie in die nationalen Strategiepläne der GAP. Die Kommission kommuniziert, dass prospektiv der Pfad weiter zu einer ergebnisorientierten GAP post 2027 führen könnte.

¹¹ <https://www.wwf.de/fileadmin/fin-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/position-kohlenstoff-in-boeden.pdf>

¹² <https://www.ft.com/content/2ae63752-cefd-45b9-9282-a97584cc2cb2>,

<https://climatesociety.ei.columbia.edu/news/carbon-offsets-new-form-neocolonialism>

¹³ <https://www.theguardian.com/environment/2022/mar/02/eu-carbon-permit-prices-crash-after-russian-invasion-of-ukraine>

4. Die „EU Carbon Farming Initiative“

„Carbon Farming bietet neue Einkommensmöglichkeiten für Landwirt*innen. Es ist ein Beispiel dafür, wie die Ökoregelungen der neuen Gemeinsamen Agrarpolitik und private Finanzierung landwirtschaftliche Praktiken belohnen können, die uns bei der Bekämpfung der Klima- und Biodiversitätskrise helfen.“

Frans Timmermanns (2021)

Anfang 2021 hat die Europäische Kommission ihre zweijährige Studie „Operationalising an EU carbon farming initiative“ veröffentlicht (COWI, Ecologic Institute & IEEP 2021). Die Studie untersucht bestehende Programme zum Schutz und zur Entwicklung natürlicher Kohlenstoffsenken und analysiert, wie Carbon Farming-Ansätze in der EU vorangebracht werden können.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass ergebnisorientierte Carbon Farming-Ansätze potenziell einen bedeutenden Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels in der EU leisten können. Sie befindet, dass ergebnisorientierte Carbon Farming-Ansätze noch in den Kinderschuhen stecken und noch einige Umsetzungsfragen geklärt werden müssen, bevor sie ihr volles Potenzial erreichen. Insbesondere werde es notwendig sein, neue technologische und methodische Entwicklungen zu fördern, um die Unsicherheiten und Kosten der Ansätze schrittweise zu verringern – sowohl durch öffentliche Forschungsprogramme, als auch durch private Investitionen. Die Entwicklung einer ergebnisorientierten Regelung erfordere erhebliche Vorabinvestitionen und Ressourcen für die Planer der Regelung und für die Landwirt*innen.

Eine verstärkte Unterstützung der Landwirt*innen durch die GAP und andere öffentliche und private Mittel könnte den Landwirt*innen die Einführung und das großflächige Anwenden erleichtern, indem zumindest ein Teil der Kosten gedeckt wird. Kosten für Landwirt*innen entstehen zum Beispiel durch notwendige systematisierte Bodenproben bei ergebnisorientierten Ansätzen. Die Verringerung der Risiken für die Landwirt*innen sei ebenfalls wichtig, um die Akzeptanz zu erhöhen. Dies könnte durch verschiedene Strategien erreicht werden, z. B. durch den Einsatz von Hybridregelungen, bei denen die Landwirt*innen für die Anwendung klimafreundlicher Bewirtschaftungsmethoden eine grundlegende aktionsbezogene Zahlung und eine zusätzliche ergebnisbezogene Zahlung erhalten, wenn ein Klimanutzen nachgewiesen werden kann.

Die Einbeziehung der Landwirt*innen in die Gestaltung des Systems sei ebenfalls von entscheidender Bedeutung, so der Report, um das System schrittweise zu verbessern und die Akzeptanz der Landwirt*innen zu erhöhen. Ein weiteres Schlüsselement zur Vertrauensbildung und damit zur Förderung der Akzeptanz durch die Landwirt*innen sei die Unterstützung durch Berater*innen, die den Landwirt*innen dabei helfen können, die für ihren Betrieb am besten geeigneten Lösungen zu finden.

Schließlich sei es notwendig, die Landwirt*innen für den Zusatznutzen gut konzipierter Initiativen von Carbon Farming zu honorieren. Solche Zahlungen werden als wirksames Mittel erachtet, um die EU bei der Verwirklichung anderer wichtiger Umweltziele für landwirtschaftliche Flächen zu unterstützen und den Landwirt*innen zu helfen, ihre Betriebe so anzupassen, dass sie den Auswirkungen des Klimawandels standhalten können.

Die Studie schließt mit der Empfehlung einer EU-Initiative für Carbon Farming, die die Entwicklung einer Reihe von lokal oder regional zugeschnittenen, ergebnisorientierten Pilotprogrammen für eine emissionsärmere Landwirtschaft fördern und in der Zwischenzeit die breitere Einführung gut konzipierter, aktionsbasierter oder hybrider

Programme unterstützen soll, um den ersten Schritt zu einer echten Veränderung des Beitrags des Agrarsektors zu den EU-Klimazielen zu machen. Die Ende des Jahres 2021 veröffentlichte EU-Bodenstrategie ist ein weiteres positives Zeichen der Kommission und ein Bekenntnis zum Schutz und der Regeneration landwirtschaftlich genutzter Böden.¹⁴

Im Dezember 2021 bettete die EU-Kommission die „Carbon Farming Initiative“ in die EU-Kommunikation „Restoring Sustainable Carbon Cycles“ ein. Der NABU hat darauf gemeinsam mit seinem Dachverband BirdLife und weiteren Partnern wie dem EEB geantwortet und die Kommission dazu aufgerufen, dafür zu sorgen, dass Carbon Farming durch eine gerechte, ganzheitliche und ehrgeizige Agenda von der EU für die Wiederherstellung von Ökosystemen, die Abschwächung des Klimawandels und die Anpassung im europäischen Agrarsektor vorangetrieben wird.¹⁵ In ihrer Kommunikation kündigte die Kommission an, dass sie bis Ende 2022 einen Legislativvorschlag zur Schaffung eines Zertifizierungsrahmens für die Kohlenstoffentnahme (Carbon Removal Certification Mechanism) veröffentlichen wird.

In Erwartung dieses Vorschlags möchte der NABU erneut darauf hinweisen, dass die Kohlenstoffentnahme immer zusätzlich zur Emissionsreduzierung erfolgen muss. Außerdem darf die Verbesserung der natürlichen Kohlenstoffentnahme auf keinen Fall lediglich dem privaten Kohlenstoffmarkt überlassen werden, während andere finanzstärkere Förderungen der EU, wie z. B. die erste Säule der GAP, der Entnahme immer noch großflächig entgegenwirken. Der Kohlenstoffentnahme-Rahmen muss völlig transparent sein und die Zertifikate dürfen nur einmal in den nationalen Treibhausgasinventaren verbucht werden. Lediglich ein solcher Ansatz kann die Unterstützung der übergreifenden Ziele der Mitgliedstaaten und der EU sicherstellen, die in anderen Rechtsvorschriften wie der LULUCF-Verordnung oder dem Gesetz zur Wiederherstellung der Natur festgelegt sind.

5. Carbon Farming-Ansätze

Exemplarisch werden im Folgenden drei sehr verschiedene Carbon Farming-Ansätze vorgestellt, die prospektiv in der deutschen und europäischen Landwirtschaft zur Anwendung kommen können oder sich bereits in der Anwendung befinden. Die Auswahl der Carbon Farming-Ansätze für die Analyse in diesem NABU-Standpunkt soll vor allem die Breite des Spektrums der Ansätze wiedergeben. Auch wenn die große Verschiedenheit der Ansätze die Vergleichbarkeit der Analyse beeinträchtigen kann, soll die Auswahl der Ansätze zumindest versuchen das Spektrum zu erfassen auf dem Carbon Farming-Ansätze einzuordnen sind. Denn von öffentlicher Förderung über gemeinnützige Bürgerinitiativen bis zu den Programmen Multinationaler Konzerne gibt es viele Ansätze, die einen Beitrag zu Carbon Farming leisten wollen.

5.1 Online-Tool und Förderprogramm Humuserhalt und -aufbau der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft entwickelt zurzeit ein Online-Tool für ein Förderprogramm zum Humuserhalt- und aufbau. Dieses wird als Planungs- und Beratungswerkzeug zur Optimierung des schlagspezifischen Humusmanagements

¹⁴ Der NABU hat gemeinsam mit anderen Akteuren der europäischen Zivilgesellschaft in einem Positionspapier „Soil Health: Civil Society calls for European leadership in the challenge to combat land degradation“ dazu Stellung genommen.

¹⁵ <https://eeb.org/library/joint-letter-on-carbon-farming/>

konzipiert. Dabei wird nach einer initialen Bestimmung des C_{org} -Vorrats die Humusentwicklung modelliert, um den Negativeinflüssen des Klimawandels auf die Humusentwicklung gerecht zu werden. Aus einer regionalen Bezugsgröße (standorttypische C_{org} -Vorräte) werden Zielgrößen und differenzierte Entwicklungsziele definiert. Anhand dessen sollen dann standortspezifische Maßnahmen zur Humusförderung empfohlen werden können. Daraus kann langfristig ein staatliches Förderprogramm abgeleitet werden. Dies könnte maßnahmenbasiert, ergebnisorientiert oder in einer Kombination gefördert werden. Auch der Erhalt des C_{org} -Gehalts soll darin gefördert werden (Abbildung 8).

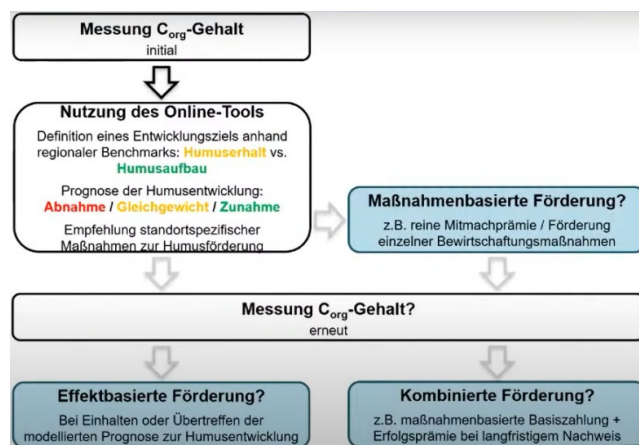


Abbildung 8: Staatliches Förderprogramm für Humuserhalt und -aufbau (Wiesmeier 2021)

Wie ein solches Förderprogramm befähigt werden könnte, mag ein Blick nach Nordirland zeigen. Dort wird das neue Bodennährstoff-Gesundheitsprogramm (Soil Nutrient Health Scheme, SNHS) zurzeit vom Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Angelegenheiten ausgerollt. Das SNHS ist eine auf vier Jahre angelegte und mit 45 Millionen Pfund dotierte neue Initiative zur Verbesserung der Bodennährstoffgesundheit und zur Schätzung der Kohlenstoffvorräte in landwirtschaftlichen Betrieben. Bis zum Ende des Projekts sollen 27.000 landwirtschaftliche Betriebe und 77.000 Felder beprobt werden¹⁶. Die Teilnahme am SNHS ist Voraussetzung für die Inanspruchnahme der Förderprogramme der britischen Agrarpolitik. Die nordirische Hochschule für Landwirtschaft, Ernährung und ländliche Unternehmen wird Schulungen über Nährstoffmanagement und die Rolle von Kohlenstoff in landwirtschaftlichen Betrieben anbieten, um die Ergebnisse der Bodenproben in Zusammenarbeit mit den Landwirt*innen in Handlungswissen umzumünzen.

5.2 Praxisnahe Weiterbildung und Humuszertifikate der Stiftung Lebensraum und KlimaHumus GmbH

Die Stiftung Lebensraum ist eine gemeinnützige Bürgerstiftung aus der Pfalz, mit dem Zweck, „Impulse zu setzen für die Schaffung nachhaltiger, vernetzter und zukunftsfähiger Lebensräume mit hoher Lebensqualität, und dabei die ökologischen und sozialen Lebensgrundlagen sowie die Artenvielfalt zu sichern und ein solidarisches Wachstum zu fördern“. Hierzu konzipiert und unterstützt sie ökologische und zukunftsfähige Modellregionen, baut Kompetenzzentren zur praxisnahen Weiterbildung landwirtschaftlicher Betriebe auf und verbreitet systematisch ganzheitliche Konzepte.

¹⁶ <https://www.daera-ni.gov.uk/publications/soil-nutrient-health-scheme-frequently-asked-questions>

„Wir brauchen keine rein technische CO₂-Kompensation, sondern vielmehr „Klima-Verantwortung“ in der Region und für die Region. Das gilt für Unternehmen, Kommunen und Bürger*innen im gleichen Maße.“

Stiftung Lebensraum (2021)

Die Stiftung versucht, ihre Vision von gesunden Böden durch Humusaufbau und regenerative Landwirtschaft zu verwirklichen. Ihr Ansatz des Carbon Farming bringt Unternehmen, Landwirt*innen und Bürger*innen in einer Region zusammen und versucht, einen gemeinnützigen Beitrag zu leisten, um die Regeneration und Transformation ländlicher Räume und ihrer Wertschöpfung im Sinne einer Klima, Umwelt und Ressourcen schonenden Lebens- und Wirtschaftsweise voranzutreiben.

Zu Beginn des Jahres 2020 startete die „KlimaHumus-Initiative“ der Stiftung zunächst in Rheinland-Pfalz, Hessen und dem Saarland. Aufgrund des großen Interesses sowohl seitens der Bodennutzer*innen, als auch seitens der freiwilligen Kompensatoren, wurde die Initiative sehr bald auf das gesamte Bundesgebiet ausgeweitet. Humusaufbauprämien dienen in diesem Ansatz den Landwirt*innen als Anreiz für eine Umstellung auf nachhaltige, regenerative Methoden der Landnutzung. Über den Mehrerlös aus dem Verkauf der Humusaufbau-Senkenleistung über Humusaufbauzertifikate an Unternehmen, Kommunen und Bürger*innen zur freiwilligen Kompensation ihrer unvermeidbaren CO₂-Emissionen finanziert die Stiftung die Projektverwaltung und den Aufbau eines Kompetenzzentrums. Die Basis der Initiative bilden Transparenz, wissenschaftliche Fundierung und gemeinwohlorientierte Kooperation, rechtssichere Verträge für Landwirt*innen, Unternehmen und Bürger*innen, valide Methoden und zertifizierte Institute zur Bodenuntersuchung sowie eine Geodatenbank, in der alle Humusaufbau-Flächen, die durchgeführten regenerativen Maßnahmen, Bodenuntersuchungen und Zahlungen dokumentiert sind.

Der Ansatz unterscheidet sich von den meisten anderen, weil die teilnehmenden Landwirtschaftsbetriebe ohne Interessenkonflikt beraten und diese auch zu Weiterbildungen¹⁷ verpflichtet werden. Hintergrund dieses Ansatzes ist, dass das praxisorientierte Wissen zu Maßnahmen und Methoden der regenerativen Bodenbewirtschaftung und Landnutzung in Deutschland bisher wenig verbreitet ist. Genau dieser Herausforderung will sich das neu von der Stiftung gegründete „Kompetenzzentrum Boden und

¹⁷ Das initiale Schulungsprogramm „KlimaHumus“ besteht aus vier verpflichtenden Grundmodulen und mehreren ergänzenden Vertiefungskursen auf „freiwilliger Basis“. Das Bodenbasis-Seminar vermittelt Grundkenntnisse zu Bodenphysik, Bodenchemie und Bodenbiologie, um so ein tieferes Verständnis der komplexen Zusammenhänge und Funktionen im Ackerboden zu erlangen. Es wird ergänzt durch ein Bodenpraxis-Seminar, welches den Teilnehmenden einen Kurzüberblick über die Methoden der regenerativen Bodenbewirtschaftung sowie mehr Informationen zu Bodenansprache, Bodengare und Bodenzustand bietet. Ein weiteres Grundmodul befasst sich in Theorie und Praxis mit der erforderlichen Maschinenteknik für schonende Bodenbearbeitung und Bodenpflege. Ziel des letztgenannten Moduls ist die Vermittlung konkreter Kenntnisse und Fähigkeiten im Bereich neuer Bodenbearbeitungs-Techniken mit angepasstem Maschineneinsatz und Pflagemaschinen für eine konservierende, regenerative Bodenbearbeitung. Darüber hinaus wird das Wissen über die Auswirkungen dieser Bodenbearbeitung auf Bodenstruktur und Bodenbiologie weitergegeben. Das dritte Grundmodul vermittelt das Wissen im gesamten Spektrum der ganzjährigen Bodenbegrünung mit vielfältigen Fruchtfolgen, Untersaaten und Zwischenfrüchten, während sich das vierte Grundmodul mit der Vorbehandlung und Anwendung von Wirtschaftsdüngen im Sinne einer regenerativen, bodenschonenden Wirtschaftsweise befasst. Zusätzlich bietet die Stiftung kostengünstig weitergehende Kurse an. Diese beinhalten u. a. betriebliches Stoffstrommanagement, betriebliches Wassermanagement, Agroforstsysteme, Konturenbewirtschaftung und Terra Preta-Technologie.

regenerative Landnutzung“ annehmen. Wichtigster Ansatz ist neben der Vermittlung der aktuellen wissenschaftlich-fachlichen Kenntnisse das interaktive Lernen und Wissensvermitteln aus der landwirtschaftlichen Praxis heraus. Über das „Patenschaftsmodell“ kann eine engere regionale Kooperation zwischen freiwilligen Kompensator*innen und Landwirtschaftsbetrieben unterstützt werden, wodurch die Einstiegskosten für die Bodennutzer*innen über Bildungsgutscheine, Übernahme von Kosten für Bodenproben und z. T. für Maßnahmenumsetzung gemindert werden.

Die Stiftung plant den Aufbau eines Netzwerks mehrerer regionaler Kompetenzzentren in Deutschland, um die Wege zu den Betrieben kürzer und die wissenschaftlich-fachliche Begleitung effektiver und intensiver gestalten zu können.

Zukünftig wird die Organisation und Verwaltung der „KlimaHumus-Initiative“ über die neu gegründete gemeinwohl-orientierte KlimaHumus GmbH erfolgen, welche langfristiger Partner für die Vergabe von KlimaHumus-Prämien sowie für den Verkauf von KlimaHumus-Senkenleistungen an freiwillige Kompensierer*innen sein wird. Weitere Partner in der KlimaHumus GmbH, die zu der Skalierung des Stiftungszwecks beitragen sollen, sind die Raiffeisen Waren-Zentrale Rhein-Main eG und die First Climate AG.

5.3 Das Carbon Program der Bayer AG

Ein privatwirtschaftliches Förderprogramm mit dem Ziel, akkreditierte CO₂-Zertifikate nach dem Gold-Standard zu erstellen, wird zurzeit bei Bayer Crop Science im Bereich Carbon Business Venture Europe entwickelt. 2021 startete Bayer seine globale „Carbon Initiative“ in Europa. In den USA und Brasilien ist Bayers „Carbon Initiative“ bereits seit 2020 in der Anwendung.

Um in diesen beiden Ländern an der Bayer Carbon Initiative teilzunehmen, müssen sich Landwirt*innen bei Bayers Climate FieldView™ anmelden und bestimmte, von Bayer vorgegebene Verfahren anwenden, um eine Vergütung zu erhalten. Bayer konstatiert, dass Climate FieldView™ nicht nur Hinweise geben kann, wie mehr Kohlenstoff in den Boden eingebracht werden kann, sondern auch, wie man den gebundenen Kohlenstoff messen und die Landwirt*innen entsprechend bezahlen kann. Laut der Nachrichtenagentur Reuters (2020) bezahlt Bayer die Landwirt*innen in Form von Gutscheinen, die auf der Bayer-PLUS-Belohnungsplattform für weitere Bayer-Produkte eingelöst werden können. Eine Kooperation Bayers mit dem Gold Standard, der führenden Nichtregierungsorganisation für die Erstellung von CO₂-Zertifikaten, ermöglicht es Bayer, ihre Zertifikate zur Verringerung der Treibhausgasemissionen zu zertifizieren.

Bayers europäischer Carbon Farming-Ansatz steht noch am Anfang. Das Pilotprogramm startete mit Bodenproben bis zu 30 cm Tiefe zur Aussaat in den Winterungen verschiedener europäischer Landwirt*innen im Jahr 2020. Eine neue Überwachungs-, Berichts- und Verifizierungslösung (MRV) soll zusammen mit Climate FieldView™ die Operationalisierung dieses Carbon Farming-Ansatzes gewährleisten. Bayer setzt sich zum Ziel, die Treibhausgasemissionen auf den Feldern bis 2030 um 30 Prozent zu senken. Genauere Einzelheiten zu Bayers europäischem Ansatz sind bisher nicht bekannt. Bayer bezieht seine politische Fachabteilung mit ein, um die Kompatibilität seines Ansatzes mit der „Carbon Farming Initiative“ der EU-Kommission zu gewährleisten.

In den USA arbeitete Bayers politische Fachabteilung so effizient, dass Bayers „Carbon Initiative“ nur wenige Tage nach der Ankündigung des US-Finanzministeriums, eine Steuererleichterung für Investitionen in Projekte zur Kohlenstoffsequestrierung zu erlassen, an den Start ging. In Europa lobbyierte Bayer mit Crop Life International im

vergangenen Jahrzehnt intensiv gegen den Erlass einer europäischen Bodenrahmenrichtlinie, eines ordnungsrechtlichen Rahmens für die Qualität von Böden. Es bleiben zudem bislang noch einige weitere Fragen offen. Zum Beispiel die Frage nach der Berücksichtigung des erhöhten Energiebedarfes für „Smart Farming“ in den erklärten Reduktionszielen von Bayer. Climate FieldView™ speichert circa 16 GB Daten pro Hektar. Die Erfassung, Speicherung und Verarbeitung all dieser Daten ist ein äußerst energieaufwendiges Verfahren. Bayers Definition von "klimafreundlicher" Landwirtschaft basiert zudem fast ausschließlich auf dem Einsatz von patentiertem Saatgut und Pestiziden. Die zentrale Maßnahme in Bayers Pilotprogramm ist die Direktsaat. In den USA und Brasilien sind das Pestizid Glyphosat (bspw. im Pflanzenschutzmittel RoundUp™ enthalten) und das dagegen resistente und patentierte GVO-Saatgut des Unternehmens, Dreh- und Angelpunkt des von Bayer vorgeschlagenen Direktsaatsystems zur Humusförderung. Jedoch bezweifeln Wissenschaftler wie Martin Wiesmeier, Bodenwissenschaftler an der TU München, dass die Direktsaat eine humusfördernde Maßnahme ist. Darüber hinaus schadet Glyphosat dem Bodenleben und behindert damit die Funktionalität des Bodens (Gunstone, Tari, et al. 2021). Fraglich bleibt auch, welchen methodischen Anforderungen Bayer gerecht werden will. Seine globale Initiative setzt stark auf Fernerkundungsmaßnahmen, die mit Satellitenbildern den sequestrierten Kohlenstoff modellieren. Nach Ansicht vieler Wissenschaftler*innen lässt sich auf diese Weise jedoch keine fundierte Datenbasis über C_{org} -Veränderungen in Böden ermitteln. Es bleibt abzuwarten, ob das europäische Carbon Program von Bayer an ihr amerikanisches Programm anknüpft oder es versucht, neue Wege zu gehen¹⁸.

6. Vergleichende Bewertung und Einordnung der Carbon Farming-Ansätze

Die Heterogenität und die teilweise begrenzten Informationen über die vorgestellten Ansätze legen den Eindruck nahe, ein direkter Vergleich¹⁹ sei bisher schwierig. Deshalb werden die verschiedenen konkreten Bewertungskriterien aus der Studie „CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen“ (2020) des BonaRes-Zentrums für Bodenforschung übernommen. Die Bewertungskriterien sind die methodischen Anforderungen (Probenahme, Bestimmung C_{org} -Vorrat), Fairness, Reversibilität/Langfristigkeit, Zusätzlichkeit, Trade-Offs und Verschiebungseffekte. Darüber hinaus wird anhand des in Kapitel zwei

¹⁸ Kurz vor Veröffentlichung dieses Standpunktes, im August 2022, hat die Bayer AG in den USA einen neuen Ansatz vorgestellt: Bayer ForGround (<https://bayerforground.com/>). Dieser Ansatz entlohnt, operationalisiert ebenfalls durch Climate FieldView™, Maßnahmen pro Acre (0,4 Hektar). Die Anwendung von No-till oder Strip-till wird mit 5 - 6 \$ pro Acre und die Anwendung von Cover Crops wird mit 6 \$ pro Acre entlohnt. Umgerechnet sind das ungefähr 30€ pro Hektar, bei einer Anwendung beider Maßnahmen. In Bayers 'Carbon-Kooperation' mit CHS Inc., der größten amerikanischen landwirtschaftlichen Genossenschaft, können Landwirt*innen 3\$ pro Acre zusätzlich verdienen, wenn sie bestimmte empfohlene Düngerprodukte kaufen.

¹⁹ Es gibt bisher einen uns bekannten Vergleich von CO₂-Bodenzertifikats-Verifikationsprotokollen (<https://carbonplan.org/research/soil-protocols>). Der NABU-Standpunkt möchte darüber hinaus klar Stellung beziehen, dass der französische „Bas Carbone“, allen voran die Zertifikatserstellung mit CO₂-Intensitätsminderungen pro produzierten kg Produkt, gemäßregelt werden sollte (siehe dazu z. B. https://reseauactionclimat.org/wp-content/uploads/2020/11/decryptage-label_bas_carbone_20_11_17_web.pdf). Zum einen verletzt der Ansatz die Hierarchie der Schadensminderung, was, wie William Stanley Jevons schon 1865 in Bezug auf Kohle dargelegt hat, langfristig zu absolut größerer Exploitation der Naturressourcen führt. Zum anderen sind die Strategien zur Intensitätsminderung problembehaftet (siehe z. B. <https://www.agric.wa.gov.au/climate-change/carbon-farming-reducing-methane-emissions-cattle-using-feed-additives>).

und drei analysierten sozio-ökologischen und -ökonomischen Kontextes von Carbon Farming die erwartete Wirkung der Ansätze auf eine sozial-ökologische Transformation des Ernährungssystems eingeschätzt. Hierfür werden die Ansätze anhand zweier weiterer Bewertungskriterien diskutiert. Zunächst im Kontext der pädagogischen und praktischen Bodenbildung. Bodenbildung steht zum einen für *soil literacy*²⁰, also den Beitrag eines jeweiligen Ansatzes, fundiertes und interessenkonfliktfreies Wissen über den Boden an die Landnutzer*innen und die Öffentlichkeit zu vermitteln. Zum anderen steht Bodenbildung für die sich daraus ableitende Fähigkeit der Landnutzer*innen, befähigt durch den Carbon Farming-Ansatz, tatsächlich lebendigen Humus aufzubauen und zu erhalten, um holistische Bodengesundheit auf ihren Flächen zu fördern. Das abschließende Bewertungskriterium ist die Resilienz. Sie wird hier in Bezug auf Carbon Farming-Ansätze verstanden als der mögliche Beitrag eines Ansatzes zur Fähigkeit der Landnutzer*innen, stetig unabhängiger und mit weniger synthetischem Input Nahrungsmittel, Materialien und Energie in Synergie mit der Stärkung der Ökosystemleistungen eines Agrarökosystems zu produzieren.

6.1 Methodische Anforderungen

Um die methodischen Anforderungen zur Bestimmung von C_{org} -Veränderungen zu erfüllen, müssen C_{org} -Vorräte (Einheit kg/m^2 bzw. t/ha) durch die Bestimmung des C_{org} -Gehalts, der Lagerungsdichte (Trockenrohichte) und des Steinanteils (Skelettanteil >2 mm) mittels einer repräsentativen Beprobung der Fläche ermittelt werden. Die Beprobung der Fläche sollte im Frühjahr vor einer Bodenbearbeitung und Düngung oder im Herbst erfolgen. Bei einer bereits erfolgten Bodenbearbeitung oder Düngung sollte ein zeitlicher Abstand von mindestens sechs Wochen eingehalten werden. Die Beprobungstiefe sollte sich in Ackerböden an der Bodenbearbeitungstiefe orientieren.²¹

Die methodischen Anforderungen werden vom Ansatz der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) verständlicherweise am besten erfüllt, ist sie doch die Institution, die diese Anforderungen größtenteils formuliert hat. Doch auch die Stiftung Lebensraum hat den Anspruch, diese Anforderungen zu erfüllen.

In Deutschland ist die Humusuntersuchung des Verbands deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten anerkannt. Allerdings müssen institutionelle Pfadabhängigkeiten bewertet werden, um zu verhindern, dass innovativen neuen Methoden pauschal ihre fachliche Integrität abgesprochen wird. Grundsätzlich sind Aussagen über C_{org} -Entwicklungen mit Unsicherheiten behaftet. Bei der Abbildung der Wirklichkeit kann es sich bei Aussagen über den C_{org} -Gehalt nur um eine Annäherung handeln. Den Unsicherheiten kann mit mathematischen Methoden z. B. über die Bildung eines Deltas verschiedener Datenpunkte genügend begegnet werden, um die C_{org} -Entwicklungen einer Fläche aussagekräftig zu beschreiben.

Zurzeit gibt es bei Humusuntersuchungen Effizienz- und Effektivitätsgewinne durch künstliche Intelligenz, die systematisch Fernerkundungsinformationen mit schlagspe-

²⁰ Nach Ansicht des NABU braucht es viel mehr Bürger*innen, die verstehen, wie Böden und Menschen für ihre gegenseitige langfristige Existenz voneinander abhängen. Es ist auch eine Verantwortung von Carbon Farming-Ansätzen, diese "Bodenbildungslücke", d. h. den Mangel an Bodenbildungsmaßnahmen im Verhältnis zum Umfang des gesellschaftlichen Bedarfs, zu schließen, zum Beispiel durch ein verpflichtendes Engagement auch der Zertifikate-Abnehmer*innen.

²¹ In Deutschland gaben im August 2022 die Landwirtschaftliche Rentenbank, die K+S Aktiengesellschaft und das Agritech-Unternehmens Klim (ein Carbon Farming-Ansatz) bekannt, ein DIN-Standardisierungsverfahren zur Kohlenstoffspeicherung im Boden auf den Weg zu bringen – die DIN SPEC 3609 (<https://www.kpluss.com/de-de/presse/presseinformationen/boden-gut-machen/>).

zifischen Bodenproben und Nutzungsdaten integriert. So können zum Beispiel aufwendige und bisher übliche Rasterbeprobungsmuster bei steigendem Informationswert und sinkenden Kosten abgelöst werden (siehe z. B. das System von der AgriCircle AG). Darüber hinaus zeichnen sich viele interessante technologische Entwicklungen ab (u. a. Infrarotspektroskopie, Isotopentechnologie, Metabarcoding und tragbare Feldscanner²²), die prospektiv die Chance bieten, die Laboranalytik in gewissen Anwendungen zu ergänzen oder abzulösen, um damit durch mobile Probenahmegeräte und digitale Sensorik die Kosteneffizienz der MRV und den funktionellen Informationsgehalt von Bodenproben im Sinne der Landwirt*innen zu verbessern.

Gleichzeitig entwickelt sich in der Wissenschaft die Taxonomie der funktionellen Diversität der Bodenbiologie (Thakur et al. 2020; Lavelle et al. 2022; Bray et al. 2019; Menta et al. 2017). Dieses Wissen könnte, gemeinsam mit u. a. bereits bestehender Messtechnologie, prospektiv sicherstellen, dass die Förderung der Bodenbiodiversität ein integraler Bestandteil von Carbon Farming-Ansätzen oder bodenorientierten Förder- und Regulationsansätzen wird. Zum Beispiel könnten Carbon Farming-Ansätze mit einer Integration des heute verfügbaren microBIOMETER^{®23} in ihre methodischen Mindestanforderungen prospektiv einen Indikator der Bodenbiodiversität in ihre MRV miteinbeziehen.

Zwei weitere Aspekte können Einstiegskosten für Landwirt*innen verringern: Zum einen können Bodenproben für Zertifikate die Proben für die Düngedarfsermittlung ersetzen und können damit andere Kosten verringern. In regionalen Partnerschaften können zudem Zertifikateabnehmer*innen die Bodenproben und Schulungen für Landwirt*innen mitfinanzieren. Das europäische „Carbon Farming Program“ der Bayer AG gibt bisher noch keine Auskunft über die tatsächliche methodische Operationalisierung der Ermessung der C_{org} -Veränderungen. Da die globale Initiative jedoch ausschließlich mit Fernerkundungsmaßnahmen den sequestrierten Kohlenstoff modelliert, kann unter Vorbehalt davon ausgegangen werden, dass eine Erfüllung der methodischen Anforderungen vom Ansatz der Bayer AG nicht gewährleistet wird.

6.2 Fairness

Fairness benennt in diesem Zusammenhang das Problem, dass grundsätzlich Landwirt*innen mit bis dato schlechterem Bodenmanagement nun die größeren Potenziale für Humusaufbau und damit für mehr Vergütung haben. Unter gleichbleibenden Bewirtschaftungs- und Umweltbedingungen stellt sich, wie unter natürlichen Bedingungen auch, nach einer bestimmten Zeit ein Fließgleichgewicht der organischen Bodensubstanz ein. Da Humusaufbau und -abbau relativ langsam verlaufen, entwickelt sich dieses Gleichgewicht in einem Horizont von 30 bis 70 Jahren. Die Anforderung an Carbon Farming-Ansätze ist es, z. B. mit kreativen Vergütungsschemata diesem Problem zu begegnen.

Lediglich der Ansatz der LfL begegnet der Problematik, indem er auch einen Humuserhalt entlohnen will. Im letzten Kapitel dieses Standpunktes wird ein möglicher Lösungspfad vorgeschlagen.

²² Das Gerät des deutschen Unternehmens Stenon bietet z. B. holistische Bodenmessungen auf dem Feld. (<https://stenon.io/>)

²³ Mit dem microBIOMETER[®] kann die mikrobielle Biomasse des Bodens vor Ort getestet werden. Die Ergebnisse liegen innerhalb von 20 Minuten vor und kosten höchstens 13,50 \$ pro Test. (<https://microbiometer.com/>)

6.3 Reversibilität / Langfristigkeit

Bevor man über die Reversibilität zukünftiger Einspeicherung diskutiert, sollte man die zuvor zu meisternde Herausforderung der Trendwende von organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden anerkennen. Diese Trendwende benötigt Anreize, Handlungswissen und -kapazität für und von Landnutzer*innen, die zurzeit zum Großteil nicht gegeben sind.

Die Reversibilität/Langfristigkeit benennt u. a. das Problem, dass der positive Effekt des C_{org} -Aufbaus bei einer Verschlechterung des Bodenmanagements vollständig reversibel ist. Nur C_{org} -Vorräte im Dauerhumus haben unter guten Bedingungen lange Halbwertszeiten.

Das Problem der Reversibilität/Langfristigkeit entsteht zum einen durch die ökologische Klima-Krise. Sehr generalisierend kann man sagen, dass wärmeres Klima das Potenzial der Böden, Kohlenstoff zu halten, tendenziell einschränkt. Zum anderen kann eine Aufgabe der verbesserten Landnutzungsmethoden, die zu C_{org} -Aufbau führen, umgehend wieder zu dessen Abbau führen. Ersteres kann nur indirekt von den Ansätzen beeinflusst werden. Zur Begegnung des zweiten Punktes können vertragliche Rahmen geschaffen werden. Dieser Rahmen wird von manchen Akteur*innen als unzureichend betrachtet, da es einen Zielkonflikt gibt zwischen der Unabhängigkeit/Rechtssicherheit der Landwirt*innen und der Klimawirksamkeit des sequestrierten CO_2 in Bezug auf die Verweildauer einer sequestrierten Tonne CO_2 außerhalb der Atmosphäre.

Es kann auch der Erhalt eines spezifischen C_{org} -Gehaltes gefördert werden. Das LfL gedenkt dies zu tun. Es besteht allerdings die Gefahr, dass der durch legitime Institutionen an die Landwirt*innen kommunizierte Horizont der notwendigen oder machbaren Landnutzungsanpassungen eingeschränkt wird.

Die Langfristigkeit kann lediglich durch langfristige Verträge und vor allem durch eine ökonomische Resilienzförderung der Betriebe angestrebt werden. Dies versuchen sowohl der Ansatz des LfL wie auch der der Stiftung Lebensraum. Bayer gibt noch keine Auskünfte über die angestrebte Vergütung in seinem Europäischen Carbon Program.

6.4 Zusätzlichkeit, Verschiebungseffekte und Trade-Offs

Zusätzlichkeit, Verschiebungseffekte und Trade-Offs bedürfen ihrerseits einer eigenen Diskussion, bevor sie als Bewertungskriterien angenommen werden bzw. entschieden wird, welche Gewichtung ihnen beigemessen werden sollte.

Zusätzlichkeit beschreibt die Anforderung, dass ausschließlich Praktiken, die der zusätzlichen Speicherung von C_{org} gewidmet sind, eine extra zu finanzierende Kompensationsmaßnahme darstellen.

Das Kriterium der Zusätzlichkeit, auch finanzielle Additionalität genannt, ist nur von Bedeutung, wenn CO_2 -Zertifikate als Kompensationsmaßnahme durch C_{org} -Aufbau produziert werden sollen. Dem Kriterium kann bei maßnahmenbasierten Ansätzen einfacher begegnet werden. Maßnahmenbasierte Ansätze laufen allerdings immer Gefahr, die erfahrene Selbstwirksamkeit sowie die systematische Konsequenzfassung der Landnutzer*innen zu begrenzen. Damit werden die Wirkungsbeziehungen, die die Landnutzung beeinflussen, im Sinne der Resilienz verschlechtert. Maßnahmenbasierte Ansätze können in der Übergangphase helfen, doch als agrarpolitischer Horizont greifen sie kürzer als ergebnisorientierte Ansätze.

Verschiebungseffekte finden statt, wenn Maßnahmen zum Humusaufbau auf Kosten eines verringerten Humusaufbaus oder -abbaus an einem anderen Ort geschehen. Indirekte Verschiebungseffekte beschreiben den möglicherweise größeren Produktivitätsdruck andernorts und die damit einhergehende intensivere Nutzung aufgrund (kurzfristig) vermindelter Erträge durch humusaufbauende Maßnahmen. Trade-Offs beschreiben die Abwägung zwischen den Vor- und Nachteilen von humusfördernden Maßnahmen. Als Nachteile können verminderte (kurzfristige) Produktivität und erhöhte Lachgas-Emissionen als Folge von humusaufbauenden Maßnahmen angeführt werden. Trade-Offs auf einer bestimmten Anbaufläche können zu Verschiebungseffekten auf weiteren Flächen führen.

Es gibt einige Verschiebungseffekte, denen in jedem integren Carbon Farming-Ansatz unbedingt vorgebeugt werden muss. Dies sind die Verschiebungseffekte von betrieblichen Stoffströmen, die die Zufuhr an organischer Substanz an einer Stelle verringern, um sie an anderer Stelle (der im Carbon Farming-Ansatz dokumentierten Stelle) zu erhöhen. Damit würde dann gesamtbetrieblich nicht mehr atmosphärischer Kohlenstoff gebunden als zuvor. Gleiches gilt auf regionaler oder globaler Ebene. Dem kann durch eine gesamtbetrieblich verpflichtende Teilnahme vorgebeugt werden, darüber hinaus durch intensive Beratung, die die Effizienz des Einsatzes von organischer Substanz im Sinne des C_{org} -Aufbaus sowie die Fruchtfolgen verbessert. Verschiebungseffekten kann vor allem aber auch durch das Verständnis der großen Bedeutung des Kohlenstoffpfads in den Dauerhumus durch die biodiversitätsreiche Rhizosphäre vorgebeugt werden.

Eine andere Art von Verschiebungseffekten, die in der Debatte durch möglicherweise verminderte Produktivität als Folge von humusaufbauenden Maßnahmen angeführt werden, sind mit einer wesentlich geringeren Gewichtung zu berücksichtigen. Es wird in diesem Argument angenommen, ein angeblicher Produktivitätsverlust wird notwendigerweise an anderer Stelle zu noch umweltbelastenderen Bedingungen ausgeglichen. Dies setzt einige fragwürdige Annahmen voraus. Zum einen ist diese Argumentationsweise dem „productionist bias“ tief verhaftet: eben jener u. a. von Malthus begründeten und Ricardo erneuerten Theorie²⁴, auf die sich auch die GAP und Handels-

²⁴ Dem „productionist bias“ liegt die von Thomas Malthus 18. Jhd. populär gemachte Annahme zu Grunde, dass das Bevölkerungswachstum dem Produktionswachstum der Landwirtschaft stets vorausgeht. Malthus behauptete positivistisch, die Bevölkerung würde immer und sogar exponentiell schneller wachsen als die Produktivität der Landwirtschaft. David Ricardo verneinte letzteres und argumentierte, dass die Menschheit den nötigen Produktivitätszuwachs in der Landwirtschaft zur Deckung ihrer Bedürfnisse sehr wohl erreichen könnte und zwar durch Freihandel. In seiner Theorie der komparativen Vorteile behauptete Ricardo, dass die Effizienzgewinne der Spezialisierung auf die Produktion einzelner Produkte, immer allen Handelspartnern gleichermaßen zugutekomme. Obwohl die Argumentation schon zu den Lebzeiten von Malthus und Ricardo (die befreundet waren) von u. a. Karl Marx, Herbert Spencer und Daniel Raymond und heute von quantitativen Studien widerlegt wurde, erlebt die Narrative der Theorie, der „productionist bias“, heute in der politischen Stimmung des völkerrechtswidrigen Ukraine Kriegs, und dessen Auswirkungen auf die weltweite Ernährungssicherheit, neuen Rückenwind. Dass es zurzeit kein Problem der zu geringen Menge an produzierten Nahrungsmitteln gibt legt Roman Herre (2021) wie folgt dar: „Nicht nur die globalen Produktionsvolumina liegen auf Höchststand, auch die Getreidespeicher sind so voll wie nie zuvor (Mai 2021, S.K.). Die Weltgetreidevorräte sind seit 2014 um ein Drittel auf 927 Millionen Tonnen angestiegen (so die Corona-bedingt konservative Schätzung für 2020). Dass globale Lagerbestände und die Zahl dauerhaft hungernder Menschen parallel ansteigen, zeigt, wie stark Agrarproduktion und Hunger heute entkoppelt sind. Auch dies entlarvt den immer wiederkehrenden Ruf nach mehr Produktion seitens der Agrarindustrie und vieler Staaten als weitgehend interessendominiertes Argument.“ (<https://www.forumue.de/produkt/rundbrief-ii-2021-reichts-fuer-alle-welternaehrung-an-den-grenzen-des-wachstums/>)

politik der EU bis heute stützt, um die Exportambitionen der industriellen Landwirtschaft zu untermauern. Diese Theorie lässt zum Beispiel das ökologisch notwendige Schließen von Stoffströmen und die strukturellen Machtasymmetrien des Ernährungssystems völlig außer Acht. Darüber hinaus sind die Produktivitätseinbußen in einer langfristigen Perspektive als temporär und relativ zu erachten und auch schon in wissenschaftlichen Studien widerlegt (z. B. Loboguerrero et al. 2019; LaCanne et al. 2018; siehe z. B. auch die Arbeit des Rodale Institute²⁵). Ein noch höherer Einsatz synthetischer Inputs mag kurzfristig noch höhere oder erhaltende Erträge versprechen, ist der Resilienz eines jeden Agrarökosystems aber unzutraglich. In diesem Licht ist unserer Ansicht nach auch die Gewichtung des Kriteriums der Trade-offs zu betrachten und damit als marginal zu bewerten.

Der Ansatz der Stiftung Lebensraum begegnet diesen Anforderungen von den hier diskutierten Carbon Farming-Ansätzen noch am ehesten, da sich der Ansatz nicht auf einzelne Maßnahmen beschränkt, sondern eine gesamtbetriebliche Beratung und einen Selbstwirksamkeit und Konsequenzerfassung fördernden Schulungsansatz immer miteinschließt. Außerdem kann auch der Ansatz des LfL, durch die mögliche Einbindung besonders vieler Flächen in der Region, problematischen Verschiebungseffekten vorbeugen. Theoretisch kann auch der Bayer Ansatz Verschiebungseffekten vorbeugen, denn in ihrer Argumentation werden Ertragsverluste im Vergleich zum Basisszenario nicht toleriert. Generell ist eine Bewertung der Ansätze anhand dieser drei Kriterien – vor allem in einer gesamtgesellschaftlichen Kontextualisierung – zu diesem Zeitpunkt wenig aussagekräftig und wird an dieser Stelle mit keiner weiteren Diskussion bedacht.

6.5 Bodenbildung – pädagogisch und praktisch

Um langfristig die Gesundheit von landwirtschaftlich genutzten Böden zu fördern, müssen Landnutzer*innen ein grundlegendes Verständnis von Bodenbiologie, -physik und -chemie entwickeln. In der Ausbildung zum*r konventionellen Landwirt*in kommt die Bodenlehre in den meisten Berufsschulen zu kurz bzw. ist nicht präsent. Auch in den Studiengängen der Hochschulen und Universitäten zu konventionellem landwirtschaftlichem Betriebsmanagement findet die Zusammenführung der ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkte nur unzureichend statt. Am Anfang der Gesundung unserer landwirtschaftlich genutzten Böden steht daher die (Boden-)Bildung, das Vermitteln von Verständnis- und Handlungswissen, welches die Landwirt*innen befähigt, kontextual adaptiv (an die Region oder klimatischen Veränderungen angepasst) ihren Boden regenerativ zu nutzen. Diese Art der Bodenbildung im Sinne der Pädagogik ist die Grundvoraussetzung, um langfristig und nachhaltig gesunden Boden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu bilden.

Lebendiger Humusaufbau, der auf der reflexiven Bildung der Landnutzer*innen basiert, ist ein erheblicher Faktor, um den Problemen der Reversibilität und Langfristigkeit begegnen zu können. Darüber hinaus sind Lerneffekte bei Landnutzer*innen einer der wichtigsten Hebel, um die Transformation unserer Landnutzung zu inkubieren. Carbon Farming-Ansätze, die einen solchen Lerneffekt gezielt mit einbeziehen, können damit einen wichtigen Beitrag für eine langfristig funktionale Transformation des Ernährungssystems leisten.

Sowohl die Pläne des LfL Carbon Farming-Ansatzes als auch die des Bayer-Ansatzes sind für Landnutzer*innen präskriptiv und schließen keine (pädagogische) Bodenbildung der Landwirt*innen mit ein. Das langfristige Potenzial dieser Ansätze ist damit von Anfang an auf die Kapazitäten der respektiven Institutionen begrenzt und abhängig

²⁵ <https://rodaleinstitute.org/science/farming-systems-trial/>

von deren kontinuierlichem Beziehungsmanagement mit den Landnutzer*innen. Dadurch wird langfristig die Handlungsfähigkeit der Landwirt*innen (durch die eingeschränkte Inklusivität der Ansätze), ihre Motivation und Fähigkeit zur Konsequenzfassung und Folgenbewältigung verringert. Auch aus einer sozialpsychologischen Sicht ist dieser Ansatz problematisch: Ohne Verständnis entsteht selten Verantwortungsbewusstsein und damit auch keine Eigeninitiative der Landnutzer*innen – und somit weniger Möglichkeiten für positive Rückkoppelungsschleifen.

Auch in der Bildung von gesundem und lebendigem Boden haben die präskriptiven und methodenbasierten Ansätze nicht die Fähigkeit, die vielfältigen Potenziale veränderter (vor allem integrierter und multifunktionaler) Landnutzung zu heben. Damit methodenbasierte Ansätze mit der notwendigen Integration unserer Landnutzung (WBGU 2020) mithalten können, ist ein großer bürokratischer Aufwand notwendig. Ergebnisorientierte Ansätze können dagegen Anreize für progressive Maßnahmen setzen, auch wenn diese noch nicht von Institutionen empfohlen werden (z. B. Pasture Cropping oder Nährstofflösungen). Wichtiger noch – ergebnisorientierte Ansätze setzen Anreize zur größtmöglichen Integration dieser Maßnahmen.

Die drei diskutierten Carbon Farming-Ansätze verhalten sich zur pädagogischen und praktischen Bodenbildung in höchst ungleichem Maße. Das Bayer Carbon Program gibt präskriptiv Maßnahmen vor, die voraussichtlich negative Auswirkungen auf die Bodengesundheit haben. In ihrer Kommunikation mit den Landnutzer*innen werden diese Maßnahmen als der Bodengesundheit ausschließlich förderlich dargestellt. Landwirt*innen werden also nicht selbst mit Bodenwissen gebildet, sondern mit falschen Narrativen von echter Mitigation, Adaption oder Transformation abgekehrt. Auch der Ansatz des LfL verortet langfristig die Expertise über das Bodenmanagement nicht in den Landnutzer*innen, sondern in der eigenen Institution. Es bestehen zu diesem Zeitpunkt keine veröffentlichten Pläne, das Online-Tool und Förderprogramm mit Bodenwissen transferierenden Bildungsangeboten zu begleiten. Das schränkt auch das mögliche Wirkungspotenzial des LfL-Ansatzes zur Bodenbildung ein.

Die Partnerschaft der Stiftung Lebensraum mit der KlimaHumus GmbH und deren Aufbau eines Netzwerks von Kompetenzzentren für die praxisnahe Weiterbildung und Betreuung von landwirtschaftlichen Betrieben schließt die pädagogische Bodenbildung im Design des Ansatzes mit ein. Durch das Bilden von Handlungswissen über Bodenmanagement bei den Landnutzer*innen wird ihre Fähigkeit, durch regenerative Bodennutzung gesunden Boden auf ihren Flächen zu bilden und bei externen Einflüssen das Management schnellstmöglich anzupassen, um z. B. Humus zu erhalten, kontinuierlich vergrößert. Daher ist das Wirkungspotenzial des Ansatzes der Stiftung Lebensraum und der KlimaHumus GmbH, zur pädagogischen und praktischen Bodenbildung beizutragen, nicht von vorneherein begrenzt, sondern zeichnet sich durch die Möglichkeit einer positiven Rückkoppelungsschleife aus.

6.6 Resilienzstärkung des Agrarökosystems

Resilienzstärkung des Agrarökosystems bedeutet, die Robustheit, Anpassungs- und Transformationsfähigkeit eines Agrarökosystems, seine Funktionalität, das Erbringen von materiellen (Nahrung, Futter und Energie) wie auch regulierenden Ökosystemleistungen in Anbetracht externer Schocks oder langfristiger kontextueller Veränderungen zu stärken. Regenerative Bodennutzung ist von zentraler Bedeutung für die Klimamitigation und -anpassung in der Landwirtschaft. Fruchtfolgen, in denen zum Beispiel Mais durch Leguminosen ersetzt werden, können den Stickstoffdüngereinsatz reduzieren und gleichzeitig Humus aufbauen. Gleichzeitig wird der Pestizidbedarf stark minimiert und der Atmosphäre Stickstoff entzogen. Nährlösungen wie Kompost-

tee revitalisieren biologisch wenig aktive, humusarme Böden, indem sie u. a. die humifizierende Pilzflora aktivieren und so zu einem effektiveren Humusaufbau beitragen. Gleichzeitig können Nährlösungen die unterirdische Biodiversität revitalisieren. Nährlösungen verbessern darüber hinaus die Wasserspeicherkapazität für Böden und können so in extremen Wettersituationen große positive Effekte auf den Ertrag einer landwirtschaftlich genutzten Fläche haben. Regenerative Bodennutzung, die auch Kohlenstoff in Böden aufbaut, kann so auf verschiedene Weisen positive sog. „Spillover Effekte“ (Übertragungseffekte) auf das gesamte landwirtschaftliche Betriebsmanagement erzielen, wenn die Konsequenzfassung und das Handlungswissen langfristig in den Landwirt*innen verortet wird.

Ein Carbon Farming-Ansatz kann somit zur Resilienzstärkung des Agrarökosystems beitragen, indem es pädagogische und praktische Bodenbildung unterstützt, oder die Resilienz untergraben, indem monofunktionale Nutzungsweisen perpetuiert und die Einsätze synthetischer Inputs vergrößert werden – der sozio-ökologische Kontext eines Agrarökosystems. Darüber hinaus kann ein Carbon Farming-Ansatz Einfluss auf die Resilienz eines Agrarökosystems nehmen, indem er den regionalen und globalen sozio-ökonomischen Kontext eines Agrarökosystems beeinflusst. Auch diese Einflussnahme kann sowohl positiv als auch negativ bewertet werden.

Carbon Farming-Ansätze können Handel, Industrie und Erzeuger*innen enger zusammenbringen, um so regionale Wertschöpfungsketten zu stärken und Verantwortlichkeiten entlang der Kette fairer zu verteilen. Der Ansatz der positerra GmbH und der Neumarkter Lammsbräu Gebr. Ehrnsperger KG in Bayern ist ein positives Beispiel dieser Möglichkeit. Darüber hinaus kann so die Identifikation von Landwirt*innen, Mitarbeiter*innen der Industrie und des Handels sowie der Kund*innen mit regionalen Ökosystemen gefördert und ein Engagement an deren Regeneration begünstigt werden. In einem solchen System könnten Partner*innen die Kosten für Bodenproben übernehmen, um Einstieghürden für Landwirt*innen zu verringern und eine Transformation zu beschleunigen. Von den hier diskutierten Ansätzen versucht einzig der Ansatz der Stiftung Lebensraum und KlimaHumus GmbH solche regionalen Partnerschaften innerhalb des Ernährungssystems zu stärken.

Carbon Farming-Ansätze können auch verstetigende Auswirkungen auf die bestehenden Markt- und Machtasymmetrien innerhalb des Ernährungssystems haben. Es ist eine Erkenntnis der Humanökologie, dass eine sich vergrößernde Distanz (räumlich, zeitlich und/oder psychologisch) zwischen den Träger*innen ökologisch relevanter Entscheidungen und dem spezifischen Ökosystem zu einer größeren Diskontierung von ökologischen Folgen führt (Lieblein et al. 2001).

In Bayers Carbon Program auf dem amerikanischen Kontinent werden Landwirt*innen nur förderungswürdig für eine Kohlenstoff-Honorierung, wenn sie Aussaat, Instandhaltung und Ernte genau nach den Vorgaben des Bayer Informationsdienstes umsetzen. Sowohl die digitalisierten Landmaschinen, als auch Bayers Climate FieldView™ liefern die Daten, die von künstlicher Intelligenz verarbeitet und den Landwirt*innen zur Verfügung gestellt werden. Das Handlungswissen, die Handlungskapazität und die Motivation zur Eigeninitiative und Verantwortungsübernahme werden damit kontinuierlich von den Landwirt*innen entfernt. Ihre Entscheidungsgewalt wird ausgehöhlt. Stattdessen werden Daten in zentraler, abstrahierter und konzentrierter Form gesammelt – mit zu erwartenden negativen Effekten wie neuen Abhängigkeiten, die zu neuen negativen Rückkoppelungsschleifen führen können.

Je größer der Anteil der globalen Landnutzung, der in das Datenmanagement der globalen Finanzwirtschaft integriert ist, und je effizienter und umfangreicher diese Datenübertragung ist, desto genauer und augenblicklicher ist das Wissen beispielsweise über die global erwartete Getreideerntemenge für jene im Besitz dieser Daten. Für eben jene verbessert sich damit die Chance, mit Finanzprodukten wie Terminkontrakten oder Optionshandeln vor allem im Hochfrequenzhandel auf zukünftige hohe oder niedrige Preise zu wetten, ggf. Lagerbestände zum Gebrauch dieser Wetten anzupassen und so finanziell einen immer größeren Profit am einzelnen Korn zu „erwirtschaften“.²⁶ Das Bruttoinlandsprodukt des Staates, an dessen Finanzmarkt die Händler*innen ihre Geschäfte tätigen, steigt, die Prämie der Händler*innen ebenfalls, die Steuereinnahmen des Staates kaum, die Ernährungssicherheit leidet – ebenfalls leidet die Resilienz der Agrarökosysteme, in denen die wenigen homogenisierten Marktfrüchte der industriellen Nahrungskette unter der größtmöglichen Externalisierung aller Kosten angebaut werden.

So wird der kurzfristige Ertrag gegenüber dem langfristigen Management immer mehr bevorzugt. Der Zusammenhang zwischen generationenübergreifender Landbewirtschaftung und dessen nachhaltiger Nutzung wird unterbrochen. Die Behinderung der generationenübergreifenden Verantwortung fördert die Entwicklung von landwirtschaftlichen Unternehmen, die ausschließlich auf der Grundlage von Lohnarbeit und unter Vernachlässigung ihres Agrarökosystems arbeiten (Williams 2014). Es wird nicht nur die generationenübergreifende Verantwortung verschleiert, sondern durch die zunehmende Distanz zwischen Analyse, Entscheidung und Anwendung von Landnutzungssystemen wird deren Potenzial, die zunehmende Komplexität der nachhaltigen Landnutzung angemessen zu bewältigen, stark beeinträchtigt (ARC 2020).

	IfL	Stiftung Lebensraum	Bayer AG
Methodische Anforderungen	X	X	-
Fairness	(X)	-	-
Reversibilität / Langfristigkeit	(X)	(X)	-
Zusätzlichkeit, Verschiebungseffekte und Trade-Offs	(X)	(X)	(X)
Bodenbildung	(X)	X	-
Resilienzstärkung des Agrarökosystems	(X)	X	-

X = trifft zu; (X) = trifft teilweise zu; - = trifft nicht zu bzw. keine Information

Abbildung 9: Zusammenfassende Übersicht der vergleichenden Bewertung und Einordnung der analysierten Carbon Farming-Ansätze (eigene Darstellung)

7. Empfehlungen an die Politik – Potenziale einer biodiversitätsfördernden Carbon Farming-Strategie

Carbon Farming oder ähnliche Begriffe müssen zurzeit als Sammelbegriffe verstanden werden, hinter denen sich ein sehr breites Spektrum an Ansätzen verbirgt. Diese verbindet zwar in ihrer externen Kommunikation das Ziel des Aufbaus von C_{org}-Gehalten

²⁶ Zum Beispiel überstieg das Finanzvolumen von Terminkontrakten mit Mais im Jahr 2015 das Finanzvolumen der tatsächlichen Maisernte in den USA um das 30-fache, das der Welternte um das 11-fache (ETC Group 2017).

in Böden, die Ansätze sind darüber hinaus aber vor allem von ihrer Unterschiedlichkeit geprägt. Carbon Farming-Ansätze bergen Gefahren wie auch Potenziale für die Transformation des Ernährungssystems im Sinne der globalen Nachhaltigkeitsziele und im Kontext der Biodiversitäts- und Klimakrise.

Carbon Farming-Ansätzen wohnen Gefahren inne, wenn sie die negativen Rückkopplungsschleifen der Landnutzung und die Markt- und Machtasymmetrien im Ernährungssystem verstetigen. Wenn methodische Mindestanforderungen sowie soziale und biodiversitätsberücksichtigende Kriterien nicht erfüllt sind, werden möglicherweise nicht erbrachte Ökosystemleistungen entlohnt, „Landgrabbing“ gefördert und/oder Naturzerstörung fortgesetzt. Derartige Ansätze zeichnen sich meist durch eine große Konsolidierung und Konzentration von Informationen und Marktmacht in den Händen privater Interessengemeinschaften aus. Ansätze, die eine Landnutzung fördern, die Ungerechtigkeit und ökologische Probleme verstetigen oder gar verschärfen, sollten per Ordnungsrecht verhindert und keinesfalls öffentlich gefördert werden.

Bei der kommenden Entwicklung von Carbon Farming-Ansätzen wird das **Datenmanagement** ausschlaggebend sein. Langfristig wird Carbon Farming die Datenbasis über die Landnutzung enorm vergrößern. Die Kontrolle dieser Daten kann (aus NABU-Sicht unerwünschte) bestehende Markt- und Machtasymmetrien im Ernährungssystem perpetuieren oder aber diesen entgegenwirken. Der Aufbau einer staatlichen Förderung und der dafür notwendigen Datenaufnahme-, -speicher- und -verarbeitungskapazitäten sind als Gegengewicht zu den bereits vorhandenen Kapazitäten von z. B. der Bayer AG oder John Deere wichtig, um der Ernährungssystempolitik als Hebel für eine sozial-ökologische Transformation dienen zu können. Technologielösungen wie Bodensonden gekoppelt mit einer mobilen Applikation, die **Entscheidungsautonomie fördern und Handlungswissen für Landwirt*innen zur Verfügung stellen**, können die Fähigkeit und Geschwindigkeit der Klimaanpassung der Landwirtschaft stark verbessern.

So können Carbon Farming-Ansätze von großem Nutzen für alle Beteiligten sein, wenn sie die Klimamitigation und -anpassung, die Biodiversität sowie die Unabhängigkeit der Landwirt*innen fördern. In Entwicklungsländern können private Humusaufbauzertifikate eine subsistenzsichernde und ökologisch höchst wertvolle Wirkung entfalten – eine Mehrgewinnstrategie mit positiven Rückkopplungsschleifen (Lee 2017; Nyberg et al. 2020). In diesem Kontext sollte nach Rattan Lal (2022) der Preis pro Tonne sequestriertem CO₂ im Boden dafür mindestens 35 \$ betragen.

Bei der Rahmensetzung der europäischen Carbon Farming-Debatte gilt es zu berücksichtigen, dass einige Carbon Farming-Ansätze zurzeit das vielleicht einzige Instrument sind, welches Kapitalströme innerhalb des Ernährungssystems von Landwirt*innen nachgelagerten Akteuren wieder hin zu Landwirt*innen umverteilt. Und es damit schaffen, trotz sich verstetigender Macht- und Marktasymmetrien im Ernährungssystem, Kapital in der Landnutzung im Sinne des Natur- und Klimaschutzes verfügbar zu machen. Dies geschieht, ohne diese Umverteilung bei den Konsument*innen direkt einzufordern. Das ist von Bedeutung vor allem unter dem Aspekt der wachsenden sozialen Ungleichheit.

Es ist allerdings nicht zu erwarten, dass Carbon Farming-Ansätze – zumal zu mit dem zurzeit in Europa üblichen Preis (dem/der Landwirt*in wird im Mittel 30 € pro Tonne CO₂ ausgezahlt) – das strukturelle Einkommensproblem der bäuerlichen Landwirtschaft in Europa lösen und allein einen Wandel hin zu einer nachhaltigen Landnutzung einleiten können. Es ist im sozio-ökonomischen Kontext der Landwirtschaft in der Europäischen Union aber vorstellbar, dass **Carbon Farming-Ansätze in Kombina-**

tion mit einer Neuausrichtung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) durch langfristige Anreize für eine regenerative Bodennutzung bedeutende Wirkungspotenziale entfalten können.

Skizzierung einer Integration politischer Carbon Farming-Instrumente

Aufbauend auf das vom EEB vorgeschlagenen Policy Framework („Strategic hierarchy of funding models“) und anhand der Ergebnisse der in diesem Papier dargelegten Analyse des Ansatzes der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und der Stiftung Lebensraum, wird ersichtlich, dass eine Kombination von unterschiedlichen Carbon Farming-Instrumenten möglich ist. So können Potenziale genutzt und Risiken vermindert werden und **eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie, die private und öffentliche Anreiz- und Ordnungsregularien vereint, entwickelt werden.**

Eine Carbon Farming-Strategie, die **die beiden Kernmerkmale der Ansätze des LfL und der Stiftung Lebensraum integriert**, könnte bedeutende Synergien schaffen. Die beiden Merkmale sind zum einen die Eingliederung der standort- und landnutzungsspezifischen Humusdaten in „Humuskulissen“, operationalisiert in einer staatlichen Förderung (LfL), und zum anderen Handlungsfähigkeit und -wissen fördernde Schulungen, Beratungen und die Honorierung von Landwirt*innen (Stiftung Lebensraum), operationalisiert (auch) durch Humusaufbauzertifikate.

Die „Fairness“ könnte in einem solchen System etabliert werden, in dem neben dem Humusaufbau auch der **Erhalt des standort- und nutzungsspezifischen optimalen Humusgehalts finanziell vergütet** wird. Hierzu sind entsprechend anspruchsvolle Mindeststandards notwendig, die nach Landnutzungsart und Region differenziert angelegt sein sollten (z. B. bei Grünland eine Bezugsgröße genormt nach Bodenwerten von Flächen, die mit den Prinzipien des Holistic High Density Grazing beweidet sind).

Private Humusaufbauzertifikate könnten in einem solchen System als vorübergehende katalysierende Anreize für Landwirt*innen auf dem Weg zum optimalen Humusgehalt dienen, wenn sie als Grundbedingung die Bodenbiodiversität fördern und regionale Wertschöpfungsstrukturen stärken. Somit entsteht auch ein weiterer Anreiz für Unternehmen im Ernährungs- und Landnutzungssystem, über die Netto-Klimaneutralität hinauszugehen, da das Angebot für Humusaufbauzertifikate konzeptuell begrenzt wird (durch die Beachtung der Theorie des Fließgleichgewichts im Instrumentenmix) und entsprechende Preissteigerungen zu erwarten wären. Private Humusaufbauzertifikate, die Mindestanforderungen gerecht werden, wären so lediglich ein vorübergehender Katalysator von vielen, die für die Transformation benutzt würden, und könnten nicht (endlos) verwendet werden. Die Nutzung dieser Zertifikate sollte Regularien unterliegen, die ausschließen, dass Konsument*innen oder die Öffentlichkeit fehlgeleitet oder Emissionsreduktionen verzögert werden.

Langfristig sollte Carbon Farming aber durch ein **staatliches Förder- und Regulierungsprogramm** (z. B. eine ergebnisorientierte, grundlegend reformierte EU-Agrarpolitik), das standort- und nutzungsspezifisch relative C_{org} -Veränderungen reguliert und relative Verbesserungen und den Erhalt optimaler C_{org} -Vorräte sowie die Stärkung der Bodenbiodiversität honoriert, umgesetzt werden.

Förder- und Regulierungsprogramme, die sich die Entwicklung der Bodengesundheit zum Ziel setzen, könnten **für Landwirt*innen eine wichtige langfristige Planungssi-**

cherheit gewährleisten. Langfristige Planungssicherheit ist eine notwendige Voraussetzung, um die Transferkosten beim Übergang zu einer nachhaltigen Landnutzung zu reduzieren. Darüber hinaus können **unvoreingenommene Handlungsfähigkeit und -wissen fördernde Schulung und Beratung** zur Entwicklung der Bodengesundheit zahlreiche Übertragungseffekte für eine insgesamt nachhaltigere und resilientere Landwirtschaft erzielen.

Aus Sicht des NABU haben **ergebnisorientierte Zahlungen anstelle von maßnahmenbasierten Zahlungen** eine Reihe von Vorteilen (schließen aber maßnahmenbasierte Ansätze nicht aus, eine Kombination von maßnahmen- und ergebnisorientierten Zahlungen erscheint vor allem in einer Übergangsphase erstrebenswert): (1) Maßnahmenbasierte Zahlungen fördern oft nicht die für eine nachhaltige Landnutzung notwendige systemische und synergistische Integration von Schutz und Nutzung auf der Landschaftsebene; (2) Sie verringern die Handlungsfähigkeit der Landwirt*innen (eingeschränkte Inklusivität), ihre Motivation und Fähigkeit zur Konsequenzerfassung und Folgenbewältigung; (3) Ergebnisorientierte Zahlungen können progressivere und integrativere Maßnahmen sowie die Bodenbildung im wörtlichen wie auch im übertragenen Sinne (der Wissensvermittlung) fördern; (4) Maßnahmenbasierte Zahlungen fördern nicht den Aufbau eines MRV-Systems, das für eine Regulation genutzt werden kann.

Intelligent integrierte Instrumente einer biodiversitätsfördernden Carbon Farming-Strategie können so nach Ansicht des NABU durch positive Übertragungseffekte als ein Hebel der sozial-ökologischen Transformation des Ernährungssystems dienen.

Die in diesem Standpunkt erarbeiteten Leitkriterien für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie lassen sich abschließend somit folgendermaßen zusammenfassen:

Mindestanforderungen an private Carbon Farming-Ansätze:

- Die Stärkung der **Biodiversität** sollte bei dem Ziel, Emissionen zu reduzieren und die Kohlenstoffentnahme und -speicherung zu erhöhen, nicht nur eine verpflichtende Nebenleistung sein, sondern in den Handlungsstrategien als „Enabler“ begriffen und in den Maßnahmen integriert sein.
- Fachlich anerkannte **methodische Anforderungen** zur Bestimmung der C_{org} -Veränderungen (Probenahme, Analytik, Bestimmung C_{org} -Vorrat) müssen gegeben sein.
- Die **Langfristigkeit** des im Boden sequestrierten atmosphärischen Kohlenstoffs muss adressiert bzw. die mögliche Reversibilität der Senke einkalkuliert werden.
- **Verschiebungseffekten** muss z. B. durch gesamtbetriebliche Optimierungsstrategien vorgebeugt werden.
- Zertifikate basierend auf C_{org} dürfen **keine Landspekulationen** ermöglichen, sondern sollten regionale Wertschöpfungsstrukturen stärken. Die Nutzung dieser Zertifikate sollte Regulatorien unterliegen, die **ausschließen, dass Konsument*innen fehlgeleitet** oder **Emissionsreduktionen verzögert** werden.

Weitergehende Empfehlungen an die Politik für eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie:

- Aufbau eines **staatlichen Förder- und Regulierungsprogramms**, das standort- und nutzungsspezifisch relative C_{org} -Veränderungen reguliert, relative Verbesserungen und den Erhalt optimaler C_{org} -Vorräte honoriert sowie langfristig Bodenbiodiversitätsindikatoren in die MRV mit einbezieht
- Förderung von **Schulung und Beratung** von Landwirt*innen zur ökologischen und ökonomischen Resilienzförderung von Agrarökosystemen, durch das Vermitteln von Handlungsfähigkeit und -Wissen für eine regenerative Bodennutzung
- **Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen** in Technologielösungen für Bodenanalyse und -nutzung, die Handlungsautonomie und Selbstlernförderung von Landwirt*innen unterstützen
- **Integration aller Treibhausgasflüsse** landwirtschaftlicher Betriebe in Carbon Farming-Ansätze

Fazit

Eine biodiversitätsfördernde Carbon Farming-Strategie mit langfristigen Anreizen birgt Potenzial, integrierte agrarökologische Maßnahmen zeitnah und dauerhaft in die Fläche zu bringen. Dort könnten diese Maßnahmen die negative Rückkoppelungsschleife der intensiven Landnutzung in eine positive und regenerative Rückkoppelungsschleife wandeln, um damit den sich gegenseitig verstärkenden ökologischen Krisen synergetisch entgegenzusteuern und langfristig eine resiliente Ernährungssicherung zu ermöglichen.

Quellen

ARC2020 (2020). Agricultural and Rural Convention. "Combating The Financialisation Of Agriculture: Your Land, My Land, Our Land | Agricultural and Rural Convention Combating The Financialisation Of Agriculture: Your Land, My Land, Our Land," July 7, 2020. <https://www.arc2020.eu/combating-the-financialisation-of-agriculture-your-land-my-land-our-land/>.

Bakker, P. A.H. M., Berendsen, R. L., Doornbos, R. F., Wintermans, P. C. A. & Pieterse, C. M. J. (2013). The rhizosphere revisited: root microbiomics.

Banerjee, S., Zhao, C., Kirkby, C. A., Coggins, S., Zhao, S., Bissett, A., ... & Richardson, A. E. (2021). Microbial interkingdom associations across soil depths reveal network connectivity and keystone taxa linked to soil fine-fraction carbon content. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 320, 107559.

Bjorkhaug, H., Magnan, A., & Lawrence, G. (Eds.). (2018). *The financialization of agri-food systems: contested transformations*. Routledge.

Bray, N., Kao-Kniffin, J., Frey, S. D., Fahey, T., & Wickings, K. (2019). Soil Macroinvertebrate Presence Alters Microbial Community Composition and Activity in the Rhizosphere. *Frontiers in microbiology*, 10, 256. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00256>

Campbell, B. M., D. J. Beare, E. M. Bennett, J. M. Hall-Spencer, J. S. I. Ingram, F. Jaramillo, R. Ortiz, N. Ramankutty, J. A. Sayer, and D. Shindell. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22(4):8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>

COWI, Ecologic Institute & IEEP (2021). Annexes to Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. Report to the European Commission, DG Climate Action on Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby.

Domeignoz-Horta, L.A., Shinfuku, M., Junier, P. et al. (2021). Direct evidence for the role of microbial community composition in the formation of soil organic matter composition and persistence. *ISME COMMUN.* 1, 64. <https://doi.org/10.1038/s43705-021-00071-7>

EAL. (2022). Southern Cross University at the Soil Regen Summit 2022, min. 18:10. <https://www.youtube.com/watch?v=W0Xn6ex4vCo>

Ellison, D., Wang-Erlandsson, L., van der Ent, R. & van Noordwijk, M. (2019). Upwind forests: managing moisture recycling for nature-based resilience. *Unasylva* 70, 13.

Epstein, G. A. (Ed.). (2005). *Financialization and the world economy*. Edward Elgar Publishing.

ETC Group. “Who Will Feed Us: The Peasant Food Web vs. the Industrial Food Chain.” (2017). <https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/etc-whowillfeedus-englishwebshare.pdf>.

Feindt, Peter H., and Sabine Weiland. (2018). Reflexive Governance: Exploring the Concept and Assessing Its Critical Potential for Sustainable Development. Introduction to the Special Issue. *Journal of Environmental Policy & Planning* 20, no. 6: 661–74. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2018.1532562>.

Folke, Carl, Reinette Biggs, Albert V. Norström, Belinda Reyers, and Johan Rockström (2016). Social-Ecological Resilience and Biosphere-Based Sustainability Science. *Ecology and Society* 21, no. 3. <https://www.jstor.org/stable/26269981>.

Gentine, P. et al. (2019). Coupling between the terrestrial carbon and water cycles – a review. *Environ. Res. Lett.* <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab22d6/pdf>.

Gunstone, Tari, et al. (2021). Pesticides and Soil Invertebrates: A Hazard Assessment. *Frontiers in Environmental Science* 9: 122.

Heinemeyer, O., Insam, H., Kaiser, E.A. et al. (1989). Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infra-red gas analysis. *Plant Soil* 116, 191–195. <https://doi.org/10.1007/BF02214547>

Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J. & Rejšková –Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. *Ecological Engineering* 54, 145–154.

Insam, H. (1990). Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime. *Soil Biology & Biochemistry*, 22, 525-532.
[http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90189-7](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(90)90189-7)

Insam, H. (2018). The Future of Soil Carbon || Recycling of Organic Wastes to Soil and Its Effect on Soil Organic Carbon Status. 195–214. doi:10.1016/B978-0-12-811687-6.00007-9

IPBES-IPCC, Pörtner, Hans-Otto, Scholes, Robert J., Agard, John, Archer, Emma, Arneth, Almut, Bai, Xuemei, Barnes, David, Burrows, Michael, Chan, Lena, Cheung, Wai Lung (William), Diamond, Sarah, Donatti, Camila, Duarte, Carlos, Eisenhauer, Nico, Foden, Wendy, Gasalla, Maria A., Handa, Collins, Hickler, Thomas, Hoegh-Guldberg, Ove, ... Ngo, Hien. (2021). Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change (Version 5). Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5101125>

IPES-Food & ETC Group, (2021). A Long Food Movement: Transforming Food Systems by 2045.

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 Rep 64, DOI:10.3220/REP1542818391000.

Jasechko, S. et al. (2013). Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. *Nature* 496, 347–350.

Jehne, W., & Australia, H. S. (2017). Regenerate Earth. September: <http://www.globalcoolingearth.org/wpcontent/uploads/2017/09/Regenerate-Earth-Paper-Walter-Jehne.pdf>.

Keller, Thomas & Or, Dani. (2022). Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 119. 10.1073/pnas.2117699119.

Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M. & Tóth, E. (2007). Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm. 94.

LaCanne, Claire & Lundgren, Jonathan. (2018). Regenerative agriculture: Merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*. 6. e4428. 10.7717/peerj.4428.

Lal, R. (2019). Eco-intensification through soil carbon sequestration: Harnessing ecosystem services and advancing sustainable development goals. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74(3), 55A-61A.

Lal, R. (2020). Soil science beyond COVID-19. *Journal of Soil and Water Conservation* April 2020, jswc.2020.0408A; DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0408A>

Lal, R. (2022). GFFA 2022 Expert Panel 1 - International Union of Soil Sciences (IUSS). Min. 56:30. <https://www.youtube.com/watch?v=zCkdaOoGfok>.

Lieblein, G., Francis, C. A., & Torjusen, H. (2001). Future Interconnections Among Ecological Farmers, Processors, Marketers, and Consumers in Hedmark County, Norway: Creating Shared Vision. *Human Ecology Review*, 8(1), 60–71. <http://www.jstor.org/stable/24707237>

Lavelle, P., Mathieu, J., Spain, A., Brown, G., Fragoso, C., Lapied, E., ... & Zhang, C. (2022). Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*.

Lieblein, G., Francis, C. A., & Torjusen, H. (2001). Future Interconnections Among Ecological Farmers, Processors, Marketers, and Consumers in Hedmark County, Norway: Creating Shared Vision. *Human Ecology Review*, 8(1), 60–71. <http://www.jstor.org/stable/24707237>

Loboguerrero, Ana M., Bruce M. Campbell, Peter J.M. Cooper, James W. Hansen, Todd Rosenstock, and Eva Wollenberg. (2019). "Food and Earth Systems: Priorities for Climate Change Adaptation and Mitigation for Agriculture and Food Systems" *Sustainability* 11, no. 5: 1372. <https://doi.org/10.3390/su11051372>

Mahmood, R. et al. (2014). Land cover changes and their biogeophysical effects on climate: Land cover changes and their biogeophysical effect on climate. *International Journal of Climatology* 34, 929–953,

Martani (2021). Belowground biomass C outweighs soil organic C of perennial energy crops: Insights from a long-term multispecies trial. *GCB Bioenergy - Wiley Online Library*.

Mayer, A. (1997). Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables, *British Food Journal*, Vol. 99 No. 6, pp. 207-211. <https://doi.org/10.1108/00070709710181540>

McDonald, H., Frelih-Larsen, A., Lóránt, A., Duin, L., Pyndt Andersen, S., Costa, G., and Bradley, H. (2021). Carbon farming – Making agriculture fit for 2030, Study for the committee on Environment, Public Health and Food Safety (ENVI), Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament, Luxembourg.

McKinsey, Putting carbon markets to work on the path to net-zero, 28 October 2021.

Menta, Cristina & Conti, Federica & Pinto, Stefania & Bodini, Antonio. (2017). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*. 85. 773-780. 10.1016/j.ecolind.2017.11.030.

Miko, L. (2021). Soils and green revolution: are we burning fossil carbon? Webinar Renew Europe: Soil and the Green Deal: <https://www.facebook.com/RenewEurope/videos/498573251390219/>.

Montgomery, D. R., Biklé, A., Archuleta, R., Brown, P., & Jordan, J. (2022). Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. *PeerJ*, 10, e12848.

Morriën, E., Hannula, S., Snoek, L. et al. Soil networks become more connected and take up more carbon as nature restoration progresses. (2017). *Nat Commun* 8, 14349. <https://doi.org/10.1038/ncomms14349>

Morris, C. E. et al. (2014). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Global Change Biology* 20, 341–351.

Nyssens, C. (2021). Carbon Farming for Climate, Nature, and Farmers report. EEB. <https://eeb.org/wp-content/uploads/2021/10/Carbon-Farming-Report-FINAL-WEB.pdf>

OECD (2020). Strengthening Agricultural Resilience in the Face of Multiple Risks. <https://doi.org/10.1787/2250453e-en>.

Ouma, S. (2018). Opening the black boxes of finance-gone-farming: A global analysis of assetization. In *The Financialization of Agri-Food Systems* (pp. 85-107). Routledge.
Reuters (2021). <https://www.reuters.com/article/us-bayer-farming-climate-change-idUSKCN24M2CE>

Reuters (2021). <https://www.reuters.com/article/us-bayer-farming-climate-change-idUSKCN24M2CE>

Judith Riedo, Felix E. Wettstein, Andrea Rösch, Chantal Herzog, Samiran Banerjee, Lucie Büchi, Raphaël Charles, Daniel Wächter, Fabrice Martin-Laurent, Thomas D. Bucheli, Florian Walder, and Marcel G. A. van der Heijden (2021). Widespread Occurrence of Pesticides in Organically Managed Agricultural Soils – the Ghost of a Conventional Agricultural Past? *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 5, 2919–2928. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>

Scharlemann, Jörn PW, Edmund VJ Tanner, Roland Hiederer & Valerie Kapos (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, *Carbon Management*, 5:1, 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77

Schneider, U. et al. (2017). Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). *Atmosphere* 8, 52.

Schröder, J. J., Ten Berge, H. F., Bampa, F., Creamer, R. E., Giraldez-Cervera, J. V., Henriksen, C. B., ... & Spiegel, H. (2020). Multi-functional land use is not self-evident for European farmers: A critical review. *Frontiers in Environmental Science*, 156.

Schrumpf, M. & Trumbore, S. (2011). Unser wichtigster Kohlenstoffspeicher: Wie der Boden als dünne Haut der Erde globale Stoffkreisläufe und das Klima beeinflusst. Max-Planck-Gesellschaft: https://www.mpg.de/4705567/Kohlenstoffspeicher_Boden.

Schwarzer, S. (2021). Working with plants, soils and water to cool the climate and rehydrate Earth's landscapes. UNEP 25th Foresight Brief: <https://www.unep.org/resources/emerging-issues/working-plants-soils-and-water-cool-climate-and-rehydrate-earths>.

Schwarzer, S. (2021). <http://aufbauende-landwirtschaft.de/>.

Stiftung Lebensraum (2021). <https://stiftunglebensraum.org/>.

Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T. C., Kremen, C., van der Heijden, M. G., Liebman, M., & Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Science advances*, 6(45), eaba1715.

Terrer, C.; Phillips, R.P.; Hungate, B.A. et al. (2021). A trade-off between plant and soil carbon storage under elevated CO₂.

Thakur, M. P., Phillips, H. R., Brose, U., De Vries, F. T., Lavelle, P., Loreau, M., ... & Cameron, E. K. (2020). Towards an integrative understanding of soil biodiversity. *Biological Reviews*, 95(2), 350-364.

Timmermans, F. (2021). Neue Studie zum Potential von „Carbon Farming“ im Kampf gegen den Klimawandel. https://ec.europa.eu/germany/news/20210427-carbon-farming_de.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. & Kiehl, J. (2009). Earth's Global Energy Budget. *Bulletin of the American Meteorological Society* 90, 311–324.

Umweltbundesamt (2015). Bodenzustand in Deutschland. Zum "internationalen Jahr des Bodens".

Wagg, C., Schlaeppli, K., Banerjee, S., Kuramae, E. E., & van der Heijden, M. G. (2019). Fungal-bacterial diversity and microbiome complexity predict ecosystem functioning. *Nature communications*, 10(1), 1-10.

Watt, R. (2021). The fantasy of carbon offsetting, *Environmental Politics*, 30:7, 1069-1088, DOI: 10.1080/09644016.2021.1877063.

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

Wiesmeier, Martin & Mayer, Stefanie & Paul, Carsten & Helming, K. & Don, Axel & Franko, U. & Steffens, Markus & Kögel-Knabner, Ingrid. (2020). CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. 10.20387/BonaRes-F8T8-XZ4H.

Wiesmeier, M. (2021). HEF Akademie SoSe21: Humusaufbau in Zeiten des Klimawandels: eine Illusion? <https://www.youtube.com/watch?v=HxZzSHoczk>.

Williams, James W. (2014). "Feeding Finance: A Critical Account of the Shifting Relationships between Finance, Food and Farming." *Economy and Society* 43, no. 3 (July 3, 2014): 401–31. <https://doi.org/10.1080/03085147.2014.892797>.

Zhang, Junling & Van der Heijden, Marcel & Zhang, Fusuo & Bender, S.. (2020). Soil biodiversity and crop diversification are vital components of healthy soils and agricultural sustainability. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 7. 10.15302/J-FASE-2020336.