



# WIE HUMUSZERTIFIKATE TATSÄCHLICH ZUM KLIMA- SCHUTZ BEITRAGEN KÖNNEN

Ausreichend Humus hilft dabei Erträge langfristig zu sichern. Bei Humuszertifikaten muss allerdings der wirkliche Nutzen für das Klima richtig berechnet werden.

Das Konzept ist bestechend einfach: Ein Landwirt erhöht den **Humus-Gehalt** auf seinen Flächen und verkauft diese Leistung in **Form von Zertifikaten** am freiwilligen Kohlenstoff-Markt. Firmen oder Einzelpersonen kaufen diese Zertifikate, „kompensieren“ dadurch ihren **CO<sub>2</sub>-Ausstoß** und behaupten in der Folge „klimaneutral“ zu sein bzw. ebensolche Produkte herzustellen.

Das ist kurz gefasst die **Idee von Humuszertifikaten**.

**E**s überrascht also nicht, dass das Thema derzeit auf großes Interesse stößt. Insbesondere wenn man sich die mehr oder weniger realen Vorteile für alle Beteiligten ansieht:

- Die Landwirte verbessern durch Humusaufbau ihren Boden und erwirtschaften über den Zertifikathandel gleichzeitig ein Zusatzeinkommen.

- Die Zertifikat-Käufer bewerben sich bzw. einzelne Produkte am Markt als „klimaneutral“ und realisieren damit einen Wettbewerbsvorteil.
- Umweltbewusste Konsumenten kaufen „mit gutem Gewissen“ „klimaneutrale“ Produkte.
- Anbieter von Humuszertifikaten setzen ein „grünes“ Geschäftsmodell in die Praxis um.
- Bodenlabors freuen sich über

die gestiegene Nachfrage nach Bodenanalysen.

- Politische Entscheidungsträger erhoffen sich eine scheinbar einfache Lösung für eines der drängendsten Probleme unserer Zeit.
- Und Bodenwissenschaftler schließlich – die Zunft des Autors – können die gesellschaftliche Relevanz ihrer Forschung demonstrieren und diese in Förderanträgen geltend machen.



### ALLES BESTENS ALSO?

Mitnichten, wie diese leicht ironisch zugespitzte Aufzählung erahnen lässt. Ja, die jahrelangen Anstrengungen von Humusaufbau-Pionieren sind jedenfalls zu begrüßen und zu unterstützen – gerade weil ausreichend Humus im Boden viele Vorteile für die landwirtschaftliche Praxis mit sich bringt. Wenn es aber um den Beitrag von Humusaufbau zum Klimaschutz geht, müssen sich alle Beteiligten fragen (lassen), inwiefern Humuszertifikate denn tatsächlich zu diesem Ziel beitragen können.

Dieser Artikel versucht daher die aktuelle Debatte aus naturwissenschaftlicher Sicht zusammenzufassen und einige grundlegende Denkanstöße zu geben. Erstens muss bei der Kohlenstoff-Bepreisung grundsätzlich zwischen der Emission von Treibhausgasen („Emissionsrechte“), dem Schutz von bestehenden Kohlenstoff-Vorräten in Böden oder in Bäumen („vermiedene Emissionen“) und einer zusätzlichen Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre („negative Emissionen“) unterschieden werden. In diesem Artikel geht es hauptsächlich um Letzteres.

Im Fall von Humuszertifikaten bedeutet dies, zweitens, dass man außerdem zwischen der Veränderung der Kohlenstoff-Vorräte (=Kohlenstoff-Speicherung) und der zusätzlichen Überführung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in Speicher mit längeren Verweilzeiten (=Kohlenstoff-Sequestrierung) unterscheiden muss. Diese beiden Begriffe werden oft gleichbedeutend verwendet, beschrei-

ben aber unterschiedliche Sachverhalte (Infobox 1).

Drittens wird vorgeschlagen die zusätzliche Kohlenstoff-Sequestrierung anhand ihres Klimanutzens zu bewerten (Infobox 1, Abbildung 1). Der Klimanutzen sollte die Grundlage für die Bewertung von Humuszertifikaten sein.

### KOHLENSTOFF-SPEICHERUNG ≠ KOHLENSTOFF-SEQUESTRIERUNG ≠ KLIMANUTZEN

Aus landwirtschaftlich-praktischer Sicht ist die Erhöhung des Humus-Gehalts bzw. -Vorrats oft gerechtfertigt. Leider gibt uns die Erhöhung des Vorrats allein noch keine direkte Auskunft über den Beitrag des Humusaufbaus zum Klimaschutz.

Dafür ist es notwendig, zwischen Kohlenstoff-Speicherung und Kohlenstoff-Sequestrierung zu unterscheiden (Infobox 1). Während die Kohlenstoff-Speicherung beschreibt wie sich der Kohlenstoff-Vorrat zwischen zwei Zeitpunkten verändert, misst die Kohlenstoff-Sequestrierung wie viel von einer zusätzlichen Menge an Kohlenstoff über einen bestimmten Zeitraum in einem Vorrat verbleibt. Ein scheinbar kleiner, aber wichtiger Unterschied. Oder anders gesagt: Die Veränderung des Humus-Vorrats (=Kohlenstoff-Speicherung) berücksichtigt nicht, dass der Kohlenstoff zwischen den Messzeitpunkten ja die ganze Zeit in Form von Humus im Boden – und eben nicht in der Atmosphäre – vorhanden war. Mathematisch entspricht die Änderung des Vorrats der Dif-

ferenz zwischen „vorher“ und „nachher“ in z. B. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar. Die Änderung des Vorrats kann bei Humus-Abbau auch negativ sein.

Die Kohlenstoff-Sequestrierung hingegen betrachtet außerdem noch – und das ist ganz entscheidend! – die Zeit in der der zusätzliche Kohlenstoff im Boden zurückgehalten wird. Dieser Kohlenstoff ist während dieses Zeitraums nicht als CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre vorhanden und kann daher nicht zur Erwärmung beitragen (Infobox 1).

Mathematisch berechnet man die Kohlenstoff-Sequestrierung als die Fläche unter der Kurve des über eine gewisse Zeit im Boden verbleibenden Kohlenstoffs (Abbildung 1, links unten). Die Kohlenstoff-Sequestrierung kann im Gegensatz zur Vorrats-Änderung schlimmstenfalls Null, aber nicht negativ werden.

Der Klimanutzen der Kohlenstoff-Sequestrierung wird ganz ähnlich berechnet wie die Kohlenstoff-Sequestrierung selbst. Hier wird jedoch noch zusätzlich berücksichtigt in welchem Ausmaß das im Boden festgehaltene CO<sub>2</sub> andernfalls zur Erwärmung beigetragen hätte. Der Klimanutzen ist also die durch Kohlenstoff-Sequestrierung vermiedene Erwärmung (Einheit: Wattjahre/m<sup>2</sup>). Aus Sicht der Atmosphäre ist das eine „negative Erwärmung“ und hat daher ein Minus als Vorzeichen (Abbildung 1, rechts unten).



## INFOBOX 1: WICHTIGE BEGRIFFE RUND UM HUMUSAUFBAU ZUM KLIMASCHUTZ

### Humus

Gleichbedeutend mit Organischer Bodensubstanz (engl. soil organic matter, SOM). Die im Boden angehäuften Reste und Ausscheidungen von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, welche sich unter der Einwirkung derselben in ständigem Auf-, Um- und Abbau befinden. Üblicherweise dunkel (schwarz bis grau). Sehr diverses Material verschiedensten Alters, von den Wurzelabscheidungen der letzten Stunde und gerade abgestorbene Pilzfäden über verkohltes Material bis zu stark „humifizierten“, tausende Jahre alten Stoffen<sup>1</sup>. Daher schreibt Sir Albert Howard in seinem Landwirtschaftlichen Testament: „Humus im natürlichen Zustand ist dynamisch, nicht statisch.“<sup>1,2</sup>

### Organischer Kohlenstoff ( $C_{org}$ )

Hauptbestandteil von Humus. Abkürzung:  $C_{org}$ , OC (von engl. organic carbon). Traditionell wird angenommen, dass Humus zu 58 % aus  $C_{org}$  besteht<sup>3</sup>. Tatsächlich kann der Anteil von  $C_{org}$  im Humus variieren und dürfte im Mittel eher 50 % betragen<sup>4</sup>. Wenn im Kontext der Humus-Debatte allgemein von Kohlenstoff (Abkürzung: C) die Rede ist, ist normalerweise der  $C_{org}$  gemeint; der anorganische Bodenkohlenstoff in Form von z. B. Kalk wird hier nicht berücksichtigt.

### Gehalt an Humus oder $C_{org}$

Masse von Humus oder  $C_{org}$  pro Gramm trockenem Feinboden. Einheiten: Masse-%, mg/g = g/kg. Der  $C_{org}$ -Gehalt wird nach Verbrennung einer auf <2 mm gesiebten, getrockneten Bodenprobe aus dem dabei freigesetzten  $CO_2$  unter Abzug von eventuell vorhandenem anorganischem Kohlenstoff berechnet. Pflanzenreste, wie Ernterückstände und Grobwurzeln >2 mm, werden ausgesiebt und zählen nicht zum  $C_{org}$ . Der Humus-Gehalt kann aus dem  $C_{org}$ -Gehalt wie folgt berechnet werden: Humus =  $C_{org}/0,58 = C_{org} * 1,724$ . Dabei wird angenommen das Humus 58 %  $C_{org}$  enthält, was nicht mehr dem aktuellen Wissenstand entspricht. Alternativ ist eine näherungsweise Bestimmung des Humus-Gehalts durch Veraschung möglich, welche jedoch mit großen methodischen Unsicherheiten behaftet ist. Bei der Berechnung von Humuszertifikaten wird daher normalerweise der  $C_{org}$ -Gehalt verwendet.

### Vorrat an Humus oder $C_{org}$

Masse von Humus oder  $C_{org}$  in einem definierten Bodenvolumen. Einheiten: Tonnen/Hektar, kg/m<sup>2</sup> bzw. Tonnen, kg wenn die Fläche bekannt ist. Der Vorrat (engl. stock; gleichbedeutend zu Speicher, engl. pool) einer bestimmten Fläche bezieht sich auf eine definier-

te Bodentiefe (z.B. 0–30 cm, 0–100 cm, 0–200 cm). Zur Berechnung des  $C_{org}$ -Vorrats im Boden werden neben der Angabe des  $C_{org}$ -Gehalts und der Bezugstiefe zwingend auch Angaben zur Lagerungsdichte sowie zum Steingehalt des Bodens benötigt<sup>5,6</sup>.

### Kohlenstoff-Speicherung

Messbare Differenz des Kohlenstoff-Vorrats zwischen zwei Zeitpunkten. Einheiten: Tonnen/Hektar, kg/m<sup>2</sup> bzw. Tonnen, kg wenn die Fläche bekannt ist. Die Differenz der  $C_{org}$ -Vorräte wird oft in Humus-Zertifikaten angegeben und fälschlicherweise mit Kohlenstoff-Sequestrierung oder deren Klimanutzen gleichgesetzt. Kann auch negativ sein (=Humus-Verlust, Humus-Abbau). Kann, aber muss nicht zwingend mit einem Netto-Entzug von  $CO_2$  aus der Atmosphäre über den Betrachtungszeitraum einhergehen<sup>7,8</sup>.

Beantwortet im Kontext von Humuszertifikaten die Frage: Wie verändert sich der  $C_{org}$ -Vorrat des Bodens zwischen zwei Zeitpunkten?

### Kohlenstoff-Sequestrierung

Netto-Entzug von  $CO_2$  aus der Atmosphäre durch Überführung in Speicher mit längeren Kohlenstoff-Verweilzeiten<sup>7</sup>. Entspricht der Masse des zusätzlichen Kohlenstoffs, der über einen bestimmten Zeitraum im Speicher verbleibt<sup>9,10</sup>. Abkürzung: CS (von engl. carbon sequestration). Einheiten: Tonnenjahre/Hektar (t C ha-1 J), Kilogrammjahre/m<sup>2</sup> (kg C m-2 J). Im Fall von Boden die Überführung von „ $CO_2$  aus der Atmosphäre in den Boden einer Landeinheit durch Pflanzen, Pflanzenreste oder anderen organischen Feststoffen, welche in der [Land-]Einheit als Teil der organischen Bodensubstanz gespeichert oder zurückgehalten werden“<sup>7</sup>. Gleichbedeutend mit Kohlenstoff-Abscheidung.

Beantwortet im Kontext von Humuszertifikaten die Frage: Wieviel Kohlenstoff wird über einen gewissen Betrachtungszeitraum zusätzlich im Boden zurückgehalten?

„Ewige Betrachtung“: Sequestrierung wird nur bei sehr langen Kohlenstoff-Verweilzeiten von hunderten bis tausenden Jahren akzeptiert<sup>11</sup>. Daher meist an bestimmte chemische Form des Kohlenstoffs geknüpft, wie stabilisiertem  $C_{org}$ , aber auch Kohle oder, im Extremfall, Kalkgestein. Führt im Fall von C-Speicherung im Boden zu Herausforderungen hinsichtlich der Langfristigkeit (vgl. Infobox 2).



„Zeitlich veränderliche Betrachtung“: Sequestrierung wird auch bei vergleichsweise kurzen Kohlenstoff-Verweilzeiten akzeptiert<sup>9,10,12,13</sup>. Kann mit Hilfe von standortspezifischen Informationen zu zusätzlichen Kohlenstoff-Inputs und den vorhandenen  $C_{org}$ -Vorräten mit ihren verschiedenen Abbauraten berechnet werden<sup>9</sup>.

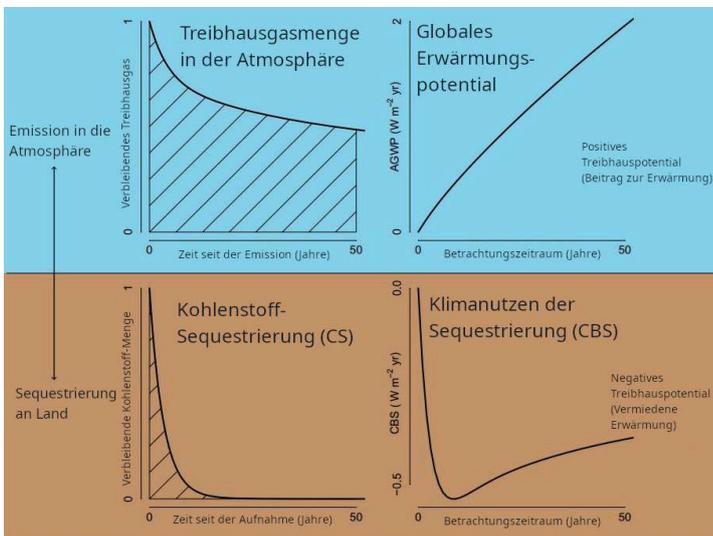
### 🌿 Klimanutzen der Kohlenstoff- Sequestrierung

Der Strahlungs-Effekt in der Atmosphäre, der durch die Kohlenstoff-Sequestrierung über einen bestimmten Zeitraum vermieden wird. Einheit: Wattjahre/m<sup>2</sup> (W m-2 J). Abkürzung: CBS (von engl. climate benefit of sequestration). Gleiches Konzept und gleiche Einheit, wie das Globale Erwärmungspotential (engl. absolute global warming potential, AGWP), welches zur Berechnung der Klimaschädlichkeit von atmosphärischen Treibhausgasen verwendet wird. Allerdings handelt es sich beim Klimanutzen durch Kohlenstoff-Sequestrierung um eine vermiedene Erwärmung. Kann für den Bo-

den mittels sogenannter Impuls-Reaktions-Funktionen berechnet werden; diese benötigen allerdings standortspezifische Informationen zu zusätzlichen Kohlenstoff-Inputs und den vorhandenen  $C_{org}$ -Vorräten mit verschiedenen Abbauraten. Die Berechnung berücksichtigt explizit auch den  $C_{org}$ -Verlust durch Bodenatmung.

Beantwortet im Kontext von Humuszertifikaten die Frage: Wie groß ist das Ausmaß der durch Kohlenstoff-Sequestrierung im Boden vermiedenen Erderwärmung über einen gewissen Betrachtungszeitraum?

Der Klimanutzen ermöglicht es außerdem, mögliche zusätzliche Treibhausgase, die beim Humusaufbau entstehen können, zu berücksichtigen. Dies wären z. B. zusätzliche CO<sub>2</sub>-Emissionen durch das Verbrennen von Diesel oder Lachgas-Emissionen auf Grund von zusätzlicher Stickstoff-Düngung (vgl. Infobox 2, Freisetzung weiterer Treibhausgase).



Der Unterschied zwischen der Klimaschädlichkeit von Treibhausgasemissionen (Globales Erwärmungspotential, AGWP), der Kohlenstoff-Sequestrierung an Land (CS) und dem Klimanutzen der Kohlenstoff-Sequestrierung (CBS). Übersetzt und leicht verändert nach Crow und Sierra (2022).

Wenn einmalig eine bestimmte Menge an Treibhausgasen in die Atmosphäre gelangt, verbleibt ein gewisser Teil dort für einen bestimmten Zeitraum (im Beispiel links oben werden 50 Jahre betrachtet). Die Menge des in diesem Zeitraum in der Atmosphäre vorhandenen Treibhausgases entspricht der schraffierten Fläche unter der Kurve. Diese Gasmenge trägt während dieser Zeit zur Erderwärmung bei.

Dieser Beitrag wird als Globales Erwärmungspotential bezeichnet (AGWP, rechts oben). Das Erwärmungspotential (Einheit: Wattjahre/m<sup>2</sup>) errechnet sich aus der vorhandenen Menge des Treibhausgases in einem Zeitraum (schraffierte Fläche links oben) multipliziert mit dem sogenannten Strahlungsantrieb des Gases, also seiner Fähigkeit Wärmestrahlung aufzunehmen. Die Berechnung von der Kohlenstoff-Sequestrierung und des Klimanutzens verfolgen einen ähnlichen Ansatz, nur in die „andere“ Richtung. Die Kohlenstoff-Sequestrierung (CS) die Menge an zusätzlichem Kohlenstoff, der über einen gewissen Zeitraum in einem Speicher verbleibt. Sie entspricht derjenigen Menge an zusätzlichem Kohlenstoff, der über einen gewissen Zeitraum, zum Beispiel im Boden, vorhanden ist (=schraffierte Fläche unter der Kurve links unten). Sie wird als Multiplikation zwischen Masse pro Hektar und Jahr berechnet (Einheit: Tonnenjahre/Hektar, Kilogrammjahre/m<sup>2</sup>). Der Klimanutzen (CBS) wird nun ähnlich wie das Globale Erwärmungspotential berechnet – aber mit negativem Vorzeichen, weil es sich aus dem Blickwinkel der Atmosphäre um eine „negative“ Emission handelt (Einheit: Wattjahre/m<sup>2</sup>).



### DER KLIMANUTZEN VON HUMUSAUFBAU LÖST EINIGE ANFORDERUNGEN AN HUMUSZERTIFIKATE

Die Verwendung des Klimanutzens hilft einige der gängigen Anforderungen an Humuszertifikate zu lösen (Infobox 2). In der Praxis ist es zum Beispiel schwierig, die geforderte Langfristigkeit der zusätzlichen Kohlenstoff-Sequestrierung zu erreichen, da Humus auch wieder abgebaut werden kann. Der Klimanutzen berücksichtigt ausdrücklich wie lange der Kohlenstoff zurückgehalten wird und ermöglicht es daher auch nicht-

dauerhafte Speicher wie Humus korrekt zu bewerten.

Bei gesamt-betrieblicher Betrachtung kann die Verwendung des Klimanutzens für Humuszertifikate auch Bedenken hinsichtlich Verschiebungs-Effekten sowie Rechenschaftspflichten entschärfen (Infobox 2). Ebenso können mögliche zusätzliche Treibhausgasemissionen, welche beim Humusaufbau entstehen können, mit dem Klimanutzen gegengerechnet werden.

Der Klimanutzen ermöglicht es zwischen zusätzlicher Kohlenstoff-Sequestrierung und dem Schutz bereits bestehen-

der Kohlenstoff-Vorräte zu unterscheiden. Das Bewahren bestehender Vorräte („vermiedene Emissionen“) kann so vom zusätzlichen Klimanutzen („negative Emissionen“) getrennt betrachtet werden. Dadurch kann die Leistung von Landwirten, die bereits in der Vergangenheit humusaufbauend gewirtschaftet haben, fair berücksichtigt werden.

Einige wichtige Fragen wie Messbarkeit, Zusätzlichkeit oder Transparenz bleiben aber auch bei Verwendung des Klimanutzens bei der Bewertung von Humuszertifikaten bestehen.

#### INFOBOX 2: GÄNGIGE ANFORDERUNGEN AN HUMUSZERTIFIKATE NACH PAUL U.A. (2023)<sup>11</sup>

##### Messbarkeit (quantification)

Starke räumliche Unterschiede und relativ langsame zeitliche Veränderungen machen es aufwendig, Humusaufbau zweifelsfrei nachzuweisen. Meist wird nur der Oberboden betrachtet, wenngleich auch Veränderungen im Unterboden auftreten können. Langzeit-Beobachtungen basierend auf Feldmessungen sind ökonomisch unrentabel. Im Fall des Klimanutzens müssen die zusätzlichen Kohlenstoff-Inputs, sowie die vorhandenen  $C_{org}$ -Vorräte mit verschiedenen Abbauraten bekannt sein.

##### Zusätzlichkeit (additionality)

Der Beweis, dass humusaufbauende Maßnahmen auch ohne Zertifikate durchgeführt worden wären, ist schwierig. Die Berücksichtigung von zukünftigen Markt- und Politik-Änderungen ist nicht machbar.

##### Langfristigkeit (permanence)

Der Humusaufbau ist vollständig umkehrbar und folgt typischerweise dem Muster „langsamer Aufbau / schneller Abbau“. Um Langfristigkeit zu erreichen, müssen Maßnahmen des carbon farmings unbegrenzt fortgeführt werden. Dies kann nicht garantiert werden.

##### Freisetzung weiterer Treibhausgase

Zusätzliche Emissionen müssen berücksichtigt werden. Es ist nicht klar, wie Emissionen aus Diesel oder Dünger, die bereits

von anderen Politik-Instrumenten, wie dem europäischen effort sharing decision (ESD) Mechanismus abgedeckt werden, berücksichtigt werden sollen.

##### Verschiebungs-Effekte (leakage)

Fruchtfolgen, Zugabe andere Kohlenstoffquellen, und der Export von landwirtschaftlichen Produkten müssen für den Gesamt-Betrieb beobachtet werden. Verschiebungs-Effekte durch jegliche Veränderungen müssen bewertet werden. Das ist aufgrund der wechselnden Natur der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung schwierig.

##### Transparenz, Rechtmäßigkeit, Rechenschaftspflicht

Buchhalterische Methoden sind in der Regel öffentlich verfügbar. Humuszertifikate können leicht mit der konkreten Fläche, auf der die Kohlenstoff-Speicherung erfolgt ist, in Beziehung gebracht werden. Es gibt üblicherweise keine Rechenschaftspflicht für den Fall, dass der gespeicherte Kohlenstoff nach dem Ende des Zertifizierungsprozesses (typischerweise  $\leq 10$  Jahre) wieder emittiert wird.

##### Synergien und Zielkonflikte

Positive Nebeneffekte überwiegen, besonders im Bereich der Klimawandel-Anpassung und dem Schutz der Biodiversität. Die Umsetzung von Maßnahmen des carbon farming und die Erhöhung des Bodenkohlenstoffs sind sehr wünschenswert.



## WIE WIRD DER BEITRAG VON HUMUSAUFBAU ZUM KLIMASCHUTZ BERECHNET?

Zur Berechnung des Klimanutzens von Kohlenstoff-Sequestrierung durch Humusaufbau müssen einige schlagspezifische Informationen bekannt sein: die dem Boden über Wurzeln, Ernterückstände oder organischen Dünger zusätzlich zugeführte Kohlenstoff-Menge sowie die vorhandenen  $C_{org}$ -Vorräte und ihre verschiedenen Abbauraten. Das sind mehr Daten als derzeit typischerweise für die Berechnung von Humuszertifikaten verwendet werden. Es ist klar, dass Landwirte und Zertifikatanbieter hier unterstützt werden müssen. Dies kann zum Beispiel durch die Entwicklung eines Werkzeuges bzw. einer App zur Berechnung des Klimanutzens geschehen.

## WAS BEDEUTET DAS FÜR LANDWIRTE UND ZERTIFIKATANBIETER?

Für Landwirte gilt nach wie vor: Humusaufbau macht aus vielen Gründen Sinn, auch wenn dafür keine Zertifikate ausgestellt werden. Für die richtige Berechnung von Humuszertifikaten ist es nötig, für jeden Schlag Informationen zu Kohlenstoff-Inputs, den  $C_{org}$ -Vorräten und ihren Abbauraten zu kennen. Diese Informationen können teilweise von Forschungseinrichtungen oder privaten Anbietern erhoben werden.

Anbieter von Humuszertifikaten können den Landwirt bei der Erhebung der notwendigen Daten unterstützen und sollten die Bewertung ihrer Zertifikate auf Basis des Klimanutzens berechnen.

## EMISSIONEN VERMEIDEN, BESTEHENDE KOHLENSTOFF-VORRÄTE SCHÜTZEN

Zum Schluss: Um das Klima langfristig zu schützen, ist es jedenfalls notwendig, unsere Treibhausgasemissionen als Gesellschaft auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Genauso wichtig ist es, bestehende Kohlenstoff-Vorräte in Wäldern oder organischen Böden zu bewahren. Nur dann kann uns auch Humusaufbau beim Klimaschutz helfen – am besten, wenn dafür der tatsächlich entstehende Klimanutzen herangezogen wird.



**Dr. Stefan J. Forstner, BSc MSc**  
Landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD)  
BFW, Wien

\*Dr. Stefan J. Forstner, Landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD), Abteilung Landwirtschaftlicher Boden, Institut für Waldökologie und Boden, Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, E-Mail: stefan.forstner@bfg.wg.at. Dieser Artikel gibt die Meinung des Autors wieder, welche sich nicht zwingend mit der des BFWs decken muss. Transparenz-Hinweis: Der Autor war von 2019 bis 2020 für einen privaten Anbieter von Humus-Zertifikaten tätig.

† In diesem Artikel wird zur besseren Lesbarkeit für Personenbezeichnungen die allgemeine männliche Form verwendet. Die verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich – sofern nicht anders angegeben – immer auf alle Geschlechter.

<sup>1</sup>Janzen, H. H. (2006). The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 419–424. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.10.008>

<sup>2</sup>Howard, S. A. (1943). *An Agricultural Testament*. Oxford University Press.

<sup>3</sup>Sprengel, C. (1826). Über Pflanzenhumus, Humussäure und humussaure Salze. *Archiv Der Pharmazie*, 21(3), 261–263. <https://doi.org/10.1002/ardp.18270210315>

<sup>4</sup>Pribyl, D. W. (2010). A critical review of the conventional SOC to SOM conversion fac-

tor. *Geoderma*, 156(3), 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>

<sup>5</sup>Wiesmeier, M., Mayer, S., Paul, C., Helming, K., Don, A., Franko, U., Franko, M., & Kögel-Knabner, I. (2020). CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. <https://doi.org/10.20387/BONARES-F8T8-XZ4H>.

<sup>6</sup>Poeplau, C., Vos, C., & Don, A. (2017). Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *SOIL*, 3(1), 61–66. <https://doi.org/10.5194/soil-3-61-2017>

Anmerkung: Poeplau und andere (2017) schlagen hier eine alternative Methode vor, bei der allerdings die Masse des Feinbodens für jeden Bodenbohrkern exakt bestimmt werden muss. Dies ist in der Praxis schwierig. Dies gilt auch für die ebenfalls exaktere Methode der „äquivalenten Bodenmassen“ (ESM-Methode), die darum hier nicht weiter behandelt wird.

<sup>7</sup>Olson, K. R. (2013). Soil organic carbon sequestration, storage, retention and loss in U.S. croplands: Issues paper for protocol development. *Geoderma*, 195–196, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.004>

<sup>8</sup>Baveye, P. C., Berthelin, J., Tessier, D., & Lemaire, G. (2023). Storage of soil carbon is

not sequestration: Straightforward graphical visualization of their basic differences. *European Journal of Soil Science*, n/a, e13380. <https://doi.org/10.1111/ejss.13380>

<sup>9</sup>Sierra, C. A., Crow, S. E., Heimann, M., Metzler, H., & Schulze, E.-D. (2021). The climate benefit of carbon sequestration. *Biogeosciences*, 18(3), 1029–1048. <https://doi.org/10.5194/bg-18-1029-2021>

<sup>10</sup>Crow, S. E., & Sierra, C. A. (2022). The climate benefit of sequestration in soils for warming mitigation. *Biogeochemistry*, 161(1), 71–84. <https://doi.org/10.1007/s10533-022-00981-1>

<sup>11</sup>Paul, C., Bartkowski, B., Dönmez, C., Don, A., Mayer, S., Steffens, M., Weigl, S., Wiesmeier, M., Wolf, A., & Helming, K. (2023). Carbon farming: Are soil carbon certificates a suitable tool for climate change mitigation? *Journal of Environmental Management*, 330, 117142. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117142>

<sup>12</sup>Leifeld, J. (2023). Carbon farming: Climate change mitigation via non-permanent carbon sinks. *Journal of Environmental Management*, 339, 117893. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117893>

<sup>13</sup>Leifeld, J., & Keel, S. G. (2022). Quantifying negative radiative forcing of non-permanent and permanent soil carbon sinks. *Geoderma*, 423, 115971. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115971>