

## Literatur

De Stefano, A., Jacobson, M.G., 2018. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agrofor. Syst.* 92(2), 285-299.

Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33-41.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17(7), 2415-2427.

West, T.O., Post, W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(6), 1930-1946.

Wiesmeier, M., Mayer, S., Paul, C., Helming, K., Don, A., Franko, U., Steffens, M., Kögel-Knabner, I., 2020. CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. *BonaRes Series* 2020/1.

## Impressum

Arbeitsfeld „Pflanzenbauliche Aspekte der Humusproduktion“ im Verbund der Landesanstalten und Landesämter für Landwirtschaft

Herausgeber: Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg  
Müllroser Chaussee 54

D - 15236 Frankfurt (O)

Telefon: 0335-60676-2408; Telefax: 0335-60676-2404

E-Mail: poststelle@lelf.brandenburg.de

Redaktion: LfL Bayern, Arbeitsgruppe Humushaushalt und Umwelt-Mikrobiologie

Redaktionsschluss 1. Auflage: 09.02.2021

Autoren: Dr. Martin Wiesmeier; Vera Baumert (LfL Bayern)

Unter Mitwirkung von:

Dr. Ines Bull (LFA Mecklenburg-Vorpommern),

Dr. Holger Flaig (LTZ Baden-Württemberg),

Dierk Koch (LLH Hessen),

Eric Ullmann (TLLLR Thüringen),

Dr. Ulrich von Wulffen (LLG Sachsen-Anhalt),

Dr. Dan Zederer (LfULG Sachsen),

Jörg Zimmer (LELF Brandenburg)

## Hinweise zu Probenahme und Messunsicherheiten

Um Veränderungen im C<sub>org</sub>-Vorrat des Bodens über die Zeit erfassen zu können, sind Wiederholungsbeprobungen erforderlich. Aufgrund der hohen räumlichen Heterogenität von C<sub>org</sub>-Vorräten müssen die initialen Probenahmepunkte exakt erfasst und bei möglichst identischen Feldbedingungen wieder beprobt werden. Da sich Veränderungen im C<sub>org</sub>-Vorrat nur langsam einstellen, wird eine Wiederbeprobung frühestens nach 3-5 Jahren als sinnvoll erachtet. Hinzu kommt, dass sich Messunsicherheiten bei der Laboranalyse der Proben nicht vollständig ausschließen lassen. Dies beinhaltet z.B. Schwankungen im Messvorgang oder eine Streuung der Messwerte eines Schläges aufgrund der Heterogenität von Böden. Diese Unsicherheiten lassen sich zwar durch Messwiederholungen oder Mischproben minimieren, dennoch ist es wichtig, einen tatsächlichen Anstieg der C<sub>org</sub>-Vorräte von natürlichen Schwankungen oder zufälligen Messfehlern zu unterscheiden.

Ein Rechenbeispiel: Bereits bei einer niedrigen analytischen Messunsicherheit von ±0,1% C<sub>org</sub> müssen in einem Ackerboden mit einer Lagerungsdichte von 1,4 g cm<sup>-3</sup> in 0-30 cm Tiefe mindestens 4,2 t C<sub>org</sub> ha<sup>-1</sup> akkumuliert werden, damit eine Humusmehrung aus der Schwankungsbreite heraustreten kann. Daher kann ein C<sub>org</sub>-Trend erst nach langjähriger Betrachtungsweise einigermaßen sicher erkannt werden. Um Trends hinreichend genau statistisch abzusichern, müssen über den betrachteten Zeitraum hinweg mindestens drei, vorzugsweise eher fünf Messungen vorliegen.

## Maßnahmen zum Humusaufbau

Folgende Maßnahmen können zu einer C-Sequestrierung in landwirtschaftlich genutzten Böden beitragen:

- Fruchtfolgegestaltung
- Zwischenfruchtanbau
- Mischkultursysteme und Untersaaten
- Verzicht auf Brachen ohne aktive Begrünung
- Anbau mehrjähriger Kulturarten (z.B. Dauerkulturen, Ackergras, Klee/Luzerne/-gras, Energiepflanzen)
- Management von Koppelprodukten (z.B. Strohdüngung)
- Landnutzungsänderungen (z.B. Acker- zu Grünland)
- Agroforstsysteme

Die zu erwartenden jährlichen C<sub>org</sub>-Aufbauraten (C-Sequestrierungsraten) dieser Maßnahmen sind stets standortabhängig zu bewerten. Sie können deutlich positive Effekte generieren oder aber auch wirkungslos sein. Sie bewegen sich bei langjähriger Betrachtung im Bereich von etwa 0 bis 0,7 t C ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, was einer CO<sub>2</sub>-Menge von 0 bis 2,6 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> entspricht (West & Post, 2002; Poeplau et al., 2011; Poeplau & Don, 2015; De Stefano & Jacobson, 2018).

Die organische Düngung in Form von Stallmist, Gülle, Gärresten oder Kompost stellt eine zentrale Komponente eines ausgeglichenen Humushaushalts und einer nachhaltigen Bodennutzung im Sinne des Nährstoffrecyclings dar. Sie kann den Einsatz von Mineraldüngern, deren Herstellung sehr energieintensiv ist, reduzieren. Eine Nutzung externer Kohlenstoffquellen für den C<sub>org</sub>-Aufbau stellt allerdings keinen Beitrag zum Klimaschutz dar und sollte auch nicht als solcher zertifiziert werden, da C<sub>org</sub> lediglich räumlich verlagert wird, sofern die Gesamtmenge an organischen Düngern unverändert bleibt (s. Verschiebungseffekte).

Reduzierte Bodenbearbeitung ist eine wichtige Maßnahme zur Vorsorge gegen Bodenerosion und kann u.a. Vorteile hinsichtlich Infiltration, Aggregatstabilität und Makrofauna des Bodens haben. In der Regel wird jedoch keine Humusmehrung, sondern lediglich eine vertikale Umverteilung von C<sub>org</sub> im Oberboden erreicht.

Ein möglicher Beitrag von Pflanzen- bzw. Biokohlen zum Humusaufbau ist stark von deren chemisch-physikalischen Eigenschaften abhängig und kann pauschal nicht empfohlen werden. Zudem handelt es sich meistens um externe Kohlenstoffquellen, deren Einsatz möglicherweise nur zu einer Umverteilung von C<sub>org</sub> führt.

Angesichts der Einschränkungen und Herausforderungen sollten Landwirte bereits im Vorfeld hinsichtlich der zu erwartenden Effektivität landwirtschaftlicher Maßnahmen für den C<sub>org</sub>-Aufbau intensiv beraten werden.

Weitere Informationen zu Humuszertifikaten sowie die verwendete Literatur zu dieser Broschüre finden sich in der Veröffentlichung "CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen" (Wiesmeier et al., 2020).



## Grundsätze der Humuswirtschaft

-

## Humuszertifikate



**Im Verbund der Landesanstalten  
und Landesämter für Landwirtschaft**

## Was sind Humuszertifikate?

Der Begriff Humus wird als Synonym für die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Substanz im Boden verwendet. Humus ist ein komplexes Stoffgemisch pflanzlicher, tierischer und mikrobieller Herkunft, das permanenten Ab- und Umbauprozessen unterliegt. Neben seinem positiven Einfluss auf nahezu alle Bodenfunktionen hat Humus durch seinen hohen Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) auch eine Bedeutung für das Klima: Während Humusverlust zu  $CO_2$ -Emissionen führt, wird durch Humusaufbau  $CO_2$  aus der Atmosphäre im Boden gespeichert.

In den letzten Jahren haben sich zahlreiche privatwirtschaftliche Initiativen und Unternehmen im Bereich des freiwilligen  $CO_2$ -Markts etabliert, die sogenannte „Humuszertifikate“ für die Festlegung von  $C_{org}$  vergeben. Die Zertifizierer erfassen  $C_{org}$ -Veränderungen in landwirtschaftlich genutzten Flächen teilnehmender Landwirte, die durch eine veränderte Bewirtschaftung innerhalb eines bestimmten Zeitraums erzielt wurden. Bei einer ermittelten  $C_{org}$ -Mehring werden entsprechende  $CO_2$ -Zertifikate ausgestellt, die von Unternehmen oder Privatpersonen erworben werden, um damit deren Emissionen von Treibhausgasen (THG) ganz oder teilweise zu kompensieren. Bei der Vergabe von Humuszertifikaten bestehen allerdings zahlreiche Herausforderungen und Schwierigkeiten hinsichtlich des Nachweises von quantitativen  $C_{org}$ -Veränderungen, der Anerkennung humusfördernder Bewirtschaftungsmaßnahmen und grundsätzlichen Aspekten der Eignung eines  $C_{org}$ -Aufbaus für die Kompensation von THG-Emissionen.

## Möglichkeiten und Grenzen

### Beitrag zu nachhaltiger Bodennutzung

Die optimale standortspezifische Humusversorgung des Bodens ist ein wesentliches Merkmal seiner Fruchtbarkeit als natürliche Ressource. Sie sichert den Pflanzenertrag und beeinflusst wichtige physikalische, chemische und biologische Eigenschaften sowie den Kohlen- und Stickstoffkreislauf des Bodens. Eine nachhaltige Sicherung der standorttypischen Humusversorgung liegt daher im ureigensten Interesse eines jeden Landwirts und ist darüber hinaus auch wichtiges gesamtgesellschaftliches Anliegen zum Schutz des Bodens (§ 17 BBodSchG). Hierbei kön-

nen Humuszertifikate einen stimulierenden Beitrag leisten. Zudem fördern Humuszertifikate die gesellschaftliche Wahrnehmung von Humusaufbau in Böden als einen Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz.

### Fairness

Das Potential für einen  $C_{org}$ -Aufbau ist umso größer, je niedriger der  $C_{org}$ -Gehalt im Vergleich zu standorttypischen Werten ist. Von einer Zertifizierung des  $C_{org}$ -Aufbaus könnten daher am stärksten jene Landwirte profitieren, deren Management die  $C_{org}$ -Vorräte reduziert hat, während Landwirte, die erfolgreich  $C_{org}$  in ihren Böden aufgebaut haben, wenig oder gar nicht profitieren könnten. Bereits erfolgte Bodenpflege- und Klimaschutzmaßnahmen der letztgenannten Gruppe würden nicht gewürdigt.

### Reversibilität/Langfristigkeit

Der positive Effekt des  $C_{org}$ -Aufbaus ist vollständig reversibel. Der Aufbau von  $C_{org}$  ist als Klimaschutzmaßnahme deswegen nur wirksam, wenn die entsprechende  $CO_2$ -Menge der Atmosphäre dauerhaft entzogen bleibt. Falls Zertifikate genutzt werden, um unvermeidbare Emissionen in anderen Sektoren auszugleichen, müssten sich die Landwirte daher dauerhaft verpflichten, die humusfördernde Bewirtschaftung beizubehalten.  $C_{org}$ -Verluste können aber auch durch externe Einflüsse, wie den Klimawandel, erfolgen. Auch ein noch nicht erreichtes Gleichgewicht unter Ackernutzung, z.B. nach vorangegangener Grünlandumbruch, kann noch jahrzehntelang zu Humusverlusten führen. Humusfördernde Maßnahmen führen daher nicht immer zu einer messbaren  $C_{org}$ -Zunahme.

### Stickstoffemissionen

Bei einer sehr hohen Humusversorgung über standorttypische Werte hinaus und den damit einhergehenden hohen Umsatzraten kann es an manchen Standorten zu einem Überschuss an mineralischem Stickstoff kommen, sodass negative Folgen für die Umwelt in Form von erhöhten  $N_2O$ -Emissionen und/oder Nitratausträgen nicht auszuschließen sind. Dieser Aspekt ist insbesondere in nitratbelasteten Gebieten zu beachten.

### Zusätzlichkeit

Kompensationen von THG-Emissionen müssen das Kriterium der Zusätzlichkeit erfüllen. Humusfördernde Be-

wirtschaftungsweisen, die im Rahmen der guten fachlichen Praxis (§ 17 BBodSchG) ohnehin erfolgen sollten, stellen daher streng genommen keine extra zu finanzierenden Kompensationsmaßnahmen dar. Der Aufbau von  $C_{org}$  sollte durch Maßnahmen erfolgen, die allein über die Zertifikate motiviert sind.

### Verschiebungseffekte

Nimmt nur ein Teil der Betriebe in einer Region oder ein Teil der Flächen in einem Betrieb an Programmen zum zertifizierten Humusaufbau teil, besteht die Gefahr, dass humusaufbauende Maßnahmen auf diese Flächen konzentriert werden, jedoch auf den übrigen Flächen reduziert werden. Bleibt dadurch der gesamte  $C_{org}$ -Vorrat im Betrieb oder in der Region gleich, ist keine positive Klimawirkung zu erwarten. Zudem können Maßnahmen, die die landwirtschaftliche Produktivität senken, zu indirekten Landnutzungsänderungen in anderen Regionen beitragen und somit die Gesamt-Bilanz negativ beeinflussen.

### Trade-Offs

Humusfördernde Maßnahmen können negative Auswirkungen auf andere Schutzgüter haben (sog. Trade-Offs), die für eine Gesamtbewertung berücksichtigt werden sollten. Neben den Stickstoffemissionen ist der größte Trade-Off unter derzeitigen Marktbedingungen die zumindest kurzfristig verringerte Wirtschaftlichkeit. Genau hier können Zertifikate ansetzen.

## Methodische Anforderungen

### Probenahme

Da die Vergabe von Humuszertifikaten eine quantitative Erfassung von  $C_{org}$ -Veränderungen erfordert, müssen  $C_{org}$ -Vorräte (Einheit  $kg\ m^{-2}$  bzw.  $t\ ha^{-1}$ ) ermittelt werden. Dies erfordert eine Bestimmung des  $C_{org}$ -Gehalts, der Lagerungsdichte (Trockenrohddichte) und des Steinanteils (Skelettanteil  $>2\ mm$ ) mittels einer repräsentativen Beprobung der Fläche. Die Probenahme sollte im Frühjahr vor einer Bodenbearbeitung und Düngung oder im Herbst erfolgen. Bei bereits erfolgter Bodenbearbeitung oder Düngung ist unbedingt ein großer zeitlicher Abstand (mindestens 6 Wochen) einzuhalten, da sonst die Ergebnisse der Bestimmung der Lagerungsdichte und der  $C_{org}$ -Gehalte verfälscht werden. Die Beprobungstiefe sollte sich in Ackerböden an der Bodenbearbeitungstiefe orientieren.

Diese Tiefe muss auch bei einer Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitungssysteme mit verringerten Bearbeitungstiefen eingehalten werden, da es ansonsten zu einer Fehlinterpretation der Ergebnisse kommen kann.



Abb. 1: Probenahme mit Steckzylindern (Foto: J. Zimmer)

### Bestimmung des $C_{org}$ -Vorrats

Der  $C_{org}$ -Gehalt (Masse-% oder  $mg\ g^{-1}$ ) der Probe wird am Feinboden ( $<2\ mm$  Partikelgröße nach Siebung) bestimmt. Er ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Gesamt-C und dem Carbonat-C des Feinbodens. Der Gesamt-C wird hierfür mittels Verbrennung in C/N-Analysegeräten bestimmt. Der Carbonat-C wird meist gasvolumetrisch bestimmt. Die Bestimmung der Lagerungsdichte erfolgt üblicherweise als ungestörte Probe mittels Steckzylindern oder anderen geeigneten Probenahmegegeräten. Der Steinanteil der Probe sollte bei mengenmäßig bedeutsamen Anteilen ( $> 5\ Vol\%$ ) anhand der entnommenen Proben ermittelt werden. Der  $C_{org}$ -Vorrat wird aus dem  $C_{org}$ -Gehalt des Feinbodens ( $mg\ g^{-1}$ ), der Lagerungsdichte ( $LD, g\ cm^{-3}$ ), der Beprobungstiefe ( $T, cm$ ) sowie dem Steinanteil ( $S, mg\ g^{-1}$ ) berechnet:

$$C_{org\ Vorrat} = C_{org\ Gehalt} \times LD \times T \times (1 - S) \times 100$$

Eine Abschätzung der Lagerungsdichte aus Pedotransferfunktionen kann fehlerbehaftet sein und sollte deshalb unterbleiben. Das zusätzlich im Boden gespeichert  $C_{org}$  kann mit dem Faktor 3,67 in  $CO_2$ -Äquivalente umgerechnet werden. Bei der Ermittlung der festgelegten  $CO_2$ -Mengen sollten THG-Emissionen, die im Zuge humusaufbauender Maßnahmen entstehen (z.B. zusätzlicher Treibstoffverbrauch) berücksichtigt werden.