



# Faktenblatt Humus und Klima

Zusammenfassung des AGRIDEA-Kurses vom 8.6.2020



ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DES LÄNDLICHEN RAUMS  
DÉVELOPPEMENT DE L'AGRICULTURE ET DE L'ESPACE RURAL  
SVILUPPO DELL'AGRICOLTURA E DELLE AREE RURALI  
DEVELOPING AGRICULTURE AND RURAL AREAS

## austauschen | verstehen | weiterkommen

### Impressum

|               |  |
|---------------|--|
| Herausgeberin | AGRIDEA<br>Eschikon 28   CH-8315 Lindau<br>T +41 (0)52 354 97 00   F +41 (0)52 354 97 97<br>kontakt@agridea.ch   www.agridea.ch  |
| Autoren       | Markus Spuhler, AGRIDEA; Andreas Fliessbach, FiBL; Markus Steffens, FiBL; Jens Leifeld, Agroscope; Peter Weisskopf, Agroscope.   |
| Mitarbeit     | Bettina Koster, AGRIDEA; Fredy Abächerli, Maschinenring Zugerberg; Stéphane Burgos, Berner Fachhochschule HAFL; Andreas Gubler, Agroscope; Claudio Kumkli, First Climate AG; Andreas Chervet, Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern. |
| Redaktion     | Markus Spuhler, AGRIDEA  |
| Übersetzung   | Edouard Corrêa-Bovet, AGRIDEA  |
| Abbildungen   | Markus Spuhler, AGRIDEA  |
| Gestaltung    | AGRIDEA  |
| Art.-Nr.      | 3853   |

© AGRIDEA, November 2020

ISO 9001 | ISO 29990 | IQNet

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Herausgeberin ist es verboten, diese Broschüre oder Teile daraus zu fotokopieren oder auf andere Art zu vervielfältigen.

Sämtliche Angaben in dieser Publikation erfolgen ohne Gewähr. Massgebend ist einzig die entsprechende Gesetzgebung.

## Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| 1. Einleitung   | 4  |
| 2. Was verstehen wir unter Humus?   | 5  |
| 3. Wieviel organischen Kohlenstoff enthalten unsere Landwirtschaftsböden und wie gross ist ihr Speicherpotenzial? | 5  |
| 4. Wie bringen wir den Kohlenstoff am besten in die landwirtschaftlichen Böden?                                   | 5  |
| 5. Wie gross ist das Sequestrierungspotenzial gemessen an den Treibhausgasemissionen?                             | 7  |
| 6. Können wir den Kohlenstoff längerfristig im Boden behalten?  | 7  |
| 7. Können wir den Humusaufbau genau genug quantifizieren?   | 7  |
| 8. Können Humusprojekte die Anforderungen bezüglich CO <sub>2</sub> -Zertifizierung erfüllen?                     | 8  |
| 9. Zusammenfassung und Ausblick   | 10 |
| 10. Quellen   | 11 |

## 1. Einleitung

Die landwirtschaftlichen Böden stehen derzeit als mögliche Kohlenstoffsенке im Fokus. Die internationale 4per1000-Initiative will weltweit den Aufbau von Organischer Bodensubstanz in landwirtschaftlich genutzten Böden fördern mit dem Ziel, den Kohlenstoffgehalt in den Böden um jährlich 0.4 Prozent zu steigern. So soll ein wichtiger Beitrag zur Abfederung des Klimawandels geleistet werden.<sup>1</sup> In der Schweizer Landwirtschaft ist die Sensibilisierung für den Klimawandel gross und das Thema Boden und Humus liegt im Trend. Entsprechende Kurse und Vorträge erfreuen sich grosser Beliebtheit. Es laufen in der Praxis bereits verschiedene Humusaufbauprojekte, zum Beispiel im Kanton Solothurn<sup>2</sup> oder im Kanton Baselland.<sup>3</sup> Eine deutsche Firma verkauft auf dem freiwilligen Kompensationsmarkt bereits Zertifikate aus Humusprojekten auf Schweizer Ackerböden.<sup>4</sup> Der Zug ist also schon voller Fahrt, aber sind die Waggons auch in der

richtigen Reihenfolge? Macht es überhaupt Sinn, dass die Landwirtschaft Emissionen aus anderen Wirtschaftssektoren kompensiert? Gibt es allenfalls Zielkonflikte mit anderen Bodenfunktionen? Ist die fachliche Grundlage derzeit wirklich schon so solide, dass wir im grossen Stil solche Projekte starten können? Viele Fragen sind noch ungeklärt oder die Antworten darauf haben den Weg in die Praxis offenbar noch nicht überall gefunden. In diesem Faktenblatt möchten wir diese offenen Fragen sammeln, mögliche Antworten bereitstellen und dazu beitragen, dass die Aktivitäten im Bereich Humusaufbau und Klimaschutz in der Schweiz auf festen Beinen zu stehen kommen. Im Rahmen des Postulats Bourgeois werden derzeit ähnliche Fragen im Auftrag des Bundesrates wissenschaftlich untersucht. Die Resultate davon dürften die fachliche Grundlage weiter stabilisieren und die hier präsentierten Antworten ergänzen und präzisieren.



## 2. Was verstehen wir unter Humus?

Der Begriff Humus ist unscharf. Nicht alle verstehen dasselbe darunter. Gerade im Zusammenhang mit dem Thema Klima sind die Begriffe «Organische Bodensubstanz (OBS)» oder «Organischer Bodenkohlenstoff ( $C_{org}$ )» hilfreicher und besser quantifizierbar.<sup>5</sup> OBS bezeichnet alles Material im Boden, das pflanzlichen, tierischen, pilzlichen oder mikrobiellen Ursprungs ist.  $C_{org}$  ist ein Teil der OBS und bezeichnet den in der OBS enthaltenen Kohlenstoff (C).<sup>5</sup> Das Wissenschaftliche Konzept der organischen Bodensubstanz hat sich in den letzten Jahren gewandelt. Entgegen früherer Vorstellung sieht man den «Humusaufbauprozess» heute als einen kontinuierlichen Abbauprozess von organischem Material, der je nach Ausgangsmaterial und Umweltbedingungen unterschiedlich rasch abläuft. Der Umbau zu oder der Neuaufbau von komplexen Makromolekülen wie Fulvo- und Huminsäuren ist aufgrund neuerer Forschung für natürliche Verhältnisse nicht mehr plausibel.<sup>6</sup> Wie stabil die Organische Bodensubstanz ist, hängt neben den Umweltbedingungen massgeblich von der Bewirtschaftung ab. Vor allem im Innern von tonreichen Bodenaggregaten und auf der Oberfläche von Tonmineralien ist der organische Kohlenstoff lange vor biologischem Abbau geschützt.<sup>7</sup>

## 3. Wieviel organischen Kohlenstoff enthalten unsere Landwirtschaftsböden?

Umfangreiche Messungen aus Deutschland geben einen Eindruck zu den Kohlenstoffvorräten pro Hektare in Landwirtschaftsböden. Mineralische Böden unter ackerbaulicher Nutzung enthalten demnach bis in eine Tiefe von einem Meter im Schnitt etwa 100 Tonnen  $C_{org}$  pro Hektar, solche unter Dauergrünlandnutzung etwa 140 Tonnen.<sup>8</sup> Entsprechende Zahlen aus der Schweiz fehlen noch. Schätzungen mit der Annahme eines OBS-Gehaltes von 3 Prozent im Oberboden kommen zu Kohlenstoffvorräten in einer ähnlichen Grössenordnung.<sup>9</sup> Die Unterschiede sind aber je nach Bodenart, Bewirtschaftungsweise und Klimabedingungen gross. Zum Vergleich: Natürliche Moorböden in der Schweiz enthalten im Durchschnitt über 1000 Tonnen organischen Kohlenstoff.<sup>10</sup> Gemäss der Nationalen Bodenbeobachtung NABO sind die Gehalte der organischen Bodensubstanz in den mineralischen Ackerböden in den letzten 25 Jahren im gesamtschweizerischen Durchschnitt in etwa stabil.<sup>11</sup> Dies bedeutet aber nicht, dass bewirtschaftungsbedingt auf Parzellenebene oder branchenspezifisch keine OBS-Abbautrends beobachtbar wären. Verschiedene Langzeitstudien in der Schweiz berichten von OBS-Abnahme in Landwirtschaftsböden unter gängiger Bewirtschaftung.<sup>12</sup>

Aus landwirtschaftlichen Böden entweicht im Rahmen des kontinuierlichen Abbaus der OBS Kohlenstoff, insbesondere aus den organischen Böden. Der Anteil der THG-Emissionen

aus den landwirtschaftlichen Böden in Form von  $CO_2$  und Lachgas trägt massgeblich zu den landwirtschaftlichen THG-Emissionen bei. In Rahmen der Klimaerwärmung droht zudem auf Grünlandflächen über 1000 m. ü. M. ein Abbau der OBS und somit ein Verlust von Kohlenstoff.<sup>13</sup>

Aktuelle Schätzungen zum gesamten Kohlenstoffvorrat in den Schweizer Landwirtschaftsböden sind im Gang. In einer Studie von 2003 wurde dieser Vorrat auf etwa 170 Millionen Tonnen geschätzt<sup>13</sup>, der Bericht des Nationalen Forschungsprogrammes 68 (NFP68) von 2018 nennt 120 Millionen Tonnen Kohlenstoff.<sup>10</sup> Die Summe der Schweizer Emissionen aus nur acht Jahren entspricht also der Gesamtmenge an Kohlenstoff, die in den Landwirtschaftsböden der Schweiz gebunden ist.<sup>14</sup> Gemäss den obigen Schätzungen tragen die intakten und kultivierten Moorböden trotz ihrer vergleichsmässig geringen Fläche mit gut einem Viertel zu diesen Kohlenstoffvorräten bei. Rund die Hälfte der Kohlenstoffvorräte findet sich im Dauergrünland und in den Alpweiden, das verbleibende Viertel in der Ackerfläche.<sup>13</sup>

In den mineralischen Böden stellt sich bei stetiger Zufuhr von kohlenstoffreichem Material irgendwann ein längerfristiges Gleichgewicht zwischen OBS-Anreicherung- und Abbau ein. Wo dieses Gleichgewicht liegt, hängt in erster Linie von der Bodenart ab. Tonige Böden können mehr OBS aufnehmen als sandige Böden. Unter Dauergrünlandbedingungen beträgt der Humusgehalt im Schnitt meist rund 24 Prozent des Tonanteils.<sup>15</sup> So beträgt beispielsweise der OBS-Gehalt eines Bodens mit 50 Prozent Tonanteil unter Dauergrünlandbewirtschaftung im Normalfall rund 12 Prozent. Der OBS-Gehalt von Böden unter Dauergrünlandbewirtschaftung könnte als Orientierung für das Humusaufbaupotenzial entsprechender Böden unter ackerbaulichen Bewirtschaftung dienen. Der Begriff «Standortspezifisches Humuspotenzial» dürfte in diesem Zusammenhang in Zukunft von Bedeutung sein.

## 4. Wie bringen wir den Kohlenstoff am besten in die landwirtschaftlichen Böden?

Zuerst müssen wir erhalten was schon da ist! Die landwirtschaftlichen Böden sind im Nationalen Treibhausgas-Inventar derzeit als Emissionsquelle und nicht als Senke aufgeführt. Besonders aus den organischen Böden werden im Rahmen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kontinuierlich grössere Mengen an gebundenem Kohlenstoff abgebaut und als  $CO_2$  in die Atmosphäre freigesetzt. Auf diesen Böden müssen wir dafür sorgen, dass der Abbau gestoppt oder zumindest verlangsamt werden kann. Mögliche Massnahmen dazu sind Bewirtschaftungsaufgabe und Wiedervernässung, Überführung in Dauergrünland oder meliorative Massnahmen wie Tiefpflügen, Tiefrotieren oder Überschüttung der Torfschicht mit mineralischem Bodenaushub oder Sand.<sup>16</sup> Wie wirksam meliorative Massnahmen hinsichtlich des Kohlenstoffverlustes tatsächlich sind, ist umstritten.<sup>17</sup> Bewirtschaftungsaufgabe führt in

vielen Fällen zu einem gesellschaftlichen Zielkonflikt, da die organischen Böden landwirtschaftlich in der Regel (momentan noch) sehr produktiv sind. Geprüft wird derzeit auch die Möglichkeit des Nassreisanbaus: Eine jeweils temporäre Anhebung des Grundwasserspiegels könnte die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren. Eine Herausforderung dabei sind allerdings die im Nassreisanbau drohend Methanemissionen. Bei optimaler Bewässerungsführung lassen sich diese jedoch vermeiden.<sup>17</sup>

Auf mineralischen Ackerböden kann Kohlenstoffanreicherung entweder über «natürlichen» OBS-Aufbau erfolgen oder über den Eintrag von stabilisiertem Kohlenstoff (Pflanzenkohle). Die Quelle der organischen Substanz ist immer die Pflanze. Mittels Photosynthese baut sie Biomasse auf, die von anderen Organismen verdaut und als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben wird. Aus dem kleinen Anteil, der übrig bleibt entsteht die organische Bodensubstanz (OBS). Landwirtschaftlicher Humusaufbau erfolgt in der Regel mit kohlenstoffreicher organischer Düngung wie Mist- oder Grüngutkomposte oder Erntereste. Möglichst permanente Begrünung oder Bodenbedeckung, reduzierte Bodenbearbeitung und humusfördernde Fruchtfolgen sind weitere begünstigende Massnahmen.<sup>9</sup> Eine Förderung des «natürlichen» OBS-Aufbaus ist nötig und möglich und hat vielfältige agronomische als auch ökologische Vorteile. Die OBS verbessert das System Boden allgemein, indem sie dank verbessertem Wasser- und Nährstoffhaushalt das Bodenleben und das Pflanzenwachstum unterstützt. Die Böden werden so widerstandsfähiger gegen Extremwetterereignisse wie etwa Trockenheit. Das AGRIDEA-Merkblatt «Humus in Ackerböden – vermehren statt verzehren» liefert einen Überblick über praxistaugliche Massnahmen zum Humusaufbau. Es ist unter folgendem Link erhältlich: [url.agridea.ch/humus](http://url.agridea.ch/humus). Im DOK-Langzeitversuch konnten die Forscher im biodynamischen Verfahren mit einer organischen Düngungsintensität von 1,4 GVE/Hektare beispielsweise eine jährliche Sequestrierung von 450 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Hektare nachweisen. Der «natürliche» OBS-Aufbau ist aber langsam, die ersten Verfahrensunterschiede waren im DOK-Versuch erst nach sieben Jahren statistisch nachweisbar.<sup>18</sup> Zudem müssen die Kohlenstoffkreisläufe im Auge behalten werden. Die Herkunft der eingearbeiteten organischen Substanz ist entscheidend. Es darf nicht zu Kohlenstoffanreicherung an anderen Orten kommen.<sup>19</sup> Zu beachten ist auch, dass die Organismen, die die Ernterückstände abbauen, auch ihren Teil des Kuchens brauchen und für ihren Energiebedarf einen grossen Teil der Organischen Substanz veratmen. Das meiste CO<sub>2</sub>, das mit der Photosynthese zu Biomasse wird, wird von den Bodenmikroorganismen wieder zu CO<sub>2</sub> veratmet, nur ein kleiner Teil wird zu OBS.<sup>20</sup> Wieviel vom eingehenden C längerfristig als OBS im Boden verbleibt, hängt sehr stark von der Substratnutzungseffizienz der Mikroorganismen ab. Die mikrobielle Biomasse und ihre Residuen bilden den wichtigsten Teil der stabilisierten OBS.

Kohlenstoff kann auch in Form von Pflanzenkohle in die Böden gebracht werden. Dabei handelt sich um pyrolysiertes pflanzliches Material. Das C in der Pflanzenkohle stammt also ebenfalls aus der Photosynthese und wurde durch die Pyrolyse stabilisiert. Mit Pflanzenkohle ist eine schnelle und stabile Einlagerung von Kohlenstoff in Landwirtschaftsböden möglich. Sie weist auch bei der Herstellung relativ geringe Kohlenstoffverluste auf. Das Mengenpotential ist ebenfalls grösser als beim Aufbau der OBS ohne pyrolysiertes Material. Es gibt theoretisch keine natürliche Fassungsgränze für Pflanzenkohle im Boden. Grosse Mengen an Pflanzenkohlen im Boden stellen aber einen grossen Eingriff in die physikalischen Charakteristik eines Bodens dar und haben somit auch einen grossen Einfluss auf die Bodenökologie.<sup>21</sup> Studien zeigen, dass Pflanzenkohle die Lachgasemissionen im Feld reduzieren<sup>22</sup> kann und es gibt Hinweise, dass Anwendung im Stall die Ammoniakemissionen reduziert. Letzteres bedarf aber näherer wissenschaftlicher Untersuchung. Der grösste Nachteil der Pflanzenkohle ist ihr Preis sowie Engpässe bei der nachhaltigen Herstellung. Eine Tonne Pflanzenkohle kostet je nach Produktionsverfahren und Ausgangsmaterial im Handel bis 1300 Franken. Das entspricht rund 500 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub>.<sup>23</sup> Somit können die Kosten mit den gegenwärtigen Zertifikatspreisen bei weitem nicht gedeckt werden. Selbst wenn die Zertifikatspreise in Zukunft auf gegen 100 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> steigen sollten, müssten die positiven Effekte sehr gross sein, damit sich das für die Landwirte rechnet. Oder aber die Produktionskosten für Pflanzenkohle müssen stark sinken. Der Einsatz von organischen Abfällen anstelle von Holzschnitzel würde hier allenfalls Fortschritte ermöglichen. Gezielter Einsatz zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und zur Unterstützung der bodenbiologischen Prozesse, sowie eine Kaskadennutzung über den Einsatz als Futter- oder Einstreuzusatz im Stall dürfte deshalb beim Pflanzenkohleeinsatz vorerst im Vordergrund stehen. Noch nicht vollständig geklärt sind zudem auch mögliche negative Effekte im Boden im Zusammenhang mit Schadstoffeintrag- und Speicherung. Bekannt ist bereits, dass es bei mangelhafter Qualität der Pflanzenkohle im Boden zur Anreicherung von Schwermetallen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen kommen kann. Diesbezüglich ist eine gute Absicherung nötig: Wenn die Pflanzenkohle einmal im Boden ist, bringen wir sie da nicht so schnell wieder heraus. Die Abbaurate wird auf wenige Prozent in 100 Jahren geschätzt.<sup>24</sup> Der Qualitätssicherung kommt deshalb höchste Bedeutung zu. Es existieren Qualitätszertifikate, beispielsweise das Europäische Biokohlenzertifikat (EBC).<sup>25</sup> Für das Inverkehrbringen von Pflanzenkohle ist eine Bewilligung Bundesamtes für Landwirtschaft nötig, die gewisse Anforderungen an das Produkt stellt, unter anderem die Einhaltung der EBC-Anforderungen. Auch bei der Pflanzenkohle gilt es die Kohlenstoffkreisläufe zu beachten: Wo das Rohmaterial wächst, darf es unter dem Strich nicht zu einer Kohlenstoffanreicherung kommen. Es kann nicht das Ziel sein, den Humusgehalt auf Kosten des Humusgehaltes auf anderen Flächen wie etwas Wald, Böschungen oder Rieten zu steigern.<sup>19</sup> Ein Vorteil der Pflanzenkohle ist hierbei jedoch, dass der Kohlenstoff verlustarm und stabil gespeichert wird.

## 5. Wie gross ist das Sequestrierungspotenzial gemessen an den Treibhausgasemissionen?

Belastbare Zahlen dazu werden im Auftrag des Bundesrates gegenwärtig erarbeitet. In welcher Grössenordnung wir uns in etwa bewegen, lässt sich grob abschätzen: Die Schweiz ist ein kleines, hochindustrialisiertes, dienstleistungsorientiertes Land. Die landwirtschaftliche Fläche, die sich für den Humusaufbau eignet, ist im Vergleich zum Inland-CO<sub>2</sub>-Ausstoss eher klein. Selbst mit optimistischen Annahmen bezüglich realisierbarem Humusaufbau dürfte das jährliche Sequestrierungspotenzial mittels Humusaufbau auf den Schweizer Ackerflächen wohl nur im tiefen einstelligen Prozentbereich der gegenwärtigen jährlichen gesamtschweizerischen Emissionen liegen. Die Landwirtschaft trug 2018 mit rund 14,2 Prozent zu diesen Emissionen bei.<sup>14</sup> Eine Kompensation von sektorfremden Emissionen ist deshalb wenig glaubwürdig. Nur schon die vergleichsweise geringe Fläche an acker- und futterbaulich genutzten entwässerten Torfböden beeinträchtigt die klimarelevante CO<sub>2</sub>-Emissionen mit rund 766 000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr<sup>10</sup> wohl in einem grösseren Umfang als alle anderen Ackerböden zur Sequestrierung beitragen könnten.

Gemäss den in Punkt 4 erwähnten Schätzungen, beträgt der jährliche schweizerische Gesamt-THG-Ausstoss rund 9 bis 12 Prozent des geschätzten C-Vorrates in den landwirtschaftlichen Böden. Angenommen, es gelänge die C<sub>org</sub>-Gehalte in allen Landwirtschaftlichen Böden zu verdoppeln und längerfristig auf dem Niveau zu halten, was ein sehr ambitioniertes Ziel ist, könnte man einmalig den Schweizer Gesamt-THG-Ausstoss von rund acht Jahren kompensieren.

## 6. Können wir den Kohlenstoff längerfristig im Boden behalten?

Kurzfristige Verluste sind jederzeit möglich und können insbesondere bei Bewirtschaftungsänderungen sehr hoch ausfallen.<sup>26</sup> Der Grossteil des organischen Kohlenstoffes im Boden wird innerhalb von 20 bis 30 Jahren wieder umgesetzt.<sup>27</sup> Nur im Zeitraum von Jahrzehnten und Jahrhundert kann sich längerfristig stabile organischen Bodensubstanz anreichern.<sup>28, 29</sup> Die humusfördernden Massnahmen müssen also stetig aufrechterhalten werden, der Aufbau von «Dauerhumus» ist eine Aufgabe von mehreren Generationen. Da die OBS am stabilsten im Innern von tonreichen Bodenaggregaten und auf der Oberfläche von Tonmineralien physikalisch gebunden wird<sup>7</sup>, ist eine gute Bodenstruktur nicht nur für das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit wichtig, sondern auch hinsichtlich der Kohlenstoffsequestrierung. Pflanzenkohle ist im Boden von Anfang an relativ stabil.

## 7. Können wir den Humusaufbau genau genug quantifizieren?

Die Fühlprobe muss aus der landwirtschaftlichen Praxis verschwinden, da sie sehr ungenau ist und somit keine aussagekräftigen Resultate liefert. Für die ÖLN-Bodenproben wird ohnehin in Zukunft nur noch die analytische C<sub>org</sub>-Bestimmung zulässig sein. Die Standardanalytik ist derzeit in der Überarbeitung: Der Bodenaufschluss mit aggressiven Chemikalien und der anschliessenden photometrischen Messung des Extrakts wird durch die Elementaranalyse ersetzt. Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bietet nicht nur eine zerstörungsfreie Messung von Humusgehalten, sondern etwa auch online Messungen an Ackergeräten und Möglichkeiten zur Fernerkundung mit Drohne oder Satelliten. Damit ist es möglich die Variabilität in der Fläche mit bisher nicht gekannter Präzision zu erheben. Repräsentative, georeferenzierte Probenahme ist Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Resultate, respektive für die aussagekräftige Abbildung eines allfälligen Trends. Wichtig für eine Klimabilanz ist ausserdem die Tiefenverteilung der organischen Kohlenstoffes. Der Umgang mit den Proben nach standardisiertem Protokoll ist zwingend, bedeutet aber einen beträchtlichen technischen und administrativen Aufwand. Das treibt die Kosten pro Probe in die Höhe und schmälert somit die Attraktivität solcher Analysen für die Landwirte. Auch bei passender Analyseverfahren und fachgerechter Probenbehandlung ist eine Restungenauigkeit aufgrund zeitlicher und räumlicher Dynamik des C<sub>org</sub> im Feld nicht zu vermeiden. Die Trends im Humusaufbau sind langfristig. Um sie kurzfristig nachweisen zu können, bräuchte es neue Indikatoren.<sup>28</sup> Ist eine Entschädigung der Landwirte nach geleisteter Kohlenstoffeinlagerung vorgesehen, muss die Probenahme durch eine neutrale Stelle erfolgen. Pflanzenkohle erscheint bei Analysen im C<sub>org</sub> und lässt sich mit vertretbarem Aufwand nicht von diesem unterscheiden.

## 8. Können Humusprojekte die Anforderungen bezüglich CO<sub>2</sub>-Zertifizierung erfüllen?

Es gibt zwei unterschiedliche Märkte, an denen CO<sub>2</sub>-Zertifikate gehandelt werden: Den verpflichtenden und den freiwilligen Markt. Am verpflichtenden Markt decken sich die Unternehmen und Institutionen mit Zertifikaten ein, die von Gesetzes wegen ihre Emissionen (oder einen Teil davon) kompensieren müssen. Die Zertifizierungsanforderungen sind hier in der Schweiz in der nationalen Gesetzgebung verankert.<sup>30</sup> Unternehmen, die aus Imagegründen oder aus Überzeugung ihre Emissionen kompensieren wollen, kaufen ihre Zertifikate meist auf dem freiwilligen Markt.

Zurzeit sind keine Humusprojekte für die Ausstellung von Bescheinigungen für den verpflichtenden Markt registriert. Dies nicht nur aufgrund der oben genannten Vorbehalte, sondern auch weil dafür noch keine gesetzliche Grundlage besteht. Ob sich dies im Rahmen der Totalrevision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes ändern wird, wird der politische Prozess zeigen.

Auf dem freiwilligen Markt gibt es diverse Zertifikatsstandards, wie etwa den VCS («Verified Carbon Standard») oder den «Gold Standard». Der Nachweis ist auch dort zentral und häufig nicht einfach, respektive mit einem hohen Aufwand verbunden. Die Zusätzlichkeit ist für Humusprojekte schwer nachzuweisen. Die Stabilität der Wirkung der Massnahme muss auch auf dem freiwilligen Markt gewährleistet sein. Bei der Kohlenstoffanreicherung in Böden gibt es diesbezüglich Unsicherheiten. Auf dem freiwilligen Markt ist es aber heute schon möglich, Humusprojekte zu registrieren und CO<sub>2</sub>-Zertifikate auszustellen. Aus den hier genannten Gründen ist aber Zweifel an den heute verfügbaren Protokollen zur Generierung solcher Zertifikate durchaus berechtigt.<sup>31</sup>

Mit Pflanzenkohle ist die Erfüllung der Zertifikatsanforderungen besser möglich. Herausforderung ist hier das ungünstige Verhältnis zwischen dem Preis von Pflanzenkohle und dem Zertifikatslös. Die Firma First Climate (Switzerland) AG hat auf dem freiwilligen Markt ein Kompensationsprogramm mit Pflanzenkohle registriert.

Die Zertifikatsanforderungen für den verpflichtenden Markt in der Schweiz sind sehr hoch:

| Anforderung  | Bewertung hinsichtlich OBS-Aufbauprojekten  |
|--|---|
| Die Emissionsreduktionen müssen quantifizierbar und nachweisbar sein.  | Dies ist mit den oben erwähnten Schwierigkeiten bezüglich Nachweis der Kohlenstoffanreicherung in Böden nur mit einem hohen Aufwand und nicht hundertprozentig exakt erfüllbar.   |
| Die Zusätzlichkeit (Additionalität) muss aufgezeigt werden. Dies bedeutet, dass ohne den Erlös aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Zertifikaten das Projekt nicht umgesetzt werden würde. | Aufbau der OBS ist bei guter landwirtschaftlicher Praxis möglich und erwünscht, zudem ist deren Nutzen sehr vielfältig und nicht nur auf die CO <sub>2</sub> -Sequestrierung beschränkt. Vor diesem Hintergrund ist die Additionalität eher schwierig nachzuweisen. |
| Leakage: Es muss gezeigt werden, dass aufgrund der Projektaktivität keine Emissionen ausserhalb der Systemgrenze des Projekts generiert werden.  | Dieser Punkt könnte mit einer sauberen Projektplanung erfüllt werden.   |
| Es muss gezeigt werden, dass das sequestrierte CO <sub>2</sub> über einen gewissen Zeitraum stabil gebunden bleibt.  | Das wäre im Bereich OBS-Aufbau nur mit sehr langfristigen vertraglichen Verpflichtungen und entsprechenden Kontrollen sicherzustellen.  |



## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die organische Bodensubstanz ist für die Bodenfruchtbarkeit zentral. Der OBS-Gehalt ist in vielen landwirtschaftlich genutzten Böden noch unter dem pflanzenbaulichen und bodenökologischen Optimum. Gezielter Humusaufbau sollte in der landwirtschaftlichen Praxis deshalb mittels Beratung und Information stärker gefördert werden. Die Sequestrierung von Kohlenstoff ist dabei ein willkommener Nebeneffekt. Diesen mittels CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zu entschädigen ist in den meisten Fällen aber schwierig umzusetzen und auch kaum glaubwürdig. Die THG-Emissionen, die in der Landwirtschaft aus der Tierhaltung, beim Humusabbau in organischen Böden, in Form von Lachgas und bei der Verbrennung von fossilen Treibstoffen anfallen, übersteigen das Sequestrierungspotenzial der Böden bei Weitem. Bei der Bodenbewirtschaftung sollte die Sicherstellung der Ökosystemdienstleistungen des Bodens sowie die Förderung der Bodenfruchtbarkeit im Zentrum stehen und nicht die kostengünstige «Versenkung» von Kohlenstoff aus CO<sub>2</sub>-Emissionen. Grundsätzliche Bedenken bezüglich THG-Kompensation müssen berücksichtigt werden: Zur Abwendung der drohenden Klimakatastrophe wird Kompensation nicht ausreichen und auch die politischen Klimaziele lassen sich damit alleine nicht erreichen. Es braucht eine drastische Reduktion der Emissionen.

Sollen die Landwirte für Kohlenstoffeinlagerung in Böden eine Dienstleistungsentschädigung oder einen Förderbeitrag erhalten, muss dafür erst ein passendes Entschädigungssystem entwickelt werden. Dieses sollte fair, zielgerichtet und messbar sein. Zudem sollte der Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis zur geleisteten CO<sub>2</sub>-Sequestrierung, beziehungsweise zum entsprechenden Zertifikatslös stehen. Diese Anforderungen zu erfüllen, ist nicht trivial. Neue Messtechnologien wie Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) könnten die Überwachung der Kohlenstoffdynamik in landwirtschaftlichen Böden in Zukunft vereinfachen. Auch die Zertifikatsbranche entwickelt sich stetig weiter. Kürzlich wurde eine neue Methode zur Zertifizierung regenerativer landwirtschaftlicher Praktiken veröffentlicht.<sup>32</sup>

Mit Pflanzenkohle ist Kohlenstoffsequestrierung in landwirtschaftlichen Böden rasch und theoretisch auch in sehr grossem Stil möglich. Die grösste Einschränkung sind die derzeit hohen Herstellungskosten im Vergleich zum Preis von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten sowie mengenmässige Engpässe bei der nachhaltigen Herstellung von Pflanzenkohle. Zudem bestehen Vorbehalte bezüglich der möglichen Anreicherungen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Schwermetallen sowie aufgrund allfälliger, bisher unerkannter Risiken. Vor diesem Hintergrund muss die Herstellung und Verwendung von Pflanzenkohle weiter erforscht werden. Interessant sind insbesondere die positive Wirkung bezüglich Lachgasemissionen sowie die Hinweise auf eine mögliche Reduktion der Ammoniakemissionen bei Anwendung im Stall.

## 10. Quellen

- <sup>1</sup> <https://www.4p1000.org/> (abgerufen am 1.7.2020)
- <sup>2</sup> <https://so.ch/verwaltung/volkswirtschaftsdepartement/amt-fuer-landwirtschaft/direktzahlungen-und-foerderprogramme/kantonale-foerderprogramme/ressourcenprogramm-humus/> (abgerufen am 1.7.2020)
- <sup>3</sup> <https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/volkswirtschafts-und-gesundheitsdirektion/landw-zentrum-ebenrain/landwirtschaft/klimaschutz-durch-humusaufbau> (abgerufen am 1.7.2020)
- <sup>4</sup> <https://www.carbocert.de/> (abgerufen am 1.7.2020)
- <sup>5</sup> Körschens M., Schulz E., Klimanek E.M. und Franko U., 1997. Die organische Bodensubstanz — Bedeutung, Definition, Bestimmung. Archives of Agronomy and Soil Science 41, 427-433
- <sup>6</sup> Lehmann J. and Kleber M., 2015. The contentious nature of soil organic matter. Nature 528, 60–68.
- <sup>7</sup> Schrupf M., Kaiser K., Guggenberger G., Persson T., Kögel-Knabner I. and Schulze E.D., 2012. Storage and stability of organic carbon in soils as related to depth, occlusion within aggregates, and attachment to minerals. Biogeosciences Discuss., 9, 13085–13133 doi:10.5194/bgd-9-13085-2012.
- <sup>8</sup> Flessa, H., Don, A., Jacobs, A., Dechow, R., Tiemeyer, B., Poelplau, C. 2019. Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands. Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn, Deutschland.
- <sup>9</sup> 12 Zihlmann U., Weisskopf P., Chervet A., Seitz B., 2019. Humus in Ackerböden – vermehren statt verzehren. Merkblatt. Agridea, Lindau.
- <sup>10</sup> Hagedorn F., Krause H.-M., Studer M., Schellenberger A., Gattinger A. (2018): Boden und Umwelt. Organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden. Thematische Synthese TS2 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (nfp 68), Bern
- <sup>11</sup> Gubler A., Wächter D., Schwab P., Müller M., Keller A. (2019) Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends, Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 191.; 277
- <sup>12</sup> Charles R., Wendling M., Burgos S. (2018): Boden und Nahrungsmittelproduktion. Thematische Synthese TS1 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (nfp 68), Bern.
- <sup>13</sup> Leifeld J., Bassin S., Fuhrer J. (2003): Carbon Stocks and carbon sequestration potencies in agricultural soils in Switzerland. Schriftenreihe der FAL 44. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Reckenholz, Zürich.
- <sup>14</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2020. Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2018. Bern
- <sup>15</sup> Johannes A., Matter A., Schulin R., Weisskopf P., Baveye P.C., Boivin, P., 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? Geoderma 302, 14-21
- <sup>16</sup> Zihlmann U., Weisskopf P., Müller M., Freund M., Hirschi M., Chervet A., Ramseier L., Sturny W. (2019) Entwässerte, landwirtschaftlich genutzte Torfböden beurteilen und nach Bedarf aufwerten. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft. Veranstaltungsunterlage.
- <sup>17</sup> Leifeld J. mündliche Mitteilung.
- <sup>18</sup> Fließbach A., Publikation in Vorbereitung.
- <sup>19</sup> Smith P. 2012, Soils and Climate Change. Current Opinion in Environmental Sustainability, Volume 4, Issue 5, Pages 539-544.
- <sup>20</sup> Doran J.W., Elliott E.T. and Paustian K., 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. Soil and Tillage Research 49, 3-18.
- <sup>21</sup> Al-Wabel M. I. et al. 2018. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. Land degradation & development v.29 no.7 pp. 2124-2161
- <sup>22</sup> Van Zwieten L., 2009 Biochar and emission of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil, In: Biochar for environmental management science and technology., Earthscan, London, pp.227-249
- <sup>23</sup> Abächerli, F. Verora AG. Mündliche Mitteilung.
- <sup>24</sup> Kuzyakov Y., Subbotina I., Chen H., Bogomolova I., Xu X.: Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14c labeling. In: Soil Biology & Biochemistry. 41, 2009, S. 210–219.
- <sup>25</sup> <https://www.european-biochar.org/de> (abgerufen am 1.7.2020)
- <sup>26</sup> Smith P., 2008. Land use change and soil organic carbon dynamics. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81, 169–17827
- <sup>27</sup> Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D.A.C., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S. and Trumbore S.E., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. Nature 478, 49–56.
- <sup>28</sup> Fließbach A., Präsentation am Kurs «Humus als Chance für das Klima» vom 8.6.2020 in Olten
- <sup>29</sup> McLauchlan K.K., Hobbie S.E and Post W.M., 2006. Conversion From Agriculture To Grassland Builds Soil Organic Matter On Decadal Timescales. Ecological Applications 16, 143–153.
- <sup>30</sup> Verordnung über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Verordnung, 641.711). Vom 30. November 2012, Stand am 1. Januar 2020). Schweizerische Eidgenossenschaft.
- <sup>31</sup> Kummli C., Präsentation am Kurs «Humus als Chance für das Klima» vom 8.6.2020 in Olten
- <sup>32</sup> [https://verra.org/wp-content/uploads/2020/10/VM0042\\_Methodology-for-Improved-Agricultural-Land-Management\\_v1.0.pdf](https://verra.org/wp-content/uploads/2020/10/VM0042_Methodology-for-Improved-Agricultural-Land-Management_v1.0.pdf)



austauschen  
verstehen  
weiterkommen