

Richtlinien zur Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle Version 2.1 vom 25. Januar 2021

Hans-Peter Schmidt^{1}, Claudia Kammann², Nikolas Hagemann^{3,4}*

¹ Ithaka Institute, Ancienne Eglise 9, 1974 Arbaz, Switzerland

² Department of Applied Ecology, Hochschule Geisenheim University, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, Germany

³ Agroscope, Environmental Analytics, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zurich, Switzerland

⁴ Ithaka Institute, Paul-Ehrlich-Straße 7, 79106 Freiburg, Germany

*korrespondierender Autor: schmidt@ithaka-institut.org

Zitierweise:

EBC (2020), Zertifizierung des C-Senken Potentials von Pflanzenkohle, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Version 2.1D vom 25. Januar 2021

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des
Ithaka Institute for Carbon Strategies, Switzerland (www.ithaka-institut.org)

Copyright: © 2020 Ithaka Institut

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Grundlagen der Zertifizierung von C-Senken	3
1.1 Grundlagen von C-Senken auf Basis von Pflanzenkohle	3
1.2 Das Konzept der EBC C-Senken Zertifizierung	4
1.3 Definition und Berechnung des C-Senken Potentials	6
1.4 Die Rolle von Methanemissionen	7
1.5 Definition der C-Neutralität des Biomasse-Inputmaterials	9
2. Zulässige Biomassen und CO ₂ eq-Abzüge für deren Produktion	11
2.1 Landwirtschaftliche Biomassen	12
2.2 Organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung	13
2.3 Holz aus Landschaftspflege, Kurzumtriebsplantagen, Ackerforstwirtschaft, Waldgärten, Feldrainen und urbanen Flächen	13
2.4 Biomasse aus der Waldbewirtschaftung	14
2.5 Holzabfälle	16
2.6 Sonstige biogene Reststoffe	16
3. Lagerung von Biomassen	17
4. Abzüge für produktionsbedingte Emissionen	20
4.1 Energie- und Treibstoffaufwand für Transport, Bereitstellung der Biomassen, Durchführung der Pyrolyse sowie Nachbehandlung der Pflanzenkohle	20
4.2 Energieüberschüsse	21
4.3 Methanemissionen während des Pyrolyseprozesses	7
5. Pflichtangaben für die Zertifizierung des C-Senken Potentials	24
5.1 Werkseitige Ermittlung des Trockengewichts	24
6. Sicherheitsmarge	27
7. Klimaneutrale Energie	29
8. Verwendung und Handel des C-Senken Potentials durch akkreditierte Makler und Plattformen	31
9. Literaturangaben	35

1. Prinzipien der C-Senken Zertifizierung

Die Zertifizierung von C-Senken stellt einen entscheidenden Schritt zur Umsetzung eines wissenschaftlich fundierten Klimaschutzes dar. Bisherige CO₂ Zertifikate bescheinigen meist die Reduktion von Emissionen gegenüber einem Referenzszenario und helfen so, Emissionen zu vermeiden. Die Zertifizierung von C-Senken hingegen garantiert die jederzeit überprüfbare Lagerung von Kohlenstoff im terrestrischen System. C-Senken sind somit das Resultat eines aktiven Entzugs von CO₂ aus der Atmosphäre. Um dies zu garantieren, muss eine lückenlose und chargengenaue Verfolgung jeder sequestrierten Einheit Kohlenstoff gewährleistet werden und zwar von der Entfernung aus der Atmosphäre (engl. *carbon capture*) über alle nötigen Transporte und Transformation hin zur finalen Speicherung (engl. *storage*).

1.1. Grundlagen von C-Senken auf Basis von Pflanzenkohle

Pflanzliche Biomasse besteht zu ca. 50% aus Kohlenstoff, den die Pflanze durch ihr Wachstum der Atmosphäre in Form von CO₂ entzogen hat. Mittels der Energie des Sonnenlichts wird das C von dem aufgenommenen CO₂ abgetrennt und daraus in mehreren Schritten organische Moleküle wie z.B. Glukose, Zellulose oder Lignin aufgebaut.

Wird pflanzliche Biomasse pyrolysiert, werden die Kohlenstoffverbindungen der Biomasse thermochemisch gespalten, sodass flüchtige Verbindungen als brennbare Gase ausgetrieben werden, während die nichtflüchtigen Kohlenstoffe die neuen aromatischen Verbindungen der Pflanzenkohle bilden. Diese in der Pyrolyse neu geschaffenen Verbindungen des einst aus der Atmosphäre entzogenen Kohlenstoffs sind äußerst stabil und werden unter natürlichen Bedingungen nur sehr langsam biologisch oder chemisch abgebaut. Sofern die Pflanzenkohle nicht verbrannt wird, bleibt der Kohlenstoff der Pflanzenkohle über mehrere Jahrhunderte im terrestrischen System erhalten und stellt somit eine terrestrische Kohlenstoffsene (C-Senke) dar.

Wird die Pflanzenkohle direkt in Böden eingebracht oder gelangt sie über die Applikation im Tierfutter, in der Stalleinstreu, in der Gülle, im Kompost oder in Biogasanlagen als sogenannte Wirtschaftsdünger indirekt in landwirtschaftliche Böden, lässt sich nach bisherigen Erkenntnissen eine durchschnittliche Abbaurate von 0,3% pro Jahr annehmen (in Anlehnung an: Budai et al., 2013; Camps-Arbestain et al., 2015). 100 Jahre nach einer Bodenapplikation wären folglich noch 74% des ursprünglichen Kohlenstoffs der Pflanzenkohle gespeichert. Diese Rate basiert auf der konservativsten bisher veröffentlichten meta-analytischen Evaluierung für den Kohlenstoffabbau von Pflanzenkohle. Andere Quellen ermittelten in Abhängigkeit vom Pyrolysegrad und vom Versuchsdesign deutlich geringere Abbauraten (IPCC, 2019; Kuzyakov et al., 2014; Lehmann et al., 2015; Zimmerman and Gao, 2013). In Ermangelung verlässlicherer Methoden und Langzeitversuche ist es allerdings unausweichlich, auf konservative Berechnungen zurückzugreifen und die klimarelevante

Wirkung von C-Senken mit ausreichender Sicherheit zu berechnen. Der Weltklimarat definiert anstelle einer jährlichen Abbaurate einen von der Pyrolysetemperatur abhängigen Anteil permanenten Kohlenstoffs, der über einen Zeitraum von 100 Jahren nicht mineralisiert wird (IPCC, 2019). Dies wiederum unterschätzt allerdings die Klimawirkung der C-Senke Pflanzkohle in den ersten Jahrzehnten nach ihrer Produktion.

Wird die Pflanzkohle in Baumaterialien als Sandersatz oder als Additiv in Asphalt und Kunststoffen eingesetzt, so kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass die Pflanzkohle so lange stabil ist und als C-Senke erhalten bleibt, wie das Material an sich Bestand hat. Erst wenn das pflanzkohlehaltige Material entsorgt, zerstört oder zurückgebaut wird, kann der so gespeicherte Kohlenstoff verloren gehen, womit die C-Senke ihren Wert verliert und aus dem entsprechenden C-Senken-Register auszutragen wäre.

Um die Klimawirkung einer pflanzkohle-basierten C-Senke korrekt abzubilden, müssen alle direkten und indirekten Treibhausgasemissionen, die durch den Anbau der Biomasse, deren Ernte, Transport, Zerkleinerung, Pyrolyse, Pyrogasverbrennung, Vermahlung, Mischung und Boden- oder Materialeinbringung verursacht werden, in die Gesamtbilanz einberechnet werden.

1.2. Das Konzept der EBC C-Senken Zertifizierung

Die Schaffung einer C-Senke erfolgt in drei wesentlichen Schritten: (1) Entzug von Kohlenstoff (CO₂) aus der Atmosphäre, (2) Transformation des Kohlenstoffs in eine stabil lagerbare Form und (3) die sichere, langfristige Lagerung z. B. im Boden oder in Materialien (engl.: carbon capture, transformation and storage). Um über diese drei Stufen hinweg die Klimabilanz für Pflanzkohle zu berechnen und somit den absolut anrechenbaren Wert als C-Senke zu bestimmen, werden zunächst alle verursachten Treibhausgase vom Anbau der Biomasse über die Pyrolyseanlage und bis zur abgepackten Pflanzkohle am Werkort erfasst. Zudem wird über Laboranalyse die Qualität und C-Gehalt der Pflanzkohle in EBC-akkreditierten Labors ermittelt. Vom Kohlenstoffgehalt der Pflanzkohle wird prozentual der Aufwand an Treibhausgasen abgezogen, woraus sich der Wert der C-Senke der Pflanzkohle am Werkort ergibt. Die dazu nötigen Kontrollen am Produktionsstandort werden vom staatlich akkreditierten Kontrollorgan bio.inspecta AG/q.inspecta GmbH durchgeführt.

Vom Werkort bis zur landwirtschaftlichen Applikation oder dem Einsatz in (Bau-)Materialien, die in dauerhaften Einheiten wie Häusern und Brücken eingesetzt werden, muss der Kohlenstoff der Pflanzkohle verfolgt und alle dabei verursachten Treibhausgasemissionen gegengerechnet werden. Dies erfolgt durch einen vom Ithaka Institut akkreditierten C-Senken Händler, der den letztendlichen Wert der applizierten Pflanzkohle in das C-Senken Register des EBC einschreibt.

Die Kontrollvorschriften und Berechnungsvorlagen für die Zertifizierung der Gesamtbilanz einer C-Senke wird in den folgenden Richtlinien detailliert dargestellt.

Kasten 1: Begriffe zur Klimawirkung

C-neutral: Ein System ist C-neutral, wenn es über einen definierten Zeitraum (Referenzzeitraum) eben soviel Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufnimmt, wie es wieder abgibt. Die im System gespeicherte Menge Kohlenstoff bleibt also konstant. Als System gilt hier zum Beispiel ein Wald oder eine landwirtschaftliche Fläche oder auch eine gesamte Region mit Städten, Wäldern, Mooren, Seen und landwirtschaftlichen Flächen.

Klimaneutral: Ein System gilt als klimaneutral, wenn es über einen Referenzzeitraum keinerlei globale Erwärmung bewirkt. Die Summe aller vom System ausgestoßenen Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O u.a.) ist ebenso groß wie der Entzug von Treibhausgasen aus der Atmosphäre. Die Menge der emittierten oder entzogenen Treibhausgase erfolgt jeweils in CO₂-Äquivalenten (CO₂eq).

Klimapositiv: Ein System gilt als klimapositiv, wenn der Atmosphäre über einen Referenzzeitraum mehr CO₂-Äquivalente (CO₂eq) entzogen als wieder in die Atmosphäre emittiert wurden. Ein klimapositives System trägt während des Referenzzeitraums aktiv zum Klimaschutz bei.

Klimanegativ: Ein System gilt als klimanegativ, wenn über einen Referenzzeitraum dessen gesamter Ausstoß an Treibhausgasen größer ist als der Entzug von CO₂-Äquivalenten aus der Atmosphäre. Das System trägt zur globalen Klimaerwärmung bei.

Im Kontext der C-Senken Wirtschaft ist die Verwendung der Begriffe C-negativ, C-positiv und Negativemissionen verwirrend, da hierbei die Atmosphäre als Bezugsgröße gesetzt wird und die Beurteilung als «negativ» sich auf den Entzug (= minus) von CO₂ aus der Atmosphäre bezieht. C-positiv wäre also ein System, das dafür sorgt, dass der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zunimmt, obwohl dies aus Sicht des Klimaschutzes natürlich als negativ – nicht wünschenswert - anzusehen wäre. Zur Vermeidung etwaiger Missverständnisse nutzen die EBC-Richtlinien die Begriffe C-neutral, klimapositiv und klimanegativ.

1.3 Definition und Berechnung des C-Senken Potentials

Das C-Senken Potential einer Verpackungseinheit Pflanzenkohle ist definiert als die in ihr enthaltene Menge Kohlenstoff abzüglich des Kohlenstoffaufwands ihrer Produktion, d.h. aller Emissionen, die durch ihre Herstellung verursacht wurden. Damit umfasst es die vollständige Klimabilanz der Pflanzenkohle am Werkort, d.h. beim Verlassen der Produktionsstätte.

Verlässt eine Verpackungseinheit Pflanzenkohle (z.B. ein Bigbag oder Container) den Ort ihrer Herstellung, so stellt die Pflanzenkohle noch keine zertifizierte C-Senke dar, sondern besitzt lediglich das Potential, eine zertifizierte C-Senke zu werden.

Bis zum ihrem finalen Einsatz als C Senke kann es zu weiteren Emissionen (Transport mit fossiler Energie) und Teilverlusten (z.B. Siebfraktionen der PK, die über Einwegprodukte (z.B. Katzenfutter) einen Weg in die Müllverbrennung finden), die einberechnet werden müssen. Auch sind noch Totalverluste möglich: Die ausgelieferte Pflanzenkohle könnte von einem Feuer ergriffen werden, oder ein Kunde kauft sie zur Co-Feuerung in einem Biomassekraftwerk oder als Reduktionsmittel für die Stahlherstellung. In allen diesen Fällen würde der Kohlenstoff wieder als CO₂ in die Atmosphäre entweichen, womit die C-Senke aufgelöst wäre.

Zu einer langfristigen und also solche zertifizierbaren C-Senke wird die Pflanzenkohle erst ab dem Moment, wo sie nicht mehr verbrennen kann. Erst wenn Pflanzenkohle über die Einmischung in das Futter von Nutztieren, als Stalleinstreu, als Kompostzusatz oder als Teil ähnlicher Substrate schließlich in den Boden gelangt oder wenn sie zum Bestandteil von Beton oder ähnlichen, nicht brennbaren Verbundmaterialien wird, dann kann sie als langfristige terrestrische C-Senke mit mathematisch definierbaren Abbauraten angesehen werden. Bis zu diesem entscheidenden Zeitpunkt, wo der Kohlenstoff der Pflanzenkohle in einen langfristigen und definierbaren Lebenszyklus eintritt, besitzt der Kohlenstoff der Pflanzenkohle lediglich ein C-Senken Potential.

Das C-Senken Potential von Pflanzenkohle ergibt sich aus dem Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle abzüglich aller durch ihre Herstellung und Verwertung verursachten Emissionen und errechnet sich damit wie folgt:

- 1) Der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle wird im Rahmen der regulären EBC-Zertifizierung ermittelt und gibt den in der Pflanzenkohle gespeicherten Kohlenstoff in Massenprozent der Trockensubstanz wieder.
- 2) Alle Treibhausgasemissionen werden jeweils für die gesamte Produktionscharge erfasst. Dies betrifft:
 - a) Emissionen durch die Bereitstellung der Biomasse (vgl. Kap 2)

- b) Emissionen durch die Lagerung der Biomasse (vgl. Kap 3)
- c) Emissionen durch den Pyrolyseprozess sowie weitere Anlagen der Produktionsstätte (vgl. Kap 5).

Methan- und Lachgasemissionen werden hierbei nach deren 20jährigem Treibhauspotential mit dem Faktor 86 bzw. 300 in CO₂eq umgerechnet. Da Methan nach wenigen Jahren in der Atmosphäre zu C-neutralem CO₂ oxidiert wird, können die Methanemissionen durch andere, kurzfristige und damit günstigere C-Senken Zertifikate kompensiert werden. Für Lachgas ist dies auf Grund seiner hohen Verweilzeit nicht möglich; es muss zwingend von der durch die Pflanzenkohle etablierten C-Senke abgezogen werden.

- 3) Um alle unter Punkt 2 nicht erfassten Emissionen einzubeziehen, wird zusätzlich eine Sicherheitsmarge von 10% aller unter 2) erfassten Treibhausgasemissionen aufgeschlagen (vgl. Kap 6).
- 4) Über den Faktor 0,2727 (Verhältnis der Atommasse von Kohlenstoff zu Molekülmasse von Kohlenstoffdioxid = $12 \text{ u} / 44 \text{ u} = 0,2727$) wird die ermittelte Gesamtmenge an CO₂eq in atomaren Kohlenstoff umgerechnet und ergibt so den Kohlenstoffaufwand. Der Kohlenstoffaufwand einer Produktionscharge gibt an, wie viel Kohlenstoff als CO₂eq emittiert wurde, um die Gesamtmenge an Pflanzenkohle einer Produktionscharge herzustellen.
- 5) Der Kohlenstoffaufwand wird in Massenprozent bezogen auf das Trockengewicht der Pflanzenkohle angegeben. Dieser berechnet sich, indem der Kohlenstoffaufwand durch das Trockengewicht der Gesamtproduktionsmenge Pflanzenkohle geteilt wird.
- 6) Der prozentuale Kohlenstoffaufwand wird vom Kohlenstoff-Gehalt der Pflanzenkohle abgezogen, woraus sich das C-Senken Potential in Massenprozent der Pflanzenkohle (TS) ergibt.

Das EBC-Senken-Zertifikat bilanziert somit den vollständigen CO₂eq-Fußabdruck der Pflanzenkohle vom Ursprung der Biomasse bis zum Verlassen des Betriebsgeländes, auf dem die EBC zertifizierte Pflanzenkohle hergestellt wird. Das C-Senken Potential gibt an, welcher Massenanteil einer gegebenen Menge Pflanzenkohle in eine langfristige C-Senke umgewandelt werden kann. Konkrete Berechnungsbeispiele finden sich weiter unten in zwei farblich unterlegten Kästen.

1.4 Methanemissionen

Die Methankonzentration in der Atmosphäre ist zwar rund 200-mal tiefer als die von CO₂, aber dennoch trägt Methan derzeit rund 16% zur globalen Klimaerwärmung bei. Allerdings

beträgt die mittlere Verweildauer von Methan in der Atmosphäre nur rund 9 Jahre, wonach es zu CO₂ oxidiert ist (Prather et al., 2012). In dieser kurzen Zeitspanne hat Methan aber eine Klimawirkung, die über 200mal größer ist als die von CO₂ in der gleichen Zeit. Um diese unterschiedlichen Wirkungen der Treibhausgase und die verschiedenen langen Zeiträume ihrer Wirksamkeit miteinander zu vergleichen, wird das Klimaerwärmungspotential (engl. global warming potential – GWP) der verschiedenen Gase für einen festgelegten Zeitraum berechnet. In den letzten Jahrzehnten wurde dazu überwiegend ein Zeitraum von 100 Jahren herangezogen (GWP100), jedoch gibt es keine wissenschaftliche Grundlage dafür, gerade 100 Jahre zu wählen (Fuglestad et al., 2003). Vielmehr ist die Festlegung des zeitlichen Bezugsrahmens eine politische und sozioökonomische Entscheidung, um die Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen bewerten und vergleichen zu können (Myrhe et al., 2013). Die Einheit von GWP ist jeweils CO₂eq (CO₂-Äquivalente).

Da die entscheidende Phase zur Begrenzung der anthropogenen Klimaerwärmung die kommenden Jahrzehnte bis 2050 ist und Methanemissionen in dieser Zeitspanne besonders schwerwiegend Wirkung entfalten, sollte die Angabe der Klimawirkung von Methan nicht durch das Setzen eines Bezugsrahmens von 100 Jahren verwässert werden. Im Rahmen des EBC wird daher für Methan der Bezugsrahmen von 20 Jahren (GWP20) gewählt, um auf diese Weise Maßnahmen zu fördern, die zur Vermeidung dieser kritischen THG-Emissionen beitragen. Diese Entscheidung wird der vergleichsweise kurzen, aber intensiven Wirkung des Methans besser gerecht und entspricht den Empfehlungen verschiedener Organisationen und Wissenschaftler (Balcombe et al., 2018). Der Weltklimarat IPCC gibt das GWP20 von Methan mit 86 an. Innerhalb der ersten 20 Jahre nach der Emission ist die klimaerwärmende Wirkung von Methan folglich 86-mal größer als die von CO₂ im gleichen Zeitraum. Daher wird 1 kg Methan im Rahmen des EBC C-Senken Zertifikats mit einer Wirkung von 86 kg CO₂eq belegt.

Die Methanemissionen können, wie es für alle anderen produktionsbedingten Treibhausgasemissionen auch verpflichtend ist, durch Reduktion des C-Senken-Potentials der Pflanzenkohle kompensiert werden. Da aber die Dauer der PK-basierten C-Senken mehrere Jahrhunderte beträgt, die Emissionswirkung von C-neutralem Methan jedoch nur wenige Jahre andauert, ist die Verrechnung des kurzfristigen GWP20 von Methan mit langfristigen C-Senken, die ein negatives GWP von vielen Jahrhunderten haben, kaum zu rechtfertigen, weder ökonomisch noch physikalisch.

Die vergleichsweise kurze Lebensdauer von Methan in der Atmosphäre und die auch damit begründete Verwendung des GWP20 für Methan bedeutet aber auch, dass sich die Klimawirkung von Methan mit ebenso kurzfristigen Maßnahmen kompensieren lässt. Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, bietet das EBC die Möglichkeit, alle bei der Biomasse-Lagerung (Kap. 3) und bei der Pyrolyse (Kap. 4.3) verursachten Methanemissionen durch

kurzfristige C-Senken zu kompensieren, sofern sie eine Kohlenstoffspeicherung von mindestens 20 Jahre garantieren. Eine umfassende Liste qualifizierter Maßnahmen und entsprechender Zertifikate wird vom EBC im Laufe des Jahres 2021 erstellt und dann fortlaufend aktualisiert. Sie wird unter anderem Aufforstungsmaßnahmen, die Anlage von Waldgärten, den Einsatz von Holz als Baumaterial oder die Verwendung von Pflanzenkohle für eher kurzlebige Produkte (z.B. in Kunststoffen für Abwasserrohre, Elektroleitungen oder Karosserien) enthalten.

1.5 Definition der C-Neutralität des Biomasse-Inputmaterials

Das übergreifende Ziel der C-Senken-Zertifizierung ist es, die Gesamtmenge an Kohlenstoff, der auf der Erde, d.h. in Biomasse, Böden, Gewässern, Sedimenten und dem Gestein gespeichert ist, zu erhöhen und damit die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu reduzieren. Daher ist bei der Zertifizierung von C-Senken sicherzustellen, dass die zertifizierte C-Senke nicht auf Kosten einer anderen C-Senke entsteht. Die Kohlenstoffneutralität einer Biomasse wird wie folgt definiert:

Ein Ausgangsmaterial (Biomasse) für die Generierung einer C-Senke ist C-neutral, wenn es sich entweder um den Reststoff einer Biomasse-Verarbeitung handelt oder wenn im Referenzzeitraum der gesamte Kohlenstoffvorrat des Systems, in dem die Biomasse gewachsen ist, durch deren Entnahme nicht sinkt.

Pflanzenkohle, die aus Biomassen hergestellt wurde, welche aus der Zerstörung oder dem Abbau einer anderen C-Senke stammt oder indirekt zum Abbau einer Senke beiträgt und damit nicht C-neutral ist, hat keinen C-Senkenwert und kann nicht als Klimadienstleistung anerkannt werden. Emissionen, die bei der Bereitstellung von C-neutraler Biomasse entstehen (Treibstoffverbrauch, N₂O aus Dünger), beeinträchtigen die Klimabilanz und werden durch Abzüge bei der Berechnung der C-Senke (vgl. Kap. 1.1 und 2 und 6) ausgeglichen.

Für die Berechnung und Zertifizierung des EBC C-Senken Potentials werden nur C-neutrale Biomasse-Inputmaterialien zugelassen.

Kasten 2: Beispiel für die Anrechnung der CO₂-Entzugsleistung von Biomassen.

Das Beispiel vom einzelnen Baum

Wird der letzte Baum einer Insel gefällt, gehäckselt und in einer Pyrolyseanlage zu Pflanzkohle verarbeitet, gehen mehr als 50% desjenigen Kohlenstoffs verloren, der ursprünglich im lebenden Baum gespeichert war. Kohlenstoffneutral wäre dieses System aus Biomasseproduktion und Pyrolyse erst, wenn ein neuer Baum ebenso viel Kohlenstoff aus der Atmosphäre entzogen hätte, wie in der Verarbeitung zu Pflanzkohle verloren gegangen war.

Pflanzkohle kann also nur dann eine klimapositive Wirkung erzielen, wenn die Produktion der Biomasse, die für die Herstellung von Pflanzkohle verwendet wurde, zumindest kohlenstoffneutral ist. Das heißt, **es kann nur Pflanzkohle als Kohlenstoffsenke anerkannt werden, die aus dem Zuwachs an Biomasse eines definierten Agrar- bzw. Ökosystems stammt**. Dies ist eine der wesentlichen Grundlagen der EBC-Zertifizierung des C-Senken Potentials.

Das Beispiel einer Miscanthus-Plantage

Pflanzt man einen Hektar *Miscanthus*-Gras auf einem Teil einer mit einjährigen Kulturen bestellten Ackerfläche, erntet dieses nach einigen Monaten und verbrennt es zur Energieerzeugung, so entspricht die Menge des bei der Verbrennung erzeugten CO₂ genau der Menge, die das geerntete *Miscanthus*-Gras während seines Wachstums aus der Atmosphäre entzogen hatte. Die Biomasse kann somit als C-neutral angesehen werden. Wird das *Miscanthus*-Gras nicht verbrannt, sondern pyrolysiert, bleibt die Hälfte des vom Gras aufgenommenen Kohlenstoffs in der Pflanzkohle enthalten, womit das System nicht nur neutral, sondern klimapositiv wäre. Diese Pflanzkohle aus dem innerhalb von weniger als einem Jahr nachwachsenden *Miscanthus* ist, solange sie erhalten bleibt, eine zusätzliche C-Senke.

2. Zulässige Biomassen und CO₂eq-Abzüge für deren Produktion

Für die C-Senken-Zertifizierung sind nur Pflanzenkohlen zugelassen, die entweder aus biogenen Reststoffen oder aus anderweitig C-neutral bereitgestellten Biomassen hergestellt wurden. Im Detail ergeben sich daraus je nach genauem Ursprung und Art der Biomasse die spezifischen Anforderungen für die folgenden sechs Biomassekategorien:

- (1) Landwirtschaftliche Biomassen
- (2) Organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung
- (3) Holz aus Landschaftspflege, Kurzumtriebsplantagen, Ackerforstwirtschaft, Waldgärten, Feldrainen und urbanen Flächen
- (4) Biomasse aus der Waldbewirtschaftung
- (5) Holzabfälle
- (6) Sonstige biogene Reststoffe

Die Bereitstellung von C-neutraler Biomasse verursacht in der Regel Emissionen, die als Kohlenstoffaufwand der C-Senke angerechnet werden müssen:

- Wenn mineralischer Stickstoffdünger zur Erzeugung der Biomasse eingesetzt wurde, muss dessen CO₂-Fußabdruck nach der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) bilanziert werden, um auch die der Düngung folgenden N₂O Emissionen zu berücksichtigen.
- Wurden Pestizide eingesetzt, wird für deren produktionsbedingte Emissionen pauschal ein Wert von 94 kg CO₂eq pro Hektar (Audsley et al., 2009) angesetzt.
- Der Einsatz von Kraftstoffen für Anbau und Ernte muss ebenfalls vom C-Senken Potenzial mit einem Umrechnungsfaktor von 3,2 kg CO₂eq pro Liter Diesel abgezogen werden (Juhrich, 2016).

Um jedoch den Zertifizierungsprozess für C-Senken schlank und dem Entwicklungsstadium der aufstrebenden Industrie angemessen zu halten, werden die vergleichsweise niedrigen Emissionen, die durch Anbau und Ernte sowie den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verursacht werden, durch die recht hohe Sicherheitsmarge (Kapitel 6) abgedeckt. Die Emissionen durch mineralische Stickstoffdünger sowie den Transport der Biomasse von ihrem Ursprung zur Pyrolyseanlage müssen allerdings genau ermittelt und direkt in die Berechnung des C-Senken Potentials aufgenommen werden.

2.1 Landwirtschaftliche Biomassen

Werden einjährige Biomassen auf landwirtschaftlichen Flächen speziell zur pyrolytischen und/oder energetischen Nutzung angebaut (siehe Beispiel in Kasten 2), so kann davon ausgegangen werden, dass auf der gleichen Fläche spätestens nach einem Jahr die etwa gleiche Menge an Biomasse nachgewachsen sein wird, womit der Atmosphäre die in etwa gleiche Menge an CO₂ erneut entzogen werden wird. Die geerntete Biomasse kann somit auf der Bezugsbasis von einem Jahr (Referenzzeitraum) als C-neutral angesehen werden, so dass aus dem Teil, der durch Pyrolyse zu Pflanzenkohle verarbeitet wurde, eine C-Senke entstehen kann.

Die Anlage von Misch- und Dauerkulturen sowie von Ackerforst und Wiesen, die zusätzlich zur Biomasseproduktion den Humusaufbau fördern, sind gegenüber der Kultivierung von Monokulturen zur Biomasseerzeugung zu bevorzugen. Grundsätzlich sollte Biomasse als vollwertiges landwirtschaftliches Teilprodukt («Kohlenstoffernte») anerkannt werden. Die landwirtschaftliche Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln ließe sich somit hervorragend mit der Produktion von Biomasse kombinieren. Damit ließe sich nicht nur die landwirtschaftliche Produktivität, sondern auch die Biodiversität, der Humusgehalt der Böden und der dauerhafte Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre steigern.

Mit der Einbeziehung von Biomassen als vollwertiges Produkt der Landwirtschaft würde sich auch die Definition von landwirtschaftlichen Reststoffen ändern. Stroh, Tomaten- und Kartoffelkraut, Kohlstängel und -blätter, Reb-, Hopfen- und Baumschnitt stellen einen essentieller Bestandteil **der landwirtschaftlichen Kohlenstoffernte** dar. Das Trockengewicht dieser Biomassen besteht ebenso zu 50 % aus Kohlenstoff. Mittels Pyrolyse kann über die Hälfte dessen in dauerhafte C-Senken umgewandelt werden, anstatt wie bisher noch üblich durch Verrottung oder gar Verbrennung in vergleichsweise kurzer Zeit wieder vollständig zu CO₂ umgesetzt zu werden. Es sind vollwertige Produkte des Klimafarmings und ein Schlüssel für die Begrenzung des Klimawandels. Es geht hierbei freilich nicht darum, Erntereste komplett vom Feld zu entfernen und damit die wichtige ökologische Funktion der Bodenbedeckung und des für den Humuserhalt so wichtigen biologischen Nährstoffrecyclings zu unterbinden. Ziel ist es vielmehr, Biomasse unter Bewahrung dieser zentralen ökologischen Funktionen als landwirtschaftliches Produkt in den Bewirtschaftungsplan einzubeziehen.

Sämtliche landwirtschaftliche Biomassen gelten als C-neutrales Inputmaterial. Es muss allerdings sichergestellt sein, dass es durch den Entzug von Ernterückständen nicht zu einer Abnahme des Bodenkohlenstoffvorrats kommt.

Wenn Biomasse gezielt und hauptsächlich angebaut wurde, um Pflanzenkohle zu produzieren, müssen die durch die Düngung verursachten THG-Emissionen berücksichtigt werden.

Erfolgte zur Erzeugung der Biomasse eine mineralische N-Düngung, müssen Emissionen gemäß der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) in die Klimabilanz eingerechnet werden. Alle anderen anbaubedingten THG-Emissionen sind in der Sicherheitsmarge enthalten (vgl. Kapitel 6).

Kasten 3: Berechnungen der Klimabilanz für die Bereitstellung der Biomassen

Beispiel zur Berechnung des Kohlenstoff-Aufwands für die Bereitstellung der Biomasse

1. Es werden auf einem Hektar 10 t Biomasse unter Einsatz von 50 kg N und 25 l Diesel erzeugt, die zu 3 t Pflanzenkohle (Trockensubstanz = TS) mit einem Kohlenstoffgehalt von 75,0% verarbeitet werden.
2. Der Kohlenstoffaufwand beträgt 0,50 t CO₂eq für die Düngung und 0,08 t CO₂eq für den verbrauchten Diesel (3,2 kg * 25 l). Dies ergibt 0,58 t CO₂eq (0,16 t C).
3. Die Erzeugung von 3 t Pflanzenkohle verbraucht für die Biomassebereitstellung 0,16 t C, was 5,3 Massenprozent (bezogen auf die Trockensubstanz der Pflanzenkohle) entspricht.
4. Vorbehaltlich des Abzugs weiterer, durch die Pyrolyse und Nachbehandlung bedingter Emissionen (vgl. unten), beträgt das C-Senken Potential folglich $75,0\% - 5,3\% = 69,7\%$.
5. Angabe und Rundung erfolgt jeweils auf 0,1%.

2.2 Organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung

Trester, Nussschalen, Obstkerne, Kaffeesatz und andere organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung gelten als C-neutrale Inputmaterialien.

Die Emissionen durch Anbau (Düngung, ggf. Pflanzenschutz), Ernte, Transport und Verarbeitung sind nach der derzeit üblichen Praxis auf die Herstellung der Primärprodukte (z.B. Wein, Olivenöl, Obstsaft, Kaffee) anzurechnen. Für die Bereitstellung der Biomasse zur Herstellung von Pflanzenkohle sind damit nur die Emissionen des Transports vom Ort der Lebensmittelverarbeitung zur Pyrolyseanlage anzurechnen.

2.3 Holz aus Landschaftspflege, Kurzumtriebsplantagen, Ackerforstwirtschaft, Waldgärten, Feldrainen und urbanen Flächen

Werden Bäume oder Hecken auf landwirtschaftlichen Flächen nur geschnitten oder eingekürzt, nicht aber gefällt und wachsen somit aus den eigenen Wurzeln nach, gilt die so

geerntete Biomasse als C-neutral. Biomassen aus naturschutzfachlicher Landschaftspflege, von Straßenbegleitgrün und von urbanen Flächen gelten ebenfalls als C-neutral.

Für das Schlagen von Bäumen in Waldgärten und Agroforstsystemen gilt ebenso wie für Wälder, dass nur eine Entnahme in Höhe des jährlichen Zuwachses als C-neutral gilt. Bäume von Streuobstwiesen, Baumstreifen und Wallhecken zur Ackerbegrenzung sind oft viele Jahrzehnte alt und müssen so erneuert werden, dass der auf die Flächeneinheit bezogene Holzentzug nicht die Menge des jährlichen Nachwuchses übertrifft.

Sofern Bäume auf einer landwirtschaftlich katastrierten und genutzten Fläche zum Zweck der Biomasseproduktion neu gepflanzt wurden (z.B. Kurzumtriebsplantagen oder Ackerforst), so kann die geerntete Biomasse bereits zum Erntezeitpunkt als C-neutral angesehen werden. Es muss allerdings garantiert sein, dass auf der entsprechenden Fläche die Biomasseproduktion durch Neupflanzung oder bereits erfolgte Verjüngung aufrecht erhalten bleibt.

Erfolgte zur Erzeugung der Biomasse eine mineralische N-Düngung, müssen Emissionen gemäß der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) in die Klimabilanz eingerechnet werden. Alle anderen anbaubedingten THG-Emissionen sind in der Sicherheitsmarge enthalten (vgl. Kapitel 6).

2.4 Biomasse aus der Waldbewirtschaftung

Ein Wald wird als eine Flächeneinheit mit einem Überschirmungsgrad (Baumkronendichte, eng. forest canopy density) von über 75% angesehen. Für eine effiziente Kontrolle des nachhaltigen Waldaufwachses sollten die jeweils separat betrachteten Flächeneinheiten 100 ha nicht überschreiten. Für den Aufbau von C-Senken durch Waldholzverarbeitung darf die Gesamtbiomasse eines bestehenden Wirtschaftswaldes einer Flächeneinheit nicht abnehmen. Der Holzentzug muss also mindestens durch den Nachwuchs an Waldholz auf der referenzierten Flächeneinheit kompensiert werden. Dem Wald sollte zudem nur maximal 80% der geernteten Biomasse entzogen werden, um den Nährstoffkreislauf und die Biodiversität des Waldes zu erhalten. Durch die Holzernte darf der Überschirmungsgrad nicht unter 75% sinken.

Beträgt also zum Beispiel der Nachwuchs eines 100 ha Fichtenwaldes 650 t (Trockensubstanz = TS) pro Jahr, so sollten auch nur maximal 650 t TS pro Jahr gefällt und davon maximal 520 t TS (80%) dem Wald zur Holznutzung entzogen werden.

In der europäischen Forstwirtschaft besteht derzeit noch keine flächendeckende Walderfassung in Flächeneinheiten von < 100 ha. Die Flächeneinheiten sind deutlich größer als 10.000 ha und der regionale Nachwuchs an Wald wird über Durchschnittswerte von Referenzflächen hochgerechnet. Sofern in Regionalwäldern wie z.B. Schwarzwald oder

Arlberg der Nachwuchs des Waldes höher als der Entzug ist, wird die entzogene Biomasse nach der Europäischen Verordnung [2018/841] (EU-Parlament, 2018) als klimaneutral angesehen. Ökologisch ist es als kritisch zu betrachten, dass z.B. ein sich auf natürliche Weise verdichtender Bergwald einen Kahlschlag im besser zugänglichen Tal kompensieren darf.

Entsprechend der LULUCF-Verordnung der EU (EU-Parlament, 2018), wird alles Holz aus Wäldern, deren Nachwuchs den Entzug nachweislich übertrifft, als C-neutraler Input für die EBC Zertifizierung des C-Senken Potentials anerkannt.

Auch wenn wir diese EU-Bestimmung als kritisch ansehen, möchten wir uns bei der C-Senken Zertifizierung an der Europäischen Gesetzgebung orientieren. Wir begründen diese Entscheidung damit, dass es für die Entwicklung der C-Senken-Ökonomie nicht sinnvoll ist, die Restriktionen von Beginn an zu streng und idealistisch zu fassen. Wenn die EU-Staaten Bioenergie als klimaneutral fördern und sich den Nachwuchs ihrer Wälder als C-Senke anrechnen lassen, steht es uns nicht an, die gleiche Biomasse als nicht klimaneutral einzustufen. Trotzdem ist es unsere Überzeugung, dass Wälder und Waldholz in Zukunft effizienter als durch Pyrolyse und Vergasung für die Erzeugung von C-Senken genutzt werden sollten, vor allem durch die Verwendung des Holz in langlebigen Baustoffen (Song et al., 2018). Der EBC-Standard wird hinsichtlich der Waldholznutzung den technischen Möglichkeiten und politischen Gegebenheiten im Laufe der kommenden Jahre angepasst werden.

Ist die Klimaneutralität eines Waldes nicht durch die LULUCF-Berichte des betreffenden EU-Mitgliedsstaats oder durch sonstige regionale Gesetzgebung in vergleichbarer Weise sichergestellt, kann ein Nachweis auch durch PEFC oder FSC Zertifizierung erbracht werden. Andernfalls wird das Waldholz ohnehin nicht als Biomasse-Input für die Herstellung von EBC zertifizierter Pflanzenkohle akzeptiert. Dementsprechend kann dann auch kein EBC C-Senken Potential von Pflanzenkohle aus diesen Biomassen zertifiziert werden.

Werden bei der Neuanlage von Wäldern zunächst dichtere Bestände gepflanzt und diese im Maße des Aufwuchses nach und nach ausgelichtet, so gilt das so entnommene Holz als C-neutraler Input, da durch diese Maßnahme der Aufwuchs der verbleibenden Bäume beschleunigt wird und die Gesamtakkumulation an Kohlenstoff zunimmt.

Erfolgte zur Erzeugung der Biomasse eine mineralische N-Düngung, müssen Emissionen gemäß der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) in die Klimabilanz eingerechnet werden. Alle anderen anbaubedingten THG-Emissionen sind in der Sicherheitsmarge enthalten (vgl. Kapitel 6).

2.5 Holzabfälle

Holzabfälle aus der Forstwirtschaft (z.B. Rinde, Kronen, Äste, Wurzeln), der Holzverarbeitung (z.B. Sägespäne, Verschnitt) sowie rezykliertes Bau- und Nutzholz (z.B. Verschalungen, Paletten, Möbel) gelten als C-neutral. Streng genommen müsste zwar auch bei diesen Holzabfällen sichergestellt werden, dass das für diese Materialien und Abfälle verwendete Holz ursprünglich aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammt, doch ist hier in der Regel keine Rückverfolgbarkeit mehr möglich. Zudem ist es natürlich besser, wenn die Holzabfälle zum Aufbau von C-Senken genutzt werden, anstatt sie zu verbrennen.

2.6 Sonstige biogene Reststoffe

Für die sonstigen auf der EBC-Positivliste geführten Biomassen kann in der Regel C-Neutralität angenommen werden. Dies wird bei der Zertifizierung des C-Senken-Wertes je nach eingesetzter Biomasse noch einmal einzeln betrachtet, so dass je nach Bedarf neue Biomasse-Klassen für die C-Senken Zertifizierung eröffnet werden können.

Gülle und Klärschlamm gewinnen als Biomasse-Einsatzstoffe für die Pyrolyse und damit für die Schaffung von pyrogenen C-Senken zunehmend an Bedeutung. Die EBC-Zertifizierung dieser Ausgangsstoffe ist in Vorbereitung. In der Zwischenzeit können C-Senken-Potenziale auf Basis von Pyrolyseprodukten aus Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen bereits berechnet und zertifiziert werden.

3. Lagerung der Biomassen

Bei zu langer Lagerung von feuchten Biomassen in zu großen Haufen kommt es zu unkontrollierter Selbsterwärmung. Dabei wird die Biomasse, ähnlich wie bei der Kompostierung, mikrobiell abgebaut. Dies führt zum Verlust von Kohlenstoff als CO_2 . Je nach Biomasse und Lagerungsbedingungen kann es auch zu Emissionen von CH_4 und N_2O kommen.

Gerade bei Biomassekraftwerken ist es häufige Praxis, dass die Selbsterwärmung von Holzhackschnitzeln zu deren Trocknung verwendet wird. Ein Review von 14 wissenschaftlichen Studien zum C-Abbau von Holzhackschnitzeln während der Lagerung hat gezeigt, dass je nach Lagerungsbedingungen, Holzart und Holzfeuchtigkeit pro Monat zwischen 0,6 bis 4,3 % des Kohlenstoffs der Biomasse abgebaut werden (Whittaker et al., 2016a, 2016b). Bei Hackschnitzel-Haufen mit einem Volumen von mehr als 1 m^3 führt der biologische Abbau des Holzes zum Verbrauch des Sauerstoffs im Inneren des Haufens, was schließlich zu anaerobem Abbau (Gärung) und damit zu Methan-Emissionen führt. Wie hoch die tatsächlichen Methanemissionen sind, hängt von vielen Faktoren wie der Temperatur, Feuchtigkeit, Volumen des Haufens, Art und Alter des Holzes sowie dessen C:N-Verhältnis ab. Messungen haben gezeigt, dass im Inneren des Haufens bis zu 20% des während der Lagerung freigesetzten Kohlenstoffs als Methan produziert wird (Pier and Kelly, 1997). Allerdings werden laut Jaeckel et al. (2005) zwischen 46% und 98% des im Haufen produzierten Methans, bevor es als Emission in die Atmosphäre austreten kann, in den besser durchlüfteten oberflächennahen Schichten des Haufens von methanotrophen Mikroorganismen abgebaut. Wissenschaftliche Untersuchungen über die tatsächlichen Methanemissionen sind spärlich verfügbar und oft lückenhaft, so dass Verallgemeinerungen hinsichtlich der Lagerungsemissionen von zerkleinertem Holz nur vorsichtig getroffen werden können (Ferrero et al., 2011).

Lagerungsemissionen lassen sich allerdings wirksam vermeiden. Auch wenn dies mit zusätzlichem Aufwand und gegebenenfalls auch Kosten verbunden ist, so hat die Vermeidung von Emissionsverlusten den willkommenen Nebeneffekt weniger Brennwert der Biomasse zu verlieren. Folgende Maßnahmen werden grundsätzlich für die Lagerung von Biomasse empfohlen und würden bei korrekter Umsetzung jegliche Abzüge für Biomasserlagerung bei der Berechnung des C-Senken Potentials vermeiden:

- Holz und anderen Biomassen möglichst nur wenige Tage, maximal vier Wochen vor der Pyrolyse häckseln. Die Lagerung von Stammholz gilt hinsichtlich Methanemissionen als unproblematisch; Grobholz (dünnere Stämme, Äste, Schnittgut, etc.) sind möglichst luftig und ohne Einmischung von Grüngut zu lagern.

- Sofern das zeitnahe Häckseln nicht möglich ist, sollten die Hackschnitzel bzw. die Biomasse möglichst umgehend mit der Abwärme der Pyrolyse getrocknet und mit maximal 20% Restfeuchte trocken (z.B. überdacht) gelagert werden. Bei hinreichender Trockenheit findet kein biologischer Abbau statt bzw. wird dieser stark verlangsamt.
- Die Pelletierung von Biomassen und deren trockene Lagerung führt ebenfalls zu trockenen, stabilen und damit lagerfähigen Biomassen.
- Alternativ können die Hackschnitzel bzw. die Biomassen in kleinen, gut durchlüfteten Behältern wie z.B. Gitterboxen (max. 2 m³) gelagert werden. Dank der ausreichenden Belüftung kann verhindert werden, dass es zu anaerobem Abbau und somit zu Methanemissionen kommt.

Kann keine dieser Empfehlungen umgesetzt werden, muss davon ausgegangen werden, dass es zu wesentlichen Methanemissionen kommt, die nicht von der Sicherheitsmarge abgedeckt sind und daher wie folgt berechnet werden müssen:

Wir berechnen für die Lagerung von feuchten Holzhackschnitzeln und Sägespänen, dass pro Monat 2,5% des Biomasse-Kohlenstoffs abgebaut werden, dass 20% davon als Methan produziert wird, aber 75% des Methans bereits im Lagerungshaufen mikrobiell wieder abgebaut wird. Somit werden pro Monat $(2,5\% * 20\% * 25\% * 14u / 12u =) 0,15\%$ des C-Gehalts der Biomasse als Methan emittiert.

Für die feuchte Lagerung nichtholziger Biomassen wie beispielsweise Stroh, Erntereste, Trester aber auch Hackgut mit erheblichem Anteil Grüngut werden Daten von Methanemissionen bei der ungesteuerten Kompostierung angewendet. Hierbei gelten nach der Methode des IPCC, dass bei vollständiger Kompostierung pro Kilogramm Biomasse (TS) 10 g CH₄-Emissionen entstehen (Pipatti et al., 2006), was rund 1.5% des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs entspricht. Geht man davon aus, dass eine konventionelle Tafelmieten-Kompostierung durchschnittlich 6 Monate dauert (Pier and Kelly, 1997), ergibt sich eine Emissionsrate für Methan von $(1,5\% / 6 =) 0,25\%$.

Damit wird für die Lagerung von Holzhackschnitzeln und Sägespänen mit mehr als 25% Feuchtigkeit für mehr als einen Monat monatliche CH₄-Emissionen von 0,15% des ursprünglichen C-Gehalts und für alle anderen Biomassen von 0,25% des ursprünglichen Biomasse-C-Gehalts angerechnet. Methanemissionen, die möglicherweise bereits während des ersten Monats der Biomasselagerung anfallen, sind durch die allgemeine Sicherheitsmarge von 10% der Gesamt-CO₂eq bereits hinreichend abgedeckt (siehe Kap. 6).

Werden zum Beispiel die als Ausgangsstoff für die Pyrolyse verwendeten Holzhackschnitzel mit einem Wassergehalt von über 25% durchschnittlich zweieinhalb Monate vor der pyrolytischen Verarbeitung auf einem großen Haufen gelagert, so werden CH₄-Emissionen von $(1,5 * 0,15\% =) 0,225\%$ des Gesamt C der eingesetzten Biomasse veranschlagt.

Bei einer jährlichen Verarbeitung von 4000t (TS) Hackschnitzeln mit einem C-Gehalt von 48%, entsprechen die zu veranschlagenden Methanemissionen für eine 2,5-monatige Lagerung ohne vorherige Trocknung folglich ($4000 \text{ t} * 48\% \text{ C} * 0,15\% \text{ CH}_4 * 1,5 \text{ Monate} =$) 4.3 t CH₄, womit ($4.3 \text{ tCH}_4 * 86 \text{ tCO}_2\text{eq/tCH}_4=$) 372 t CO₂eq als THG-Emission für den jährlichen Lagerungseffekt anzurechnen wären.

Bei einer Verarbeitung von 4000t (TS) Weintrester mit einem C-Gehalt von 48%, entsprechen die zu veranschlagenden Methanemissionen für eine 2,5monatige Lagerung ohne vorherige Trocknung folglich ($4000 \text{ t} * 48\% \text{ C} * 0,25\% \text{ CH}_4 * 1,5 \text{ Monate} =$) 7.2 t CH₄, womit ($7.2 \text{ t CH}_4 * 86 \text{ t CO}_2\text{eq/ t CH}_4=$) 619 t CO₂eq als THG-Emission für den jährlichen Lagerungseffekt anzurechnen wären.

Für den Lagerungszeitraum wird nicht nur die Lagerung auf dem Betriebsgelände der Pyrolyseanlage, sondern der gesamte Lagerungszeitraum von der Ernte der Biomasse bzw. von der Übernahme durch einen Biomasseverarbeiter betrachtet. Für Verarbeitung von Trester gilt z.B. als Startzeitpunkt der Lagerung die Entleerung der Weinpresse. Für Holzhackschnitzel gilt der Zeitpunkt des Häckselns. Bei der Kontrolle muss die Logistik der Biomasseaufbereitung und ihres Transportes lückenlos nachvollziehbar sein.

Bei der EBC-Betriebskontrolle wird zudem die Kerntemperatur der vorgefundenen Biomasse gemessen. Bei Temperaturen von mehr als 5°C über Umgebungstemperatur, die nicht z.B. durch tageszeitliche Schwankungen plausibel erklärt werden können, wird für die Berechnung der anfallenden THG-Emissionen die obige Formel angesetzt. Im Betriebshandbuch kann zudem eine betriebsinterne Temperaturüberwachung der gelagerten Biomassen festgelegt werden (z.B. tägliches Messen der Kerntemperatur eines oder mehrerer Biomasselager).

4. Abzüge für produktionsbedingte Emissionen

4.1 Energie- und Treibstoffaufwand für Transport, Bereitstellung der Biomassen, Durchführung der Pyrolyse sowie Nachbehandlung der Pflanzenkohle

Auch wenn bei der Herstellung von Pflanzenkohle in der Regel ein Energieüberschuss produziert wird, da die Pyrolysegase verbrannt und energetisch genutzt werden, so ist für das Betreiben von Pyrolyseanlagen meist auch externe Energie nötig. So wird elektrische Energie für die Steuer- und Regeltechnik sowie das Fördern der Biomassen und Pflanzenkohle benötigt. Je nach Anlagentyp ist zudem (fossiles) Brenngas oder Strom für das Vorheizen der Reaktoren nötig. Bestimmte Anlagentypen produzieren neben Pflanzenkohle auch Pyrolyseöl und Pyrolysegas, verwenden dafür aber elektrische Energie zum Erhitzen der Biomasse, da in dem Fall keine Energie aus Pyrolyseöl und Pyrolysegas gewonnen wird. Zur Berechnung des CO₂-Fussabdrucks der Pyrolyseanlage ist es folglich nötig, dass jede Anlage mit einem eigenen Stromzähler ausgestattet wird.

Auch der Energie- und Treibstoffaufwand für die gesamten Prozesskette von der Bereitstellung der Biomasse bis zur Abfüllung der Pflanzenkohle wird in CO₂eq berechnet und vom C-Senken-Wert der Pflanzenkohle abgezogen. Dies betrifft insbesondere

- (1) den Transport der Biomasse zur Pyrolyseanlage,
- (2) das Zerkleinern, Homogenisieren, Pelletieren und Trocknen der Biomasse,
- (3) Nachbehandlung der Pflanzenkohle (z.B. Mahlen, Pelletieren),
- (4) Transport der Pflanzenkohle zum Abhollager (Werktor).

Bei der Zertifizierung werden für diese einzelnen Schritte der Verbrauch an Strom- und Treibstoff abgefragt. Erzeugt die Pyrolyseanlage im Jahresmittel selbst mindestens so viel Strom, wie in der Produktionsstätte verbraucht wird, so wird ein CO₂eq von Null für den Stromverbrauch angenommen.

Die Menge der Treibstoffe, die für das Beheizen der Pyrolysereaktoren verwendet werden, sind pro Batch anzugeben und werden nach Treibstoffart in CO₂eq umgerechnet (65 t CO₂eq pro TJ (Juhrich, 2016)). Für den Verbrauch von Dieselmotoren für Transport, Häckseler, Trocknung usw. wird der vom deutschen Umweltministerium verwendete Umrechnungsfaktor von 3,2 kg CO₂eq / l Diesel angesetzt (Juhrich, 2016). Die Umrechnung des Stromverbrauchs in CO₂eq erfolgt auf Basis der spezifischen Angaben des vertraglichen Energieversorgers

oder des durchschnittlichen CO₂eq-Werts des regional verwendeten Strommixes. Wird erneuerbare Energie verwendet, so wird ein CO₂eq von Null angenommen.

4.2 Energieüberschüsse

Wenn die Energiebilanz einer Anlage zur Herstellung von Pflanzenkohle positiv ist, d. h., dass messbar mehr elektrische und/oder thermische Energie erzeugt als verbraucht werden, kann die positive Energiebilanz den erneuerbaren Energien als Emissionsminderung bei den entsprechenden Behörden angerechnet werden, aber nicht innerhalb des EBC. Die positive Energiebilanz kann nicht dazu dienen, das C-Senken Potential zu erhöhen oder Emissionen aus der Biomasserebereitstellung zu kompensieren (vgl. Kap. 7).

4.3 Methanemissionen während des Pyrolyseprozesses

Bei der Pyrolyse werden die Pyrolysegase in aller Regel in einem entsprechend ausgelegten Brenner oxidiert. Die vor allem aus CO₂ bestehenden Verbrennungsprodukte werden emittiert. Ist der Pyrolyseprozess sauber eingestellt und der Gasbrenner von hoher Qualität, so können die Schadstoffe im Abgasstrom sehr gering gehalten werden. Hinsichtlich der Klimabilanz ist hier insbesondere der Ausstoß von Methan (CH₄) relevant. Die anderen Verbrennungsprodukte des Pyrolysegases wie CO, NO_x, SO_x, PM usw. sind zwar ebenfalls schädlich für die Umwelt, haben aber laut IPCC keinen eindeutigen zu bewertenden Treibhausgaseneffekt (IPCC, 2013) und werden daher für die Berechnung des C-Senken Potentials zumindest vorläufig nicht herangezogen.

Wie in Kapitel 1.2 dargelegt, wird für die Umrechnung des Klimaerwärmungseffekts von Methan das GWP₂₀ mit dem Faktor 86 angerechnet. Innerhalb der ersten 20 Jahre nach der Emission ist die klimaerwärmende Wirkung von Methan folglich 86mal größer als die von CO₂ im gleichen Zeitraum.

Aufgrund dieses sehr hohen GWP₂₀ von Methan (vgl. Kap. 1.2) haben bereits sehr kleine Methanemissionen während des Pyrolyseprozesses großen Einfluss auf die Klimabilanz der Pflanzenkohle. Bei Pyrolyseanlagen ohne gesteuerte Nachverbrennung der Pyrolysegase (z.B. Kon-Tiki oder traditionelle Kohlemeiler) kann der Klimaerwärmungseffekt der Methanemissionen in den ersten 20 Jahren den klimapositiven Effekt der Pflanzenkohle sogar übersteigen. Aus diesem Grund ist es von besonderer Bedeutung, die Methanemissionen systematisch zu kontrollieren und zu reduzieren.

Kasten 4: Berechnungen des Kohlenstoff-Aufwands der Pyrolyse

Beispiel zur Berechnung des Kohlenstoff-Aufwands der Pyrolyse (Fortsetzung)

6. Bei einer Jahresproduktion von 500 t Pflanzenkohle (Trockensubstanz = TS) mit einem Kohlenstoffgehalt von 75.0% werden 50.000 kWh **Elektrizität zum Betreiben der Pyrolyseanlage** verbraucht. Der lokale Strommix emittiert 450 g CO₂eq pro kWh. Somit beträgt der Kohlenstoffaufwand für den Stromverbrauch $50.000 \text{ kWh} * 0,45 \text{ kg CO}_2\text{eq kWh}^{-1} = 22,5 \text{ t CO}_2\text{eq}$ pro Jahr. Umgerechnet auf eine Tonne Pflanzenkohle ergibt dies $(22,5 \text{ t CO}_2\text{eq} / 500 \text{ t}) = 45,0 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{t}$ Pflanzenkohle.
7. Die Emissionsmessung der Pyrolyse ergeben für 7000 Betriebsstunden einen Methananteil von 10 ppm ($6,6 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-3}$) im Abgas bei einem Volumenstrom 1500 m^3 pro Stunde. Somit ergeben sich für die Charge **Methanemissionen** von $1500 \text{ m}^3/\text{h} * 7000 \text{ h} * 6,6 \text{ mg CH}_4 / \text{m}^3 = 69,3 \text{ kg CH}_4$. Unter Verwendung des GWP20 von 86 CO₂eq für Methan ergibt sich ein Kohlenstoffaufwand von $11,9 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ pro t Pflanzenkohle (TS) ergibt.
8. Zum **Vorheizen der Pyrolysereaktoren** werden pro Jahr 5 t Flüssiggas (LPG) mit einem CO₂eq von $3 \text{ t CO}_2\text{eq} / \text{t}$ verbraucht. Dies ergibt einen Kohlenstoffaufwand von $15 \text{ t CO}_2\text{eq}$ pro Jahr bzw. $30,0 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ pro t Pflanzenkohle (TS).
9. Der **Gesamtkohlenstoffaufwand** für die Pyrolyse wird von $(45,0 \text{ kg} + 11,9 \text{ kg} + 30,0 \text{ kg}) = 86,9 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ in $(86,9 \text{ kg CO}_2\text{eq} / 44\text{u} * 12\text{u}) = 23,7 \text{ kg C}$ pro t Pflanzenkohle (TS) umgerechnet. Dies ergibt $(23,7 \text{ kg C} \text{ pro } 1000 \text{ kg Pflanzenkohle}) = 2,4$ Massenprozent.
10. Einschließlich des Kohlenstoffaufwands für die Bereitstellung der Biomasse (siehe Kasten 3) ergibt sich somit ein **C-Senken Potential** der Pflanzenkohle ab Werktor von $75,0\%$ (C-Gehalt) - $5,3\%$ (Biomasse-Aufwand) - $2,4\%$ (Pyrolyseaufwand) = **67,3%**.
11. Ein **Bigbag** mit 381 kg Pflanzenkohle und einem Wassergehalt von 25% hätte demnach ein **C-Senken Potential** von $(381 \text{ kg} * (1-25\%) * 67,3\%) = 192,3 \text{ kg}$ Kohlenstoff bzw. $(192 \text{ kg} * 44\text{u} / 12\text{u}) = 705 \text{ kg CO}_2\text{eq}$.

Die Messung von Methanemissionen unter 5 ppm sind technisch allerdings sehr aufwändig. Eine kontinuierliche Messung über ein ganzes Produktionsjahr würde Kosten verursachen, die deutlich über den prognostizierten Einnahmen für den Aufbau von C-Senken lägen. Da folglich die Emissionen von Einzelanlagen schlecht überwacht werden können und wenige Einzelmessungen möglicherweise nicht repräsentativ genug sind, wurde zur Bewertung der Klimabilanz von Pyrolyseanlagen eine Typenzertifizierung eingeführt.

Um eine Typenzertifizierung durchzuführen, müssen mindestens drei weitestgehend baugleiche Pyrolyseanlagen eines Herstellers im Praxisbetrieb stehen. Von diesen mindestens drei Anlagen müssen mindestens je zwei unabhängige, staatlich akkreditierte

Emissionsmessungen incl. CH₄ oder C_xH_x vorliegen. Aus diesen Messungen wird ein statistischer Mittelwert mit Standardabweichung berechnet. Als durchschnittliche Methanemission dieses Anlagentyps gilt dann der Mittelwert zuzüglich einer Standardabweichung. Liegen die Messergebnisse für Methan oder C_xH_x sämtlich unter der Bestimmungsgrenze der verwendeten Messgeräte, so wird der Wert der Bestimmungsgrenze als durchschnittliche Methanemission angenommen. Die in die Berechnung eingehenden Methanemissionen sind somit höher als der ermittelte Durchschnitt, weisen damit aber eine ausreichend hohe Sicherheitsmarge aus, um etwaige Emissionsspitzen z.B. im An- und Abfahrbetrieb abzudecken. Die Messwerte für Methanemissionen werden in ppm des Abgases angegeben und über den Abgasstrom pro Masseneinheit Biomasse-Input in g CH₄ pro t Pflanzenkohle umgerechnet.

Auf Antrag können auch individuelle Messungen der Methanemissionen einzelner Anlagen anerkannt werden. Dazu muss vorab eine detaillierte Mess-Strategie mit genauen Angaben zur Messtechnik, Messintervallen und Messgenauigkeit zur Prüfung vorgelegt werden.

5. Pflichtangaben für die Zertifizierung des C-Senken Potentials

Ist eine Pyrolyse-Anlage nach dem EBC C-Senken Standard zertifiziert, muss die physische Ware, d.h. die Pflanzenkohle folgende Pflichtangaben auf der Verpackung und dem Lieferschein aufweisen:

1. Einen QR-Code, der auf die spezifischen Produktinformationen auf der EBC-Webseite verweist, wo die wichtigsten Analysedaten der entsprechenden Pflanzenkohle-Charge aufgeführt sind. Auf dieser Seite wird auch das C-Senken Potential hinterlegt. Durch die EBC-Zertifizierung, die der C-Senken Zertifizierung in der Regel vorausgeht, muss dieser QR-Code ohnehin auf jeder Verpackungseinheit aufgedruckt sein.
2. Da sich das C-Senken Potential auf die wasserfreie Pflanzenkohle bezieht, muss für **jede** Verpackungseinheit auch das Trockengewicht der enthaltenen Pflanzenkohle angegeben werden. Das Trockengewicht ist die Masse der Trockensubstanz und wird auf 1 kg gerundet angegeben.

5.1 Werkseitige Ermittlung des Trockengewichts

Der Wassergehalt von Pflanzenkohle kann beim Verkauf oder auch bereits direkt am Austrag der Pyrolyse-Anlage erheblichen Schwankungen unterliegen. Gründe dafür können eine schwankende Intensität des Ablöschens am Austrag, die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit oder Lufttrocknung sein. Daher kann das C-Senken Potential nicht einfach auf Basis des Frischgewichts (feuchte Masse) der Pflanzenkohle und dem einmal pro Charge ermittelten Trockensubstanzgehalt des EBC-akkreditierten Labors bestimmt werden.

Auch die Schüttdichte kann innerhalb einer Charge schwanken, vor allem durch Variationen bei der Partikelgrößenverteilung der pyrolysierten Biomassen sowie durch Abrieb beim Umschütten und Transport der Pflanzenkohle. Damit ist auch eine volumetrische Bestimmung des Trockengewichts der produzierten Pflanzenkohle nicht zielführend.

Somit ist die zuverlässige und regelmäßige Bestimmung des Trockensubstanzgehalts (TS-Gehalt) eine Grundbedingung, um das Trockengewicht und damit das C-Senken Potential einer Verpackungseinheit Pflanzenkohle angeben zu können. Für die Produzenten von Pflanzenkohle stellt es einen erheblichen Aufwand dar, welcher aber unvermeidbar ist, um die Überprüfbarkeit und damit das Vertrauen in diese C-Senken Methode nicht zu gefährden.

Dazu werden für jede Untermenge von maximal 10 m³ Pflanzenkohle mittels eines Bohrstocks mindestens 20 Einzelproben entnommen, die vereint mindestens 10 Liter Pflanzenkohle

ergeben. Die Einzelproben können entweder aus einem gesammelten Haufen oder Container von max. 10 m³ Pflanzenkohle oder aus jedem einzelnen von mehreren Bigbags von insgesamt max. 10 m³ Pflanzenkohle entnommen werden. Die Mischprobe wird sodann mittels einer Waage mit einer Präzision von mindestens 1 Gramm gewogen. Daraufhin wird die Pflanzenkohle für mindestens 16 Stunden bei 110 °C getrocknet und dann wieder gewogen. Das Wiegen muss unverzüglich (max. 1 Minute) nach der Entnahme aus dem 110 °C heißen Trockenschrank erfolgen, da sonst erneut Feuchtigkeit auf der Pflanzenkohle kondensieren kann und dies das Ergebnis verfälscht. Entsprechende Schutzhandschuhe sind bereitzustellen. Diese Methode ist eine Vereinfachung gegenüber den üblichen DIN 51718 und ISO 589, die ebenso befolgt werden dürfen, und entspricht deren Grundsätzen unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften von Pflanzenkohle.

Der Trockensubstanz-(TS)-gehalt wird durch Division des Gewichts nach dem Trocknen mit dem Gewicht vor dem Trocknen berechnet.

$$TS [\%] = \frac{\text{Gewicht nach dem Trocknen}}{\text{Gewicht vor dem Trocknen}}$$

Werden zum Beispiel Bigbags mit jeweils 1,3 m³ abgefüllt, dürfen maximal 7 Bigbags für eine Probenahme zusammengefasst werden, d.h. in jedem der 7 Bigbags werden jeweils mindestens drei Einstiche mit dem Bohrstock vorgenommen. Alle 7x3 Teilproben werden dann zusammengeführt und wie oben beschrieben gewogen, getrocknet und dann erneut gewogen. Wenn die 10 Liter Probe vor dem Trocknen 3,057 kg wiegt und nach dem Trocknen 2,139 kg, liegt ein TS-Gehalt von (2,139 kg / 3,057 kg =) 69,970% vor, der für die weiteren Berechnungen Anhand der ersten Dezimale auf volle Prozent gerundet wird (hier: 70%). Der so ermittelte TS-Gehalt muss dann jeweils mit dem einzeln ausgewogenen Gewicht eines jeden Bigbag multipliziert werden (siehe Beispiel in Tabelle 1). So ergibt sich das jeweilige Trockengewicht jedes einzelnen Bigbags, womit sodann jeder einzelne Bigbag oder andere Verpackungseinheit zu beschriften ist. Wiegt ein Bigbag zum Beispiel 200 kg (Frischgewicht, Nettogewicht) und hat einen ermittelten TS-Gehalt von 70%, so beträgt das Trockengewicht (200 kg * 70% =) 140 kg. Es wird auf ganze Kilogramm gerundet.

Für die beschriebene TS-Bestimmung über die Trocknung einer repräsentativen Probe braucht es einen ausreichend großen Trocknungsofen und eine ausreichend genaue Waage, gleichwohl ist der Aufwand für 10 m³ oder 7 Bigbags überschaubar. Das Wiegen der Bigbags erfolgt möglichst zeitgleich, auf jeden Fall aber am gleichen Tag mit der Probenahme.

Abweichungen vom hier beschriebenen Vorgehen können im EBC-Betriebshandbuch geregelt werden, wenn z.B. das Trockengewicht über eine abweichende Methode bestimmt

werden soll. Kann ein Betrieb nachweisen, dass das Trockengewicht über längere Zeiträume und Produktionsmengen sich um nicht mehr als $\pm 2\%$ ändert, können größere Abstände zwischen den Messungen vorgesehen werden. Wird Pflanzenkohle mit einer Korngröße von über 30 mm produziert, muss das Volumen der Teilproben erhöht werden.

Seriennummern der Bigbags	Volumen	Gewogenes Gewicht	TS-Gehalt	Trockengewicht
Bigbag 2020-490	1,3 m ³	195 kg	70%	137 kg
Bigbag 2020-491		200 kg		140 kg
Bigbag 2020-492		200 kg		140 kg
Bigbag 2020-493		210 kg		147 kg
Bigbag 2020-494		195 kg		137 kg
Bigbag 2020-495		200 kg		140 kg
Bigbag 2020-496		200 kg		140 kg

Tab. 1: Beispiel für Berechnung des Trockengewichts einer Serie von sieben Bigbags.

6. Sicherheitsmarge

Bei Klimabilanzen unterscheidet man die zu erfassenden Emissionen üblicherweise in Scope 1 (direkte Emissionen am Produktionsstandort, hier z.B. Verbrennung des Pyrolysegases, Methanemissionen bei der Biomasselagerung, Verbrennung von Erdgas zur Vorheizung der Reaktoren), Scope 2 (indirekte Emissionen aus von außen bezogener Energie, hier vor allem elektrischer Strom) und Scope 3 (weitere indirekte Emissionen, hier z.B. Herstellung der zugekauften Biomassen und Transport). Für das EBC C-Senken Potential werden die Emissionen aus Scope 1 und 2 sowie aus Scope 3 die Emissionen aus der Erzeugung der Biomasse und deren Transport vollständig erfasst. Weitere indirekte Emissionen aus Scope 3 werden auf Grund ihres vergleichsweise geringen Umfangs nicht einzeln quantifiziert, sondern über eine pauschale Sicherheitsmarge berechnet. Dies betrifft z.B. die Emissionen aus folgenden Bereichen:

- Herstellung und Entsorgung von Bigbags aus Polypropylen,
- Strom für den Betrieb und die Kühlung der betriebsexternen Computer-Server,
- Mögliche Methanemissionen während des ersten Monats der Lagerung der verwendeten Biomassen,
- Treibstoffverbrauch der Mitarbeiter für den Arbeitsweg sowie für Dienstreisen,
- Aktivitäten der Marketingabteilung incl. Messen und Tagungsteilnahmen,
- Betrieb der Kettensägen oder Harvester beim Fällen und Schälen von Bäumen sowie für das Ausgraben der Wurzeln,
- Emissionen aus Maschinenkraftstoffen bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen und Pflanzenschutzmaßnahmen,
- die Treibhausgase, die bei der Erzeugung der in der Kantine servierten Lebensmittel verursacht worden
- Herstellung, Wartung, Reparatur und Entsorgung der Pyrolyseanlagen, der Transportfahrzeuge, der Lagerhallen und sonstige Maschinen.

Es gibt viele kleine, indirekte Emissionen, die bei der Erstellung einer perfekten Klimabilanz in Scope 3 einbezogen werden müssen. Verglichen zum Gesamtaufwand an CO₂eq (Scope 1 & 2 sowie die Bereitstellung der Biomassen in Scope 3) und zur riesigen Menge der in den Biomassen akkumulierten Mengen an Kohlenstoff spielen die in Scope 3 verbleibenden indirekten Emissionen nur eine sehr kleine Rolle. Um all diese nicht direkt quantifizierten THG-Emissionen nicht zu unterschlagen und transparent abzubilden, wird eine pauschale Sicherheitsmarge festgelegt. Diese beträgt für alle Hersteller von Pflanzenkohle 10% der vom C-Senkenwert abgezogenen Gesamtemissionen der Pflanzenkohle-Produktion und wird auf 0,1 Prozentpunkte gerundet. Es handelt sich hierbei um eine hohe, aber branchenübliche Anrechnung der inhärenten Unsicherheit des

Gesamtprozesses, mit dem die EBC sicher gehen kann, den Zertifizierungsprozess schlank und effizient zu halten, ohne Emissionen zu unterschlagen.

Wenn sich also für die Bereitstellung der Biomasse (5,3% - siehe Kasten 3) und für den Pyrolyseprozess (2,4% - siehe Kasten 4) insgesamt ein THG-Aufwand von 7,7% des C-Gehaltes der produzierten Pflanzenkohle ergibt, so beträgt die Sicherheitsmarge für die im System nicht quantifizierten indirekten Emissionen ($10\% * 7,7\% =$) 0,8 % des C-Gehaltes der Pflanzenkohle und wird entsprechend zusätzlich vom C-Senken Wert abgezogen.

7. Klimaneutrale Energie

Bei der Bestimmung des C-Senken Potentials wird der gesamte Aufwand an Treibhausgasen, der bei der Herstellung der Biomasse, ihrer Lagerung und der Pyrolyse bis hin zur Abfüllung der Pflanzenkohle verursacht wird, als CO₂eq erfasst und die entsprechende Menge Kohlenstoff vom C-Gehalt der der Pflanzenkohle abgezogen. Dies bedeutet, dass alle weiteren Produkte des Pyrolyseprozesses (Pyrolyseöl, Pyrolysegas bzw. die daraus gewonnene Wärmeenergie und Strom) als klimaneutral anzusehen sind, da sämtliche THG-Emissionen ja bereits mit der Pflanzenkohle abgerechnet wurden. Die gesamte Energie, die bei der Pyrolyse als Wärme oder Strom erzeugt wird, ist somit vollständig klimaneutral.

Der Europäische Emissionshandel (EU-ETS), über den CO₂-Emissionsrechte (European CO₂ Emission Allowances) gehandelt werden, geht ebenso wie die meisten Plattformen zur freiwilligen CO₂-Kompensation davon aus, dass fossile Energie durch klimaneutrale Energie ersetzt und damit indirekt CO₂-Emissionen vermindert werden. Auf Basis dieser im Kyoto Protokoll ebenso wie im Paris Klimavertrag verankerten Überlegung werden für die Erzeugung klimaneutraler Energien CO₂-Zertifikate generiert, mit denen Firmen oder auch Privatpersonen ihre Emissionen kompensieren können, also quasi Klimaverschmutzungsrechte erlangen. Man erhofft sich dadurch einen marktwirtschaftlichen Hebel, um fossile Energie teurer und klimaneutrale Energie billiger zu machen, um damit insgesamt die Emissionen zu reduzieren.

Damit gibt es einen fundamentalen Unterschied zwischen C-Senken und Emissionsreduktionen/Verschmutzungsrechte. C-Senken, wie sie durch Herstellung und Applikation von Pflanzenkohle erzeugt werden, haben der Atmosphäre aktiv CO₂ entzogen und im terrestrischen System langfristig gespeichert. Diese Klimadienleistung ist dokumentiert und kann auf verschiedene Wege auch physikalisch nachgeprüft werden. Die Erzeugung klimaneutraler Energie vermeidet lediglich Emissionen gegenüber einem Referenzszenario, z.B. einem Kohlekraftwerk oder einer Ölfeuerung. Nur durch ein solches Referenzszenario kann der Umfang der Emissionsreduktion und damit ihr monetärer Wert ermittelt werden, physikalisch kann sie nicht gemessen werden. Der CO₂-Gehalt der Atmosphäre wird durch die Erzeugung von klimaneutraler Energie also nicht geringer, sondern sorgt im besten Fall dafür, dass nicht noch mehr vom Menschen verursachte Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen.

Aus den dargelegten Gründen generiert das EBC ausschließlich Zertifikate für C-Senken Potentiale, aber keine CO₂-Zertifikate für die Erzeugung klimaneutraler Energie. Über das EBC wird also einzig die Menge des Kohlenstoffs zertifiziert, die effektiv und jederzeit messbar der Atmosphäre entzogen wurde.

Im EBC Zertifikat wird gleichwohl die Menge an klimaneutral erzeugter thermischer und elektrischer Energie in MWh pro Jahr ebenso wie ggf. die Menge an produzierten Pyrolyseölen in t (TS) pro Jahr angegeben.

8. Verwendung und Handel des C-Senkenwerts durch akkreditierte Makler und Plattformen

Das C-Senken Potential des EBC-Zertifikates ist die Voraussetzung für die Erzeugung von C-Senken Zertifikaten, bildet aber zunächst nur den Status der C-Senke am Werkort ab. Von dem Moment an, wo ein mit Pflanzenkohle gefüllter Container oder sonstiges Gebinde das Fabrikgelände verlässt, kann mit der Pflanzenkohle noch viel geschehen, was das C-Senken Potential reduziert oder komplett schwinden lässt. Wenn beim Transport der Pflanzenkohle fossile Treibstoffe verbrannt oder beim Pelletieren oder anderer Weiterverarbeitung Strom verbraucht wird, so reduziert sich das C-Senken Potential um die dabei verursachten Treibhausgasemissionen. Wird die Pflanzenkohle z.B. als Holzkohle verbrannt, zu Aktivkohle verarbeitet oder als Reduktionsmittel in der Stahlherstellung verwendet, gelangt ein wesentlicher Anteil des Kohlenstoffs zurück in die Atmosphäre. Daher gilt, dass erst wenn die Pflanzenkohle schließlich im Boden oder in dauerhaften Materialien eingebunden ist, kann auch davon ausgegangen werden, dass die C-Senke langfristig berechenbar und kontrollierbar erhalten bleibt.

Um ein vollwertiges C-Senken Zertifikat zu erzeugen, wird zusätzlich zum EBC-Senken-Potential ein akkreditiertes Tracking-System benötigt, das sämtliche Kohlenstoffverluste vom Werkort bis zur Einbringung in den Boden oder in ein langfristig beständiges Material sowie sämtliche dabei verursachten Treibhausgasemissionen erfasst und vom zertifizierten C-Senken Potential abzieht. Das vom EBC zu akkreditierende Tracking-System kann von C-Senken Maklern und Handelsplattformen entwickelt und implementiert werden. Dabei können Pflanzenkohle-Hersteller auch selbst als C-Senken Makler auftreten. Hierbei sind die folgenden grundlegenden Prinzipien zu beachten:

- 1) Solange die Verpackungseinheit verschlossen und geschützt auf dem Fabrikgelände gelagert ist, bleibt das C-Senken Potential unverändert erhalten.
- 2) Jedwede Emission von Treibhausgasen, welche beim Transport, bei der Weiterverarbeitung (z.B. Mahlen, Mischen) sowie bei der Einbringung in eine finale Lagerstätte (z.B. Boden, Beton, Asphalt o.ä.) nach Verlassen des Werkorts des EBC zertifizierten Pflanzenkohle-Herstellers anfällt, muss vom C-Senken Potenzial abgezogen werden.
- 3) Als finale Lagerstätte gilt bereits die Einbringung in Substrate wie Kompost, Einstreu, Futtermittel, Dünger oder Zement, Sand, Lehm und Kalk, da auf diese Weise eine Verbrennung der Pflanzenkohle und damit der Verlust des Kohlenstoffs praktisch ausgeschlossen werden kann. Das EBC wird dazu eine verbindliche Positivliste möglicher Zielmaterialien und Anwendungen veröffentlichen, die auf Antrag und nach entsprechender Prüfung erweitert werden kann.

- 4) Um etwaige Doppelzertifizierungen zu verhindern, sollte der finale Ort und der Besitzer des Ortes, an dem die C-Senke angelegt wird, registriert werden. Idealerweise würde dies in einem zu schaffenden zentralen C-Senken Register geschehen. Dies gilt sowohl für landwirtschaftliche Applikationen (hier müsste die konkrete, per GPS zu erfassenden Landfläche, in der die Pflanzenkohle bzw. das pflanzenkohle-haltige Substrat eingebracht wurde) als auch für die Materialanwendung (hier müsste das konkrete Haus mit Adresse bzw. GPS-Daten erfasst werden). Die Erfassung des Ortes und des Ortsbesitzers der C-Senke ist sowohl wichtig für eine nachträgliche Kontrolle (z.B. Messung des Pflanzenkohlegehaltes eines Bodens) als auch für eine Vergütung der Klimadienstleistung des Ortsbesitzers durch die Pflege und Bewahrung der C-Senke (z.B. C-schonende Bewirtschaftung des Bodens, Pflege des Hauses).
- 5) Sofern die Registrierung des Ortes und des Ortsbesitzers der C-Senke nicht möglich oder praktikabel ist, die Pflanzenkohle aber dennoch nachgewiesenermaßen in eine Matrix eingebracht wurde, die eine Verbrennung ausschließt (z.B. Kompost, Biogasgülle, Zement etc., siehe oben), handelt es sich um **eine diffuse C-Senke**, deren örtlicher Verbleib nicht überprüft werden kann. Gleichwohl kann davon ausgegangen werden, dass der so eingebrachte Kohlenstoff als terrestrische C-Senke verbleibt. Dabei besteht jedoch die grundsätzliche Gefahr einer Doppelzertifizierung, insbesondere durch die Zertifizierung von organischer Bodensubstanz („Humuszertifikate“), da Pflanzenkohle mit den üblichen Messmethoden ebenfalls als Bodenkohlenstoff quantifiziert wird. Solange es jedoch noch keine offiziellen Humuszertifikate gibt und der Einsatz der derzeit üblichen Mengen von maximal 2 t Pflanzenkohle pro Hektar und Jahr mit den üblichen Methoden zur Messung des Bodenkohlenstoffs erst nach mehreren Jahren als Zunahme der organischen Substanz gemessen werden könnten, ist das Risiko von Doppelzertifizierungen als derzeit sehr gering einzuschätzen.
- 6) In der vorliegenden Version 2.1 der EBC-Richtlinien zur Zertifizierung von C-Senken wird die geographische Lokalisierung der C-Senken noch nicht verpflichtend geregelt und auch kein qualitativer Unterschied zwischen diffusen und lokalisierten C-Senken gezogen. Die Trackingsysteme der wenigen, bisher existierenden Makler und Händler von C-Senken sind darauf noch nicht vorbereitet, auch weil über die theoretischen und technischen Grundlagen noch kein hinreichender Konsens besteht. Das EBC legt daher für die Umsetzung der geographischen Lokalisierung der C-Senken zunächst eine Übergangszeit bis Juni 2022 fest.
- 7) Sofern eine Verpackungseinheit Pflanzenkohle oder ein pflanzenkohle-haltiges Produkt gehandelt wird, dessen C-Senken-Wert bereits verkauft bzw. gehandelt wurde, so ist auf der Verpackung und dem Lieferschein darauf hinzuweisen, dass der

C-Senkenwert der Pflanzenkohle bereits kompensiert wurde und das Produkt somit nicht mehr als C-Senke oder CO₂-Zertifikat deklariert oder gehandelt werden kann. Dieser Hinweis sollte zumindest durch den Aufdruck des EBC-registrierte Siegels: „Carbon Sink Registered“ erfolgen.



- 8) Das Recht zur Verwendung des EBC-Siegels „Carbon Sink Registered“ wird durch die Registrierung der entsprechenden C-Senke durch einen EBC-akkreditierten C-Senken Händler erworben.
- 9) Wenn zum Beispiel ein Landwirt 10 m³ Pflanzenkohle erwirbt, dessen C-Senken Wert bereits vom Händler oder Hersteller an einen C-Senken Makler verkauft wurde, so kann der Landwirt nicht nochmals den C-Senkenwert der gekauften Pflanzenkohle verwenden, um zum Beispiel die Emissionen seiner Kartoffelproduktion oder seiner Tierhaltung zu kompensieren und die Kartoffeln als klimapositiv bewerben. Der Käufer von Pflanzenkohle ohne C-Senkenwert muss daher entsprechend informiert werden, da es sich ansonsten um Produktschwindel handeln würde.
- 10) Der Lebenszyklus der finalen Lagerstätte bzw. der Abbau der Pflanzenkohle in der finalen Lagerstätte muss einberechnet werden. Bei der Einbringung in Böden oder der Mischung in Substrate und Futtermittel, die schließlich in landwirtschaftliche oder urbane Böden eingebracht werden, muss die jährliche Abbaurate der Pflanzenkohle entsprechend des H/C_{org}-Verhältnisses der Pflanzenkohle angesetzt werden (Camps-Arbestain et al., 2015; IPCC, 2019) und mindestens 0,3% betragen. Auf diese Weise kann die jährliche Entwicklung des C-Senkenwerts auch über längere Zeiträume von 100 oder 250 Jahre angegeben bzw. in Jahrestrenchen gehandelt werden.
- 11) Bei der Einbindung von Pflanzenkohle in industrielle Materialien wie Kunststoffe oder Asphalt muss durch geeignete Überwachungsmethoden (z.B. elektronisches Tracking, Satelliten oder auch statistisch abgesicherte Durchschnittswerte für die Lebensdauer) sichergestellt werden, welcher Anteil des pflanzenkohlehaltigen Materials weiterhin in Verwendung befindet und nicht durch Verbrennung in CO₂ umgewandelt wurde. Aus diesen Daten ist eine entsprechende Abbaurate zu formulieren.

12) Für die Einbindung in Baumaterialien wie Beton, mineralische Putze, Gips oder Lehm kann von einer dauerhaften Senke ausgegangen werden, da das Baumaterial eine Verbrennung unmöglich macht, thermische Abfallbehandlung nicht vorgesehen ist und damit weit besser als der Boden vor biologischem und chemischem Abbau schützt. Für Zeiträume von 100 – 250 Jahren muss hierfür keine Abbaurrate in Betracht gezogen werden.

Um sicher zu stellen, dass das Trackingsystem lückenlos funktioniert und dass beim Handel von C-Senken auf Jahresbasis stets nur die Menge einer C-Senke als Klimadienstleistung verkauft wird, die auch tatsächlich unter Abzug aller THG-Verluste als C-Senke Bestand hat, hat das EBC eine Akkreditierung von C-Senken Händlern und Handelsplattformen eingeführt.

Herstellern von Pflanzenkohle wird empfohlen, die EBC zertifizierten C-Senkenwerte nur an EBC akkreditierte C-Senken Händler zu verkaufen. Nur so kann garantiert werden, dass nur die Menge Kohlenstoff als Senke zertifiziert und verkauft wird, die tatsächlich in Form von CO₂ aus der Atmosphäre entzogen wurde.

Selbstverständlich kann sich ein Pflanzenkohle-Hersteller auch selbst als C-Senken Händler akkreditieren lassen und somit CO₂-Zertifikate zum Beispiel an Landwirte oder Bauunternehmer oder an Dritte verkaufen bzw. eigene Emissionen kompensieren.

9. Literaturangaben

- Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D.J., Williams, A.G., 2009. Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use.
- Budai, A., Zimmerman, A.R., Cowie, A.L., Webber, J.B.W., Singh, B.P., Glaser, B., Masiello, C.A., Andersson, D., Shields, F., Lehmann, J., Camps Arbestain, M., Williams, M., Sohi, S., Joseph, S., 2013. Biochar carbon stability test method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability'.
- Camps-Arbestain, M., Amonette, J.E., Singh, B., Wang, T., Schmidt, H.-P., 2015. A biochar classification system and associated test methods, in: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management*. Routledge, London, pp. 165–194.
- Cao, Y., Wang, X., Bai, Z., Chadwick, D., Misselbrook, T., G. Sommer, S., Qin, W., Ma, L., 2019. Mitigation of ammonia, nitrous oxide and methane emissions during solid waste composting with different additives: A meta-analysis. *J. Clean. Prod.* 235, 626–635. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.288>
- EU-Parlament, 2018. Verordnung (EU) 2018/841 über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft in den Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030. Brüssel.
- Ferrero, F., Malow, M., Noll, M., 2011. Temperature and gas evolution during large scale outside storage of wood chips. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 69, 587–595. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0512-0>
- IPCC, 2019. Method for estimating the change in mineral soil organic carbon stocks from biochar amendments: basis for future methodological development, in: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, p. Ap4.1.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge. ed. Cambridge.
- Jaeckel, U., Thummes, K., Kaempfer, P., 2005. Thermophilic methane production and oxidation in compost. *FEMS Microbiol. Ecol.* 52, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.11.003>
- Juhrich, K., 2016. *CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Berlin.
- Kuzyakov, Y., Bogomolova, I., Glaser, B., 2014. Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ¹⁴C analysis. *Soil Biol. Biochem.* 70, 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.021>
- Lehmann, J., Abiven, S., Kleber, M., Pan, G., Singh, B.P., Sohi, S.P., Zimmerman, A.R., 2015. Persistence of biochar in soil, in: Lehmann, Johannes, Joseph, S.D. (Eds.), *Biochar for Environmental Management*. Routledge, London, pp. 235–299.
- Myrhe, G.D., Chindell, F.-M., Bréon, W., Collins, J., Fuglestedt, J., Huang, D., Koch, J.-F., Lamarque, D., Lee, B., Mendoza, T., Nakajima, A., Robick, G., Stephens, T., Takemura, T., Zhang, H., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing, in: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA.

- Pier, P.A., Kelly, J.M., 1997. Measured and estimated methane and carbon dioxide emissions from sawdust waste in the Tennessee Valley under alternative management strategies. *Bioresour. Technol.* 61, 213–220. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00064-3)
- Pipatti, R., Silva Alves, J., et al., 2006. Biological treatment of solid waste, in: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory.
- Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., Li, Yiju, Kuang, Y., Li, Yongfeng, Quispe, N., Yao, Y., Gong, A., Leiste, U.H., Bruck, H.A., Zhu, J.Y., Vellore, A., Li, H., Minus, M.L., Jia, Z., Martini, A., Li, T., Hu, L., 2018. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554, 224–228. <https://doi.org/10.1038/nature25476>
- Whittaker, C., Macalpine, W., Yates, N.E., Shield, I., 2016a. Dry Matter Losses and Methane Emissions During Wood Chip Storage: the Impact on Full Life Cycle Greenhouse Gas Savings of Short Rotation Coppice Willow for Heat. *BioEnergy Res.* 9, 820–835. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9728-0>
- Whittaker, C., Yates, N.E., Powers, S.J., Misselbrook, T., Shield, I., 2016b. Dry Matter Losses and Greenhouse Gas Emissions From Outside Storage of Short Rotation Coppice Willow Chip. *BioEnergy Res.* 9, 288–302. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9686-y>
- Zhang, W.-F., Dou, Z.-X., He, P., Ju, X.-T., Powlson, D., Chadwick, D., Norse, D., Lu, Y.-L., Zhang, Y., Wu, L., Chen, X.-P., Cassman, K.G., Zhang, F.-S., 2013. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 8375–8380. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210447110>
- Zimmerman, A.R., Gao, B., 2013. The Stability of Biochar in the Environment, in: Ladygina, N., Rineau, F. (Eds.), *Biochar and Soil Biota*. Boca Raton, pp. 1–40.