



Richtlinien

European Biochar Certificate

für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Version 9.0G – Stand 15.04.2020

Bitte zitieren als:

EBC (2012) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle', Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 9.0G vom 15. April 2020, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

Impressum

Die EBC-Richtlinien gelten seit 1. Januar 2012 und sind Grundlage für die Zertifizierung von Pflanzenkohle durch das unabhängige, staatlich akkreditierte Kontrollorgan q.inspecta.

Hans Peter Schmidt*, Ithaka Institute

Samuel Abiven, Universität Zürich

Thomas Bucheli, Agroscope Zürich

Bruno Glaser, Universität Halle

Claudia Kammann, Universität Geisenheim

Jens Leifeld, Agroscope

Nikolas Hagemann, Ithaka Institute

* korrespondierender Autor: schmidt@ithaka-institut.org

Alle Rechte vorbehalten.

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

Copyright: © 2012 Ithaka Institute

Inhaltsverzeichnis

1. Ziel der Richtlinien und Zertifizierung
2. Definition von Pflanzenkohle [und Einführung der EBC-Anwendungsklassen](#)
3. Eingesetzte Biomasse
4. [Definition von Pflanzenkohle-Chargen und die Einsendung von Analyseproben](#)
5. Probenahme
6. Eigenschaften der Pflanzenkohle
7. Pyrolysetechnik
8. Arbeits- und Anwenderschutz
9. Pflanzenkohle für den Einsatz in der Tierfütterung (EBC-Futter)
10. [C-Senkenwert und Zertifizierung](#)
11. Verarbeitung von EBC zertifizierten Pflanzenkohlen
12. Markenschutz und Pflichtangaben
13. Kontrolle und Zertifizierung
14. Analytische Methoden – Basispaket
15. Analytische Methoden für EBC-Futter
16. Analytische Zusatzparameter
17. Referenzen

ANHANG

18. Positivliste der Biomassen

1. Ziel der Richtlinien und Zertifizierung

Holz- und Pflanzenkohle gehören seit über zwei Jahrtausenden zu den grundlegenden Rohstoffen der Zivilisation. Der weitaus größte Teil der Holzkohle wurde zum Kochen, zum Heizen und zur Metallherstellung verwendet. Ein Teil der Holz- und Pflanzenkohlen wurde aber auch schon vor Jahrhunderten als Bodenverbesserer, als Stall- und Sanitärstreu, Heilmittel und auch als Futterergänzung verwendet. Im letzten Jahrhundert ging viel von diesem traditionellen Wissen verloren und ist erst um die Jahrtausendwende wieder neu entdeckt worden.

Dank umfangreicher multidisziplinärer Forschungen und praktischer Versuche ist es gelungen, die biologischen und [physikalisch-chemischen](#) Abläufe beim Einsatz von Pflanzenkohle besser zu verstehen und Schritte zu ihrem Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis einzuleiten. Seit 2015 wurde [bereits](#) eine [deutliche](#) Zunahme der landwirtschaftlichen Verwendung von Pflanzenkohle [verzeichnet](#). [Ab 2020 wird eine weitere Beschleunigung sowohl des landwirtschaftlichen als auch des industriellen Einsatzes von Pflanzenkohle erwartet](#). Die landwirtschaftlichen [Anwendungen](#) reichen dabei von Bodenverbesserern, Kompostierzusätzen und Trägerstoffen für Düngemittel über Güllebehandlung und Stalleinstreu bis hin zu [Silagehilfsstoffen](#) und [Futtermittelzusätzen](#). [Die industrielle Anwendung betrifft insbesondere die Sektoren der Bau- und Kunststoff- sowie der Papier- und Textilindustrie](#).

Die meisten traditionellen Methoden zur Herstellung von Holz- und Pflanzenkohle waren hinsichtlich ihrer Kohlenstoffeffizienz und vor allem hinsichtlich ihrer Umweltbilanz ungenügend und sind entsprechend ungeeignet, um die zu erwartenden Mengen an Pflanzenkohle für Industrie und Landwirtschaft zu produzieren. Erst durch moderne Pyrolyseanlagen und -methoden kann Pflanzenkohle aus einer großen Vielfalt von Biomassen energieeffizient und ohne Belastung für die Umwelt hergestellt werden. Da sowohl die Eigenschaften der Pflanzenkohle als auch die Umweltbilanz ihrer Herstellung stark abhängig von der technischen Steuerung der Pyrolyse und den verwendeten Biomassen sind, [war](#) es notwendig, ein sicheres Kontrollsystem für die Herstellung und Analyse von Pflanzenkohle einzuführen.

Mit den vorliegenden Richtlinien für die Erlangung des [Europäischen](#) Pflanzenkohle-Zertifikates beabsichtigt das Ithaka Institut eine wissenschaftlich fundierte und praxisnahe Kontrollgrundlage einzuführen. Dank des Kontrollzertifikates sollen die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sichergestellt werden und die Produzenten gegenüber [Anwendern und Behörden](#) die Möglichkeit erhalten, die Qualität der Pflanzenkohle nachweisbar zu garantieren.

Die Pflanzenkohle-Technologie entwickelt sich [weiterhin](#) sehr rasch. Weltweit werden in [zahlreichen](#) Forschungsprojekten die Eigenschaften [von Pflanzenkohlen](#) und [deren](#) Wechselwirkungen [mit anderen Substanzen, Materialien und der Umwelt](#) untersucht. Monatlich erscheinen neue Versuchsergebnisse und [hunderte](#) wissenschaftliche Studien zum Thema. Jedes Jahr streben neue Hersteller von Pyrolyseanlagen auf den Markt, und die

European Biochar Certificate

Einsatzbereiche für Pflanzenkohle und von pflanzenkohle_basierten Produkten wachsen. Das vorliegende Pflanzenkohle-Zertifikat ist mit dieser wissenschaftlichen und technischen Dynamik eng verknüpft und wird dementsprechend jedes Jahr nach den neuesten Erkenntnissen und Entwicklungen überarbeitet. Grenzwerte und Analysemethoden werden jeweils an die neuesten Erkenntnisse angepasst oder wenn nötig neu eingeführt.

Das Ziel der Richtlinien besteht in der Gewährleistung einer wissenschaftlich stichhaltigen, gesetzlich abgesicherten, wirtschaftlich verantwortbaren und praktisch umsetzbaren Kontrolle der Produktion und Qualität von Pflanzenkohle. Für Anwender von Pflanzenkohle und Produkten auf Basis von Pflanzenkohlen soll eine transparente und nachvollziehbare Kontrolle und Qualitätsgarantie ermöglicht werden.

Das *European Biochar Certificate* ist ein freiwilliger Industriestandard in Europa.

hat gelöscht: In der Schweiz ist dessen Einhaltung verpflichtend für die Genehmigung des Einsatzes von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.

2. Definition von Pflanzenkohle

Einführung der EBC Anwendungsklassen

Pflanzenkohle ist ein poröses, kohlenstoffhaltiges Material, das durch Pyrolyse aus klar definierten pflanzlichen Biomassen hergestellt und so angewendet wird, dass der enthaltene Kohlenstoff langfristig und klimarelevant als C-Senke gespeichert bleibt.

Pflanzenkohlen werden durch Pyrolyse pflanzlicher Biomassen hergestellt. Als Pyrolyse gilt hierbei die thermochemische Konversion von Biomassen bei stark reduziertem Sauerstoffgehalt und bei Temperaturen zwischen 350°C und 1000 °C. Torrefizierung und Hydrothermale Karbonisierung sind verwandte Verkohlungsprozesse, deren Endprodukte nach der vorliegenden Definition nicht als Pflanzenkohle bezeichnet werden und nicht Teil der vorliegenden Richtlinien sind. Biomasse-Vergasung ist ein Spezialfall der Pyrolyse und kann, wenn sie für die Herstellung von Pflanzenkohle optimiert ist, ebenfalls nach dem EBC zertifiziert werden.

Pflanzenkohle wird sowohl durch ihre Qualitätsmerkmale als auch durch ihre Ausgangsprodukte, nachhaltige Herstellung und Anwendung definiert.

Entsprechend den vorliegenden Richtlinien werden Pflanzenkohlen in vier verschiedene Anwendungsklassen mit jeweils unterschiedlichen Grenzwerten und ökologischen Anforderungen eingeteilt: EBC-Futter, EBC-AgroBio, EBC-Agro, EBC-Material.

Pflanzenkohlen mit EBC-Futter Zertifizierung erfüllen alle Anforderung der EU-Futtermittelverordnung und dürfen als Futtermittel bzw. Futterzusatz in der Tierhaltung verabreicht werden.

Mit EBC-AgroBio und EBC-Agro zertifizierte Pflanzenkohlen erfüllen alle Vorgaben der neuen, zur Verabschiedung vorliegenden EU-Düngemittel Verordnung [1]. Mehrere EU-Länder wie Österreich, Schweden und Ungarn haben in jeweils eignen Verordnungen den Einsatz von Pflanzenkohle nach den Vorgaben von EBC-Agro zugelassen, womit der Export und damit der Einsatz in allen anderen EU Ländern möglich ist. Verschiedene EU und EFTA Ländern haben derzeit noch eigene Einschränkungen für den landwirtschaftlichen Einsatz von Pflanzenkohle. So verlangt z.B. die Schweiz die Zertifizierung nach EBC-AgroBio, lässt aber nur holzige Biomassen als Feedstock für die Pyrolyse zu. Deutschland verlangt einen Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle von 80%. Das EBC-AgroBio Zertifikat erfüllt alle Anforderungen der EU-Bioverordnung [2].

Das EBC-Material Zertifikat garantiert nachhaltig hergestellte Pflanzenkohlen, die ohne Gefahren für Umwelt und Anwender in industriellen Materialien wie Baustoffen, Kunststoffen, Elektronik oder Textilien eingesetzt werden können.

In den kommenden Jahren werden weitere spezifische EBC-Anwendungsklassen hinzukommen und die jeweiligen Vorgaben und Grenzwerte an die Entwicklung der Europäischen Gesetzgebung angepasst.

hat gelöscht: wird und vorwiegend aus polyaromatischen Kohlenstoffen und Mineralien besteht. Die Anwendung von Pflanzenkohle führt zu Kohlenstoffsinken, ihre Verbrennung zur Energiegewinnung wird ausgeschlossen.

hat gelöscht: Pflanzenkohlen sind folglich spezielle Pyrolysekohlen, die durch zusätzliche ökologisch nachhaltige Produktions-, Qualitäts- und Einsatzbedingungen charakterisiert sind. ¶

hat gelöscht: basic, premium und Futter.

European Biochar Certificate

Bei der Pyrolyse von nicht pflanzlichen Biomassen wie z.B. Klärschlamm, Viehmist, bestimmten Biogas-Gärresten oder Knochen entstehen ebenfalls wertvolle Rohstoffe, die im Sinne der Kreislaufwirtschaft und des Klimaschutzes eingesetzt werden könnten. Allerdings sind diese Ausgangsstoffe bisher nicht auf der EBC-Positivliste geführt und somit nicht Gegenstand der vorliegenden Richtlinien.

Sofern die Europäischen Produzenten eine Zertifizierung von pyrolysiertem Klärschlamm wünschen, können sie einen Antrag auf Aufnahme von Klärschlamm auf die EBC-Positivliste stellen. Der Wissenschaftliche Beirat des EBC würde den Antrag eingehend prüfen und könnte daraufhin eine gesonderte EBC-Klasse für Klärschlamm-Pyrolysate und ähnliche nicht pflanzliche Biomassen einführen.

Mit dem vorliegenden Standard wird des Weiteren die Zertifizierung von pflanzenkohle-basierten Produkten sowie der Handel mit diesen geregelt.

Zur Erlangung des EBC-Zertifikates müssen die in den folgenden Kapiteln dargelegten Kriterien bezüglich der eingesetzten Biomasse, der Produktionstechnik, den Eigenschaften der Pflanzenkohle, des Arbeitsschutzes sowie der Produktkennzeichnung erfüllt werden.

hat gelöscht: sowie der Anwendung und Kennzeichnung

3. Eingesetzte Biomasse

3.1 Zur Herstellung von Pflanzenkohle dürfen ausschließlich pflanzliche Biomassen verwendet werden. Welche Biomassen je nach Anwendungsklasse zulässig sind, ergibt sich aus der EBC-Positivliste (Anhang 1).

hat gelöscht: organische Reststoffe

3.2 Die saubere Trennung von nichtorganischen Fremdstoffen wie Metallen, Bauschutt, Elektronikschrott etc. muss gewährleistet sein.

hat gelöscht: Abfällen

hat gelöscht: Plastik, Gummi,

3.3 Für die Herstellung von EBC-Feed und EBC-Agro Qualitäten dürfen die verwendeten Biomassen keine Farbstoffe, Lösungsmittel oder andere potentiell toxische Verunreinigungen aufweisen.

hat gelöscht: nichtorganische

3.4 Für die Herstellung von EBC-Feed und EBC-Agro Qualitäten müssen Verunreinigungen der Biomassen durch Plastik- und Gummiabfälle wirksam und sicher auf unter 1% (m/m) vermindert werden. Für die Herstellung von EBC-Material Qualität können Plastik- und Gummi-Anteile von bis zu 15% akzeptiert werden, allerdings sind diese deklarationspflichtig und bedürfen der schriftlichen Genehmigung durch das EBC. Das EBC kann in diesem Fall zusätzlich Analysen anfordern, um die Unbedenklichkeit des Produktes und dessen Anwendung sicherzustellen.

3.5 Beim Einsatz von landwirtschaftlichen Primärprodukten (z.B. der Anbau von Biomasse für die Herstellung von Pflanzenkohle und Energie) muss eine nachhaltige Produktion der nachwachsenden Rohstoffe und der Erhalt des Humusgehalts des Bodens gewährleistet sein.

3.6 Pflanzenkohle darf nur dann aus Forstholz hergestellt werden, wenn eine nachhaltige Bewirtschaftung des entsprechenden Waldes durch PEFC oder FSC Zertifikate oder durch vergleichbare regionale Standards oder Gesetze nachgewiesen werden kann.

hat gelöscht: zum Beispiel

3.7 Mineralische Zusätze wie Gesteinsmehle und Aschen, die zur Lenkung der Pflanzenkohlequalität eingesetzt werden, bedürfen ab einem Zusatz von über 10% der schriftlichen Genehmigung durch das EBC und sind deklarationspflichtig. Bei einem Zusatz von über 10% kann die EBC zudem zusätzliche Qualitätskontrollen hinsichtlich organischer und anorganischer Schadstoffe verlangen.

hat gelöscht: Es dürfen nur Biomassen europäischer Herkunft für die Herstellung von Pflanzenkohle verwendet werden.

3.8 Die Eingangsbelege für die verarbeiteten Biomassen und Zuschlagsstoffe müssen vollständig vorliegen und für mindestens fünf Jahre archiviert werden.

4. Pflanzenkohle-Charge und Einsendung von Proben

Als Definition einer einheitlichen Pflanzenkohle-Charge gilt:

4.1 Die Pyrolysetemperatur in °C darf sich während der Produktion um nicht mehr als 20 % ändern. Bei einer deklarierten Pyrolysetemperatur von bspw. 600 °C sind damit kurzfristige Schwankungen zwischen 480 °C und 720 °C gestattet. Dokumentierte Produktionsunterbrechungen, geplant wie ungeplant, sind gestattet, sofern nach Wiederaufnahme der Produktion der festgelegte Temperaturbereich eingehalten wird. Pflanzenkohle aus der Anfahr- und Abschaltprozess der Anlage muss sorgfältig abgetrennt und dokumentiert werden und darf nicht als EBC-Futter oder EBC-Agro vermarktet werden. Für Kleinproduzenten mit einer jährlichen Produktionsmenge von unter 50 t Pflanzenkohle entfällt die Pflicht zur Dokumentation der Produktionstemperatur.

4.2 Die Mischung verschiedener, in der EBC-Positivliste geführter Biomassearten, die für die Produktion einer Pflanzenkohle-Charge verwendet werden, darf sich nicht um mehr als um 20 Prozentpunkte verändern. Wird beispielsweise ein Gemisch aus 50% Getreidespelzen und 50% Landschaftspflegeholz pyrolysiert, dürfen die Anteile im Bereich 40% bis 60% variieren.

4.3 Der Produktionszeitraum einer Charge beträgt maximal ein Jahr inklusive aller etwaigen Produktionsunterbrechungen.

4.4 Es muss ein vollständiges Produktionsprotokoll (Anhang 3) vorliegen, in dem neben den Temperaturen und der Biomasse-Zusammensetzungen auch die genaue Beschreibung, und Zeitpunkte eventueller Komplikationen bei der Herstellung, sowie jedweder Anlagenstillstand dokumentiert sind. Ferner ist die tägliche Entnahme der Rückstellproben zu protokollieren (siehe Kapitel 5.2 Rückstellprobe).

4.5 Die Produktionsmengen jeder Charge müssen täglich dokumentiert werden.

Sobald einer der fünf Punkte nicht mehr erfüllt wird, gilt die daraufhin produzierte Pflanzenkohle als eine neue Charge, die entsprechend neu auf der EBC-Webseite angemeldet werden muss. Damit muss auch ein neues Pflanzenkohle-Protokoll und eine neue Pflanzenkohle-Analyse erstellt werden.

4.6 Datum und Uhrzeit des Endes einer Pflanzenkohle-Charge muss am letzten Produktionstag auf der EBC-Webseite gemeldet werden. Dabei muss auch die Gesamtproduktionsmenge der damit abgeschlossenen Pflanzenkohle-Charge gemeldet werden.

Anmeldung und Sendung der Pflanzenkohle-Probe an das akkreditierte Analyiselabor:

Jede Pflanzenkohle-Charge muss innerhalb der ersten sieben Produktionstage auf der Webseite des EBC (www.european-biochar.org) angemeldet werden. Die Charge erhält durch die Anmeldung eine eindeutige Identifikationsnummer und einen QR-Code. Der QR-

hat gelöscht: Allgemeine Vorgaben zur Führung des Pflanzenkohle-Produktionsprotokolls

hat gelöscht: Jede Pflanzenkohle-Charge muss eine eindeutige Bezeichnung und Identifikationsnummer (Chargen-Nummer) erhalten. Mittels der Identifikationsnummer muss die Rückführbarkeit der Produktionsbedingungen und der eingesetzten Biomassen garantiert werden. Für jede Pflanzenkohle-Charge muss ein gesondertes Produktions-Protokoll ausgestellt werden. Die Pflanzenkohle jeder Charge muss auf Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte analysiert werden.¶

Kommentiert [HPS1]: Dies muss während des Kontrollbesuches überprüft werden.

hat gelöscht: Zusammensetzung

hat gelöscht: der

hat gelöscht: 15

hat gelöscht: %

hat gelöscht: en

hat gelöscht: vier

hat gelöscht: für die entsprechend

hat gelöscht: muss

European Biochar Certificate

Code muss auf jeder Verpackungseinheit der Pflanzenkohle (z.B. Big Bag, Container) sowie auf allen Lieferscheinen gut sichtbar aufgedruckt werden. Mittels der Identifikationsnummer muss die Rückführbarkeit der Produktionsbedingungen und der eingesetzten Biomassen sowie eine einheitliche Pflanzenkohle-Qualität garantiert werden. Für jede Pflanzenkohle-Charge muss ein separates Produktions-Protokoll geführt werden (Anhang 3). Die Pflanzenkohle jeder Charge muss auf Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte analysiert werden.

Die Pflanzenkohle-Proben müssen innerhalb der ersten sieben Tage nach Produktionsbeginn einer Pflanzenkohle-Charge nach folgenden Kriterien an ein EBC-akkreditierte Labor gesendet werden.

- 4.7 Die Anmeldung zur Einsendung der Analyseprobe erfolgt bei der Anmeldung einer neuen Charge auf der EBC-Webseite.
- 4.8 Als EBC-Analyseproben gelten nur diejenigen Proben, die über die EBC-Webseite angemeldet und denen so eine eindeutige ID-Nummer zugeteilt wurde.
- 4.9 Das akkreditierte Labor sendet die Analyseergebnisse in Kopie an das akkreditierte Kontrollorgan und an die EBC.
- 4.10 Die EBC hat das Recht, die Analyseergebnisse anonymisiert für statistische Auswertungen zu verwenden.

hat gelöscht: Sofern sichergestellt ist, dass die gleichen Prozessparameter und Biomassen verwendet werden, darf eine Pflanzenkohleprobe bereits maximal drei Wochen vor Chargenbeginn zur Analyse an das akkreditierte Labor eingesendet werden. ...

hat gelöscht: Bei der Einsendung der Pflanzenkohle-Probe an ein EBC-akkreditiertes Analyselabor muss die Chargen-Nummer eindeutig übermittelt werden.

5. Probenahme

Die Pflanzenkohle-Proben, die zur EBC-Analytik an das akkreditierte Labor eingeschickt werden, müssen zwingend nach der folgenden Methode entnommen werden. Die akkreditierte Kontrollstelle ist zudem jederzeit berechtigt, selbst und unangekündigt Pflanzenkohle- und Biomasseproben zu entnehmen und diese an ein akkreditiertes Labor oder als Rückstellprobe an die EBC zu senden.

hat gelöscht: hier

hat gelöscht: er

hat gelöscht: eur

5.1 Repräsentative Probe

Um eine möglichst repräsentative Probe einer größeren Produktionsmenge zu erhalten, muss eine Charge innerhalb der ersten sieben Produktionstage wie folgt nach exakter Methodik beprobt werden. Querstromproben garantieren dabei am sichersten eine repräsentative Probenahme des Produktes.

hat formatiert: Schriftart: Nicht Fett

Formatiert: Überschrift 1

hat gelöscht: die Probe

hat gelöscht: entnommen werden, daher muss die folgende Anleitung genau eingehalten werden:

A. Anlagen mit kontinuierlichen Produktionsprozessen

1. An drei aufeinanderfolgenden Tagen werden täglich je 8 Proben à 3 kg im Abstand von jeweils mindestens einer Stunde direkt am Austrag vom frisch produzierten Material entnommen und beschriftet. Diese Entnahme kann auch durch eine entsprechend eingestellte automatisierte Querstromprobe erfolgen.
2. Die 24 Teilproben werden zu einer Mischprobe vereinigt.
3. Sollte die Partikelgröße der Mischprobe größer als 3 mm sein, muss diese auf < 3 mm gemahlen werden, da sonst keine repräsentative Probenteilung möglich ist.
4. Die gemahlene Mischprobe wird entweder mit einem maschinellen Probenteiler auf 2 bis 2,5 l reduziert oder nach folgender Vorschrift homogenisiert und geteilt.
5. Die gemahlene Mischprobe (insgesamt 72 kg, ca. 250 l) wird auf eine saubere Unterlage geschüttet und sodann dreimal mittels einer Schaufel von einem Haufen auf einen anderen umgesetzt.
6. An 15 Stellen des gemischten Haufens werden dann je eine Teilprobe von jeweils 1,5 l entnommen.
7. Die 15 Teilproben werden wiederum zusammengeschüttet.
8. Die neue Teilprobe von 22,5 l wird nun gründlich gemischt, indem sie dreimal von einem Haufen auf einen anderen Haufen geschaufelt wird.
9. Von dem gemischten Haufen der 22,5 l großen Teilprobe werden nun 15 Teilproben von jeweils 150 ml an 15 verschiedenen Stellen des Haufens entnommen und vereinigt.
10. Die Entnahme jeder einzelnen der 24 Proben (= 3 x 8 Tagesproben) sowie die Homogenisierung und Probenteilung muss mit den jeweils genauen Entnahmezeitpunkten im Probenahmeprotokoll (Anhang 2) dokumentiert werden.
11. Die Probe von 2 bis 2,5 Litern wird versiegelt, mit dem auf der EBC-Webseite generierten QR-Code beschriftet und an das EBC akkreditierte Labor zur Analyse geschickt.

hat gelöscht: Die Querstromprobe garantiert am sichersten eine repräsentative Probenahme des Produktes.

hat formatiert: Schriftart: Times New Roman, 12 Pt.

hat formatiert: Schriftart: Avenir Book, 11 Pt.

Formatiert: Listenabsatz, Einzug: Links: 0.63 cm, Hängend: 0.63 cm

hat formatiert: Schriftart: Times New Roman, 12 Pt., Fett

B. Anlagen mit nicht-kontinuierlichen Produktionsprozessen

1. Die Menge an Pflanzkohle, von der eine repräsentative Probe genommen werden soll, muss mindestens die Produktionsmenge eines Tages umfassen.
2. Der zu beprobende Haufen Pflanzkohle muss zunächst gründlich gemischt werden, indem er mit einem Frontlader oder einer Schaufel dreimal von einem Haufen auf einen anderen umgesetzt wird.
3. An 15 Stellen des gemischten Haufens werden dann je eine Teilprobe von jeweils **3 kg** entnommen. Für Kleinproduzenten mit einer Tagesproduktion von weniger als 200 Litern Pflanzkohle kann die Teilprobenmenge auf **1 kg** reduziert werden.
4. Die 15 Teilproben werden zusammengeschüttet **und dann auf eine Partikelgröße von < 3 mm gemahlen**.
5. **Die gemahlene Mischprobe wird entweder mit einem maschinellen Probenteiler auf 2 bis 2,5 l reduziert oder** gründlich gemischt, indem sie dreimal von einem Haufen auf einen anderen Haufen geschaufelt wird.
6. Von dem gemischten Haufen der Teilprobe werden nun 15 Teilproben von jeweils 150 ml an 15 verschiedenen Stellen des Haufens entnommen.
7. Die 15 Teilproben von insgesamt 2,25 l werden zusammengeschüttet.
8. Die Probenahme, Homogenisierung und Probenteilung muss mit den jeweils genauen Zeitpunkten im Probenahmeprotokoll (Anhang 2) dokumentiert werden.
9. Die Probe von 2,25 l wird versiegelt, mit dem auf der EBC-Webseite generierten QR-Code beschriftet und an das EBC akkreditierte Labor zur Analyse geschickt.

Auch ein aufwändiges Probenahmeverfahren wie hier vorgeschrieben kann nicht für repräsentative Proben garantieren. Die zu erwartenden Unsicherheiten (Richtigkeit und Präzision) wurden von Bucheli et al. [1] im Detail beschrieben und werden von der EBC bei der Evaluation der Resultate entsprechend berücksichtigt. Das Ziel der vorgeschriebenen Probenahmemethode besteht darin, eine gut charakterisierende Querschnittsprobe zu erreichen.

5.2 Rückstellprobe

Zusätzlich zur EBC-Analyse-Probe sind der Hersteller verpflichtet, täglich eine **frische Probe von 500 g entweder aus dem Querstrom oder von der gesammelten Tagesproduktion** zu entnehmen. Der tägliche Entnahmezeitpunkt ist im Produktionsprotokoll (Anhang 3) einzutragen. Die **Tagesproben** sind für jeweils einen Monat in einem Probebehälter als Mischprobe zu sammeln. Nach einem Monat ist die Mischprobe zu versiegeln. Die nächsten

hat gelöscht: 1,5

hat gelöscht: Litern

hat gelöscht: 0,5 Liter

hat gelöscht: . Sollte die Partikelgröße der Pflanzkohle größer als 3 mm sein, muss diese Mischprobe auf < 3 mm gemahlen werden

hat formatiert: Schriftart: Avenir Book, 11 Pt.

hat formatiert: Schriftart: Avenir Book, 11 Pt.

hat gelöscht: ¶ Die neue Teilprobe wird nun

hat gelöscht: und nochmal gründlich gemischt.

hat gelöscht: Wie Bucheli et al. (2014) dargelegt haben,

hat formatiert: Schriftart: Avenir Book, 11 Pt.

hat gelöscht: reicht die bereits recht komplizierte Probenahmemethode, wie die EBC sie hier vorschreibt, möglicherweise noch immer nicht aus, um absolut repräsentative Proben zu erhalten. Die vorgeschriebene Methode stellt aber hinreichend sicher, dass die Präzision und Wiederholbarkeit der Proben für die im Standard festgelegten Parameter und Grenzwerte ausreichen

hat gelöscht: .

hat gelöscht: ¶ Alternativ kann während 24 h aller 30 Minuten eine automatisierte Querstromprobe von 100g aus dem kontinuierlichen Produktionsprozess gezogen werden. Eine solche Querstromprobe würde die oben beschriebene Probenahmemethode ersetzen.¶

hat gelöscht: 3

hat gelöscht: sowie zur Sichtprobe

hat gelöscht: Querstromprobe

hat gelöscht: von mindestens 100 g

hat gelöscht: Querstromproben

hat gelöscht: größeren

30 Querstromproben werden in einem neuen Probebehälter gesammelt, bis auch dieser versiegelt und gelagert wird.

Die Querstromprobe kann sowohl manuell als auch automatisiert aus der Tagesproduktion entnommen werden [3].

Die monatliche Rückstellprobe von mindestens 15 kg muss drei Jahre trocken und geschützt aufbewahrt werden. Die Rückstellproben dienen insbesondere dem Schutz des Produzenten, um bei etwaigen Beanstandungen durch Behörden oder Kunden jeweils dezidiert nachweisen zu können, dass die entsprechende Pflanzenkohle nach der Produktion frei von Schadstoffen war und der durch das EBC-Zertifikat garantierten Qualität entsprach. Zudem ist die Rückstellprobe die Grundlage für die Kontrollprobe:

hat gelöscht: 3

5.3 Kontrollprobe

Ab dem Jahr 2021 wird bei jedem Kontrollbesuch aus den monatlichen Rückstellproben je eine Kontrollprobe pro Pflanzenkohle-Charge gezogen. Diese durch den Kontrolleur erhobene Kontrollprobe wird zur Überprüfung der eigentlichen Zertifikatsprobe an das EBC-akkreditierte Labor eingeschickt und auf Kosten des zertifizierten Betriebes auf Schwermetalle, C-Gehalt sowie die 16 EPA PAK analysiert. Sollten die analysierten Parameter der Kontrollprobe anders als die ursprüngliche Zertifikatsprobe die EBC-Grenzwerte der entsprechenden Anwendungsklasse nicht einhalten, erfolgt eine Sanktion entsprechend dem Sanktionsreglement (Anhang 4).

hat gelöscht: eurs

hat gelöscht: B

hat gelöscht: wird durch den Kontrolleur

Die Probenahme durch den Kontrolleur hat auf folgende Weise zu erfolgen:

hat gelöscht: eine Sichtprobe sowohl der verwendeten Biomassen als auch der daraus resultierenden Pflanzenkohle genommen und versiegelt an die EBC gesendet.

1. Der Kontrolleur wählt per Zufall zwei Monatsbehälter mit den jeweils gesammelten Rückstellproben aus.
2. Der Inhalt beider Monatsbehälter wird jeweils einzeln auf eine Partikelgröße < 3 mm gemahlen.
3. Die beiden gemahlene Mengen werden sodann einzeln homogenisiert, indem sie auf eine saubere Unterlage geschüttet und sodann dreimal mittels einer Schaufel von einem Haufen auf einen anderen umgesetzt werden.
4. Aus jeder der beiden homogenisierten monatlich gesammelten Rückstellproben werden je 10 Teilproben von jeweils 150 ml entnommen.
5. Die 20 Teilproben von insgesamt 3 l werden zusammengeschüttet.
6. Der verbleibende Rest der beprobten Pflanzenkohle wird wieder in den jeweiligen Monatsbehälter zurückgefüllt, versiegelt und aufbewahrt.
7. Die Probe von 3 l wird versiegelt, mit dem auf der EBC-Webseite generierten QR-Code beschriftet und an ein vom Produzenten ausgewähltes EBC-akkreditiertes Labor zur Analyse geschickt.

6. Eigenschaften der Pflanzenkohle

Ziel des EBC-Zertifikats ist es, die Einhaltung aller umweltrelevanten Grenzwerte zu garantieren sowie diejenigen Produkteigenschaften zu deklarieren, die für die jeweilige Anwendungsklasse relevant sind und mit vertretbarem finanziellen Aufwand analysiert werden können.

Es gäbe darüber hinaus noch zahlreiche weitere Analysemöglichkeiten, um Pflanzenkohle noch umfassender zu charakterisieren und klassifizieren. Allerdings würde dies den Kostenrahmen des EBC sprengen. Wir wollen nicht alles Mögliche, sondern nur alles Nötige analysieren, regeln und gewährleisten.

Die jeweils zulässigen Prüfverfahren sowie die analytischen Methoden für die einzelnen Parameter sind in [den Kapiteln 14 bis 16](#) detailliert.

6.1 Der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle muss deklariert werden.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff von [Pflanzenkohlen](#) schwankt je nach verwendeter Biomasse und Prozesstemperatur zwischen [etwa 35 %](#) und 95 % der Trockenmasse. So liegt z.B. der Kohlenstoffgehalt von pyrolysiertem [Stroh meist zwischen 40 und 50% sowie der von Holz und Nussschalen zwischen 70 und 90%](#).

In früheren Versionen des EBC-Zertifikats galt für Pflanzenkohlen ein Grenzwert für den Gehalt an organischem Kohlenstoff von 50%. Alle unter diesem Grenzwert liegenden Pyrolyseprodukte galten unter der alten Definition als Pyrolysate (engl. PCM). Zahlreiche in den letzten Jahren veröffentlichte Fachartikel zeigen allerdings, dass der Kohlenstoffgehalt kein hinreichendes Kriterium für eine solche Unterscheidung darstellt. Gerade Pflanzenkohlen aus Ernteresten wie Stroh und Getreidehülsen zeigten sich für verschiedene landwirtschaftliche und industrielle Anwendungen als vorzüglich geeignet, obwohl der Kohlenstoffgehalt meist unter 50% liegt. Da die Nutzung von Ernteresten und sonstigen sekundären, pflanzlichen Biomassen sowohl für den Klimaschutz als auch für die Schließung der Nährstoffkreisläufe erstrebenswert ist, ist der frühere Grenzwert von 50% nicht mehr zeitgemäß. Pyrolysate, die aufgrund der zu ihrer Herstellung verwendeten nicht pflanzlichen Biomassen nicht als Pflanzenkohlen im Sinne des EBC gelten können, sind nicht mehr Gegenstand der EBC-Richtlinien.

6.2 Das molare H/Corg-Verhältnis muss kleiner als 0,7 sein.

Aus dem molaren H/Corg-Verhältnis lässt sich die [Intensität der Pyrolyse](#) und somit auch die Stabilität der Pflanzenkohle ableiten. Das Verhältnis gehört zu den wichtigsten Charakterisierungsmerkmalen von Pflanzenkohle [und ist unablässig für die Bestimmung des C-Senken Potentials](#). Die Werte schwanken je nach Biomasse und Verfahren. Höhere Werte als 0,7 lassen auf minderwertige Kohlen und mangelhafte Pyrolyse-Verfahren schließen [4].

6.3. Das molare O/Corg-Verhältnis muss kleiner als 0,4 sein

hat gelöscht: Es ist nicht die Aufgabe und Zweck des EBC-Zertifikats, eine komplette physiko-chemische Charakterisierung von Pflanzenkohle vorzulegen. Die Kosten der dafür notwendige Analytik würde den Rahmen des EBC sprengen. Von entscheidender Bedeutung für das EBC-Zertifikat ist vielmehr, die Einhaltung aller umweltrelevanten Grenzwerte zu garantieren und alle für die landwirtschaftliche Praxis relevanten Produkteigenschaften zu deklarieren. ¶

hat gelöscht: mehr als 50% der Trockenmasse betragen. Pyrolysierte Biomasse mit einem Kohlenstoffgehalt unter 50% werden als Pyrolysate klassifiziert

hat gelöscht: Hühnermist bei etwa 25%, der von Buchenholz bei etwa 85% und der von Tierknochen bei 10%

hat gelöscht: Bei sehr mineralreichen Biomassen wie Viehmist kann im Pyrolyseprodukt der Aschegehalt überwiegen. Entsprechend gelten Pyrolysekohlen mit einem Kohlenstoffgehalt von weniger als 50% nicht als Pflanzenkohle, sondern als Pyrolysate. ¶

Erfüllen die Pyrolysate alle sonstigen Vorgaben und Grenzwerte des vorliegenden Pflanzenkohle-Zertifikates, können sie als EBC zertifizierte Pyrolysate vermarktet werden. Pyrolysate haben hohe Nährstoffgehalte und stellen entsprechend wertvolle Düngergängungsmittel dar, sind damit aber einer anderen Produktkategorie zuzuordnen.

Ergänzend zum molaren H/Corg-Verhältnis ist auch das molare O/Corg-Verhältnis für die Charakterisierung von Pflanzenkohle und ihre Unterscheidung zu anderen kohleartigen Produkten relevant [4]. Da die direkte Messung des O-Gehaltes teuer und derzeit nicht standardisiert ist, wird die Berechnung des O-Gehaltes aus dem C, H, N, S und Asche-Gehalt akzeptiert.

Durch Nachbehandlung der Pflanzenkohle sowie durch Ko-Pyrolyse mit oxidativen oder katalytisch wirkenden Zusatzstoffen kann das O/Corg-Verhältnis teils auch über 0,4 liegen. In diesem Fall würde die EBC eine Plausibilitätsprüfung durchführen und eine entsprechende Ausnahmegewilligung erteilen, sofern Produktqualität und Umweltschutz gewährleistet sind.

6.4 Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) werden durch TGA bestimmt.

Während des Pyrolyseprozesses werden polyaromatische Kohlenstoffverbindungen, Karbonate und eine Vielzahl flüchtiger organischer Verbindungen produziert. Letztere sind hauptsächlich im Pyrolysegas enthalten, welches teilweise an den Oberflächen und in den Poren der Pflanzenkohle kondensiert. Diese aus dem Pyrolysegas kondensierten VOC sind ein essentieller Bestandteil von Pflanzenkohle und für verschiedene Funktionen der Pflanzenkohle von Bedeutung.

Eine qualitative Bestimmung der VOC ist allerdings nicht mit vertretbarem Aufwand durchzuführen. Es ist jedoch bekannt, in welchem Temperaturbereich mit welcher Art von VOC zu rechnen ist. Zur Bestimmung der Pyrolysetemperatur wird eine Thermogravimetrische Analyse (TGA) verwendet, bei der durch schrittweise Temperaturerhöhung unter Luftabschluss der Gewichtsverlust flüchtiger Verbindungen der Pflanzenkohle bestimmt wird. Anhand des TGA Diagramms kann sowohl der absolute Gehalt an VOC sowie die Temperatur bestimmt werden, derer die Pflanzenkohle während der Pyrolyse maximal ausgesetzt war.

Der VOC Gehalt und deren Temperatur abhängige Entgasung sind somit vor allem ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Pyrolyseprozesses. Aus diesem Grund wird es als ausreichend erachtet, dass die TGA-Analyse nur im ersten Kontrolljahr einer Produktionsstätte durchgeführt werden muss.

hat gelöscht: , sind

hat gelöscht: ist zudem

hat gelöscht: r Anhaltspunkt

hat gelöscht: .

6.5 Die Nährstoffgehalte der Pflanzenkohle liegen zumindest für die Elemente Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium vor.

Die Schwankungen der Nährstoffgehalte verschiedener Pflanzenkohlen können sehr hoch sein und bis zu einem Drittel des Gesamtgewichts ausmachen. Es ist zu beachten, dass diese Nährstoffe aufgrund chemischer oder kovalenter Bindungen (v.a. bei Stickstoff) und/oder der hohen Adsorptionskapazität der Pflanzenkohle nur bedingt pflanzenverfügbar sind und möglicherweise erst über Jahrzehnte in den biologischen Kreislauf eingebunden werden. So liegt die Nährstoffverfügbarkeit von Pflanzenkohle-Phosphor im ersten Jahr bei rund 15% und die von Stickstoff bei nur 1%, während Kalium bis zu 50% pflanzenverfügbar ist [5].

Für den Einsatz in der Landwirtschaft und Tierhaltung sind die Angaben von der Gesetzgebung her verpflichtend. Für EBC-Material sind die Nährstoffgehalte in der Regel weniger relevant, können aber je nach Anwendung gerade bei höheren Gehalten an

hat gelöscht: Zulässige Prüfungsverfahren:

Thermogravimetrische Analyse (TGA)¶
Prinzip: Die TGA bestimmt durch schrittweise Temperaturerhöhung unter Luftabschluss den Gewichtsverlust der flüchtigen Verbindungen der Pflanzenkohle. ¶
(Die TGA-Analyse ist nur einmalig für jede Produktionsanlage mit einer Jahresproduktion von über 50 t Pflanzenkohle durchzuführen.)¶

hat gelöscht: sind

hat gelöscht: können

hat gelöscht: e

hat gelöscht: Kohlenstoffgehalten über 50% zwischen 1% und 45% liegen...

European Biochar Certificate

Kalzium, Kalium und Magnesium die Materialeigenschaften beeinflussen, weshalb die Deklaration der Nährstoffgehalte auch für EBC-Material verpflichtend ist.

6.6 Grenzwerte für Schwermetallen dürfen nicht überschritten werden.

Die folgenden Höchstwerte für Schwermetallgehalte orientieren sich für EBC-Agro an der deutschen Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV [6]), für EBC-BioAgro an der Schweizerische Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, Anhang 2.6 für Recyclingdünger [7]), für EBC-Material an der Schweizerischen Abfallverordnung für Abfälle zur Herstellung von Zement und Beton (VVEA, Anhang 1.4; [8]). Für EBC-Feed gelten zusätzliche Parameter und Methoden, die in Kapitel 9 dargelegt werden.

Die Grenzwerte sind jeweils auf die Trockenmasse (TM) der Pflanzenkohle bezogen:

hat gelöscht: Folgende

hat gelöscht: an

hat gelöscht: müssen eingehalten

hat gelöscht: die Qualitätsstufe basic

hat gelöscht: und

hat gelöscht: die Qualitätsstufe premium

hat gelöscht: .

Tab. 1: Grenzwerte für Schwermetalle nach EBC-Anwendungsklassen.

	EBC-AgroBio EBC-Feed	EBC-Agro	EBC-Material
Pb	120 g t ⁻¹ TM	150 g t ⁻¹ TM	250 g t ⁻¹ TM
Cd	1 g t ⁻¹ TM	1,5 g t ⁻¹ TM	5 g t ⁻¹ TM
Cu	100 g t ⁻¹ TM	100 g t ⁻¹ TM	250 g t ⁻¹ TM
Ni	30 g t ⁻¹ TM	50 g t ⁻¹ TM	250 g t ⁻¹ TM
Hg	1 g t ⁻¹ TM	1 g t ⁻¹ TM	1 g t ⁻¹ TM
Zn	400 g t ⁻¹ TM	400 g t ⁻¹ TM	750 g t ⁻¹ TM
Cr	80 g t ⁻¹ TM	90 g t ⁻¹ TM	250 g t ⁻¹ TM
As	13 g t ⁻¹ TM	13 g t ⁻¹ TM	15 g t ⁻¹ TM

Schwermetalle sind essentieller Bestandteil aller Ökosysteme. Auch in natürlichen, von menschlichen Aktivitäten kaum beeinflussten Böden nimmt jedwede Pflanzen über 50 geogene Elemente des Periodensystems auf und darunter befinden sich alle wesentlichen Schwermetalle. Kritisch sind Schwermetalle nur dann, wenn deren Konzentration zu hoch ist, weshalb je nach Anwendungsart die in Tabelle 1 verzeichneten Grenzwerte festgelegt wurden.

Formatiert: Abstand Nach: 6 Pt.

Ausser einigen wenigen Schwermetallen, die bei den vorherrschenden Pyrolysetemperaturen flüchtig oder halb-flüchtig sind (z.B. Quecksilber), bleibt die gesamte Menge an Schwermetallen, die ursprünglich in der Biomasse enthalten waren, in der Pflanzenkohle erhalten. Da sich während der Pyrolyse aber das Gewicht der ursprünglichen Biomasse durch den Verlust an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff um über 50% reduziert, führt der gleichzeitige Erhalt der Schwermetalle zu deren Aufkonzentrierung, so dass der prozentuale Gehalt in der Pflanzenkohle höher als im Ausgangsmaterial ist. Sofern die Biomasse nicht auf kontaminierten Böden aufwuchs oder durch externe Behandlung (z.B. Kupferspritzung im Weinbau) oder Verunreinigung (z.B. bleihaltige Farben) erhöhte

hat gelöscht: basic: Pb < 150 g t⁻¹ TM; Cd < 1,5 g t⁻¹ TM; Cu < 100 g t⁻¹ TM; Ni < 50 g t⁻¹ TM; Hg < 1 g t⁻¹ TM; Zn < 400 g t⁻¹ TM; Cr < 90 g t⁻¹ TM; As < 13 g t⁻¹ TM
premium: Pb < 120 g t⁻¹ TM; Cd < 1 g t⁻¹ TM; Cu < 100 g t⁻¹ TM; Ni < 30 g t⁻¹ TM; Hg < 1 g t⁻¹ TM; Zn < 400 g t⁻¹ TM; Cr < 80 g t⁻¹ TM; As < 13 g t⁻¹ TM

hat gelöscht: β

hat gelöscht: der

hat gelöscht: verwendeten

hat gelöscht: m Endsubstrat

hat gelöscht: Wie bei der Kompostierung werden die Schwermetalle auch während der Pyrolyse aufkonzentriert

hat gelöscht: im Endsubstrat

hat gelöscht:

Schwermetallgehalte aufweist, ist die Aufkonzentrierung durch die Pyrolyse jedoch als unkritisch zu betrachten. Schwermetallgehalte jenseits der Grenzwerte weisen also vor allem auf die Kontaminierung der verwendeten Biomassen hin und stellt somit eine zusätzliche Kontrolle der Biomassequalität dar. Werden die Grenzwerte für EBC-Material überschritten, muss die so kontaminierte Pflanzenkohle derzeit als Sondermüll entsorgt werden.

Bei Anwendungen in der Industrie, wie z.B. als Additiv bei der Herstellung von Kunststoffen oder Baumaterialien, ist das Risiko einer Auswaschung der Schwermetalle in die Umwelt oder einer Schädigung von Benutzern dieser Industriematerialien in der Regel sehr gering. Aus diesem Grund können in einem ersten Schritt vorsichtig höhere Grenzwerte für diese Anwendungsfälle angesetzt werden. Wir rechnen damit, in Zukunft weitere anwendungsspezifische EBC-Grenzwerte festzulegen. So werden zum Beispiel bei der Verwendung der Pflanzenkohle in Textilien andere Grenzwerte als bei der Verwendung in Asphalt anzusetzen sein, was jedoch zum jetzigen Zeitpunkt der industriellen Entwicklung noch nicht sinnvoll durch das EBC abgedeckt werden kann. Allerdings obliegt es bereits heute der Pflicht der industriellen Anwender, die jeweiligen Grenzwerte ihrer Branche einzuhalten. Zudem werden alle industriellen Anwender aufgefordert, eine sorgfältige Betrachtung über das Ende des Lebenszyklus ihrer Industriematerialien vorzunehmen, um zu verhindern, dass Schadstoffe in die Umwelt gelangen.

6.7 pH-Wert, Schüttdichte und Wassergehalt müssen deklariert werden

Der pH-Wert der Pflanzenkohle ist ein wichtiges Kriterium für den gezielten Einsatz sowohl in Substraten als auch zur Nährstofffixierung bei der Tierhaltung und ebenso in industriellen Produkten.

Schüttdichte und Wassergehalt sind notwendige Angaben für den Handel mit Pflanzenkohle sowie für die Herstellung gleichbleibender Substratmischungen.

6.8 Die Ermittlung des Wasserhaltevermögens (WHC) wird empfohlen

Das Wasserhaltevermögen (WHC) liefert einen Richtwert für die Mischung mit Flüssigkeiten und die Wirksamkeit für die Erhöhung des Wasserspeichervermögens von Böden oder für die Feuchtigkeitsaufnahme und -pufferung von Bau- und anderen Pflanzenkohle basierten Materialien. Die Analyse des Wasserhaltevermögens wird als Zusatzparameter empfohlen.

6.9 Spezifische Oberfläche muss deklariert werden, Porengrößenverteilung wird als Zusatzparameter empfohlen

Die spezifische Oberfläche nach BET ist ein wichtiges Charakterisierungs- und Vergleichskriterium für die physikalische Struktur von Pflanzenkohle. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass kein Verfahren absolute Werte für die spezifische Oberfläche von Pflanzenkohle liefert, sondern relative Werte, welche eine standardisierte Vergleichbarkeit ermöglicht. Für eine genauere Evaluierung der Poren- und damit der Materialeigenschaften von Pflanzenkohlen bräuchte es insbesondere Daten zur Porengrößenverteilung, was jedoch den Kostenrahmen des EBC sprengen würde. Aus diesem Grund wird die Messung der Porengrößenverteilung als Zusatzparameter empfohlen.

hat gelöscht: Allerdings werden viele Schwermetalle sehr effizient von der Pflanzenkohle fixiert und langfristig immobilisiert. Wie dauerhaft diese Immobilisierung tatsächlich sein wird, kann jedoch bisher nicht sicher angegeben werden. Da die landwirtschaftlich eingesetzten Mengen an Pflanzenkohle im Vergleich zu viel häufiger in großen Mengen ausgebrachtem Kompost oder Gärresten nur relativ gering sind, ließe sich eine toxische Akkumulation der Schwermetalle auch bei höheren Grenzwerten praktisch ausschließen. Trotzdem gibt es wenig Grund, nicht die von der Bodenschutzverordnung bzw. der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung vorgeschriebenen Grenzwerte für Schwermetalle einzuhalten. ¹⁾
Durch die Verwendung von Chrom-Nickel-Stählen für den Bau von Pyrolysereaktoren kann es durch Abrieb insbesondere in den ersten Wochen nach der Inbetriebnahme zu erhöhten Nickel- und Chrombelastungen der Pflanzenkohle kommen. Für Pflanzenkohlen mit einer Nickel-Belastung bis zu 100 g/t TM kann eine einmalige Ausnahmegenehmigung beantragt werden, wonach diese Pflanzenkohlen zur Kompostierung verwendet werden dürfen, sofern sicher gestellt wird, dass die gültigen Grenzwerte des fertigen Komposts eingehalten werden.

hat gelöscht: ,

hat gelöscht: ,

hat gelöscht: Wasserhaltevermögen und spezifische Oberfläche

hat gelöscht: .

hat gelöscht: ie

hat gelöscht: homogener

hat gelöscht: oder Filtermittel mit jeweils gleichbleibendem Kohlenstoffanteil

hat gelöscht: Die spezifische Oberfläche ist ein Maß für die Qualität der Pflanzenkohle und ein Kontrollwert für die verwendete Pyrolysetechnik.

hat nach unten verschoben [1]: Das Wasserhaltevermögen (WHC) liefert einen Richtwert für die Mischung mit Flüssigkeiten und die Wirksamkeit für die Erhöhung des Wasserspeichervermögens von Böden oder für die Feuchtigkeitsaufnahme von Baumaterialien. Die Analyse des Wasserhaltevermögens ist nicht obligatorisch.

hat gelöscht: ¹⁾

hat gelöscht: n

hat gelöscht: kann hier

hat gelöscht: n

hat gelöscht: da alle entsprechenden Analysemethoden durch die notwendigen Schritte von Trocknung und Ausgasung (dem unter Druck applizierten Stickstoffmediums die Porenverteilung und Porenzugänglichkeit und damit die gemessenen Oberflächen beeinflussen. Um vergleichbare Analysewerte zu erhalten, ist es daher besonders wichtig, die ¹⁾

hat verschoben (Einfügung) [1]

hat gelöscht: Das Wasserhaltevermögen (WHC) liefert einen Richtwert für die Mischung mit Flüssigkeiten und die Wirksamkeit für die Erhöhung des Wasserspeichervermögens ²⁾

6.10 Grenzwerte für PAK-Gehalte (Summe der 16 Leitverbindungen der EPA) dürfen nicht überschritten werden.

Bei der Pyrolyse von organischen Materialien entstehen polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Die Menge der entstehenden PAK hängt insbesondere von den Prozessbedingungen kaum aber von den auf der EBC-Positivliste geführten Biomassen ab. Dank der modernen Pyrolysetechnik können die PAK-Belastungen deutlich gesenkt werden. Hohe PAK-Belastungen sind ein Zeichen für unzureichende bzw. ungeeignete Prozessbedingungen [9].

PAK werden von Pflanzenkohle sehr effizient gebunden, weshalb man Pflanzenkohle unter anderem zur Immobilisierung von PAK in kontaminierten Böden verwendet [10]. Vermutlich wäre daher auch das Risiko einer Schädigung von Umwelt und Anwendern als durchaus gering zu erachten, wenn die PAK-Grenzwerte für Pflanzenkohle höher als für andere organische Substrate wie Kompost oder Biogasgülle angesetzt würden. Wie aber u.a. von Hilber et al. 2019 [11] gezeigt wurde, können PAK von Pflanzenkohlen unter bestimmten Umständen durchaus in organischen Systemen wie z.B. einem Rinderpansen von der Pflanzenkohle abgelöst werden und somit das biologische System beeinträchtigen. Aus Gründen des Vorsorgeprinzips und der Anpassung an bereits bestehende Verordnungen für andere Substrate und Materialien in der Landwirtschaft und Industrie, orientieren sich die EBC-Grenzwerte für die verschiedenen Anwendungsklassen daher an den bereits bestehenden gesetzlichen Regelungen für vergleichbare Materialien.

Sowohl nach der schweizerischen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV [7]) als auch nach der EU-Bioverordnung [2] gilt für die 16 EPA-PAK ein Grenzwert von 4 mg kg⁻¹ TM, welcher somit auch als Grenzwert für EBC-AgroBio festgelegt wird.

Im Entwurf der neuen EU-Düngemittel-Verordnung wurde für die 16 EPA-PAK ein Grenzwert von 6 mg kg⁻¹ TM festgelegt. Ab 2021 wird dieser Grenzwert für EBC-Agro gelten. Für das Zertifizierungsjahr 2020 wurde als Übergangsregelung für EBC-Agro entschieden, noch den bisherigen Grenzwert für die Qualitätsstufe basic von 12 mg kg⁻¹ TM für EBC-Agro anzusetzen. Dieser Grenzwert der ehemaligen Qualitätsstufe basic orientierte sich in Abwesenheit sonstiger gesetzlicher Regelungen an einem Wert, der nach dem damaligen und derzeitigen Kenntnisstand das Risiko für den Boden und die Anwender als äußerst gering einstufen ließ.

Für EBC-Futter müssen mindestens die PAK-Grenzwerte von EBC-AgroBio eingehalten werden, zusätzlich gelten hinsichtlich wie im Kapitel 9 dar- und festgelegt die Vorgaben der EU-Futtermittel Verordnung.

Für EBC-Material wird ein Grenzwert von 35 mg kg⁻¹ TM eingeführt. Dieser Grenzwert orientiert sich einzig daran, was ohne besondere Schutzvorkehrungen wie Schutzkleidung, Verpackung, Lagerentlüftung usw. als ungefährlich für die mit diesen Stoffen umgehenden MitarbeiterInnen einzuschätzen ist. Bei entsprechenden Schutzmaßnahmen könnten Pflanzenkohlen auch mit deutlich höheren PAK-Gehalten zum Beispiel in Asphalt oder im Tiefbau eingesetzt werden, was zu gegebenem Zeitpunkt entschieden und in die EBC-Richtlinien für Spezialmaterialien aufgenommen werden wird. Momentan gibt es keine Veranlassung, Pflanzenkohle mit höheren PAK-Gehalten für die Anwendungspraxis zuzulassen. Es bestehen im Übrigen keine wesentlichen technischen Probleme,

hat gelöscht: 8

hat gelöscht: Die

Formatiert: Abstand Nach: 6 Pt.

hat gelöscht: der Pflanzenkohle müssen für die Qualitätsstufe basic unter 12 mg kg⁻¹ TM und für Qualitätsstufe premium unter 4 mg kg⁻¹ TM liegen.

hat gelöscht: Wie b

hat gelöscht: jeder thermischen Konversion entstehen auch bei

hat gelöscht: P

hat gelöscht: A

hat gelöscht: der

hat gelöscht: aktivierte

hat gelöscht: auch

hat gelöscht: als Luftfilter zur Entfernung von PAK aus Abgasen sowie

hat gelöscht: Das

hat gelöscht: der bei der Herstellung in der Pflanzenkohle gebundenen PAK wäre daher auch bei etwas höheren Grenzwerten, als denen der EBC, für den Einsatz in der Landwirtschaft als gering einzuschätzen.

hat gelöscht: Auch wenn ein Teil der an der Pflanzenkohle gebundenen PAK pflanzenverfügbar ist, so ist die Pflanzenverfügbarkeit doch deutlich niedriger als bei Kompost, Gärresten oder Gülle [10]. Zudem wird in der Kompostwirtschaft alle 3 Jahre bis zu 40 Tonnen Kompost pro Hektar ausgebracht, wohingegen für den Einsatz von Pflanzenkohle derzeit von maximal 40 Tonnen pro Hektar für einen Zeitraum von 100 Jahren ausgegangen wird. ¶ Trotzdem zeigt die Zulassungspraxis, dass der von der

hat gelöscht: e

hat gelöscht: für PAK auch künftig für Pflanzenkohle gelten wird und eine Ausnahmeregelung aufgrund der Sorptionseigenschaften der Pflanzenkohle kaum durchzusetzen sein wird. Der Grenzwert für die Qualitätsstufe premium entspricht daher der schweizerischen Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV), welcher als Richtwert in die Kompostverordnung eingegangen ist. In den Europäischen Bodenschutzverordnungen sind bisher keine PAK-Grenzwerte für Bodenhilfsmittel und organische Dünger festgelegt. ...

hat gelöscht: er

hat gelöscht: somit

hat gelöscht: ässt

hat gelöscht:

European Biochar Certificate

Pyrolyseanlagen so anzupassen und einzustellen, dass der Grenzwert von 35 mg kg⁻¹ TM erreichbar ist.

hat formatiert: Hochgestellt

Es ist zu beachten, dass aufgrund der hohen Adsorptionskraft der Pflanzenkohle die meisten zum Beispiel für Böden verwendeten Methoden zur Analyse von PAK nicht für Pflanzenkohle geeignet sind.[12]. Es ist daher unbedingt zu empfehlen, PAK-Analysen, die unabhängig von der Zertifizierung durchgeführt werden, durch EBC-akkreditierte Labors durchführen zu lassen.

hat gelöscht: üblichen

Bei den sehr niedrigen Grenzwerten für EBC-Futter und EBC-AgroBio lässt sich eine analytische Genauigkeit von nur 50% erreichen, bei dem höheren Grenzwert für EBC-Agro von 40%. Aus diesem Grund gilt der Grenzwert von 4 mg kg⁻¹ TM nur mit einer Genauigkeit von ± 2 mg kg⁻¹ TM. Für den höheren Grenzwert von EBC-Agro gilt eine Genauigkeit von ± 2,2 mg kg⁻¹ TM. Grundsätzlich ist zu bemerken, dass es bei einer so geringen analytischen Genauigkeit von 50% nicht als sinnvoll zu erachten ist, zwei so nah beieinanderliegende Grenzwerte festzulegen. Im Grunde lassen sich die PAK-Konzentrationen in diesem engen Bereich nicht unterscheiden. Die EBC folgt hier den verschiedenen EU-Verordnungen für die biologische und konventionelle Landwirtschaft und kann nur die EU-Verantwortlichen aufrufen, den Grenzwert zu vereinheitlichen.

hat gelöscht: Nach Untersuchungen an der Agroscope ART [12] kann erst nach einer längeren Toluol-Extraktion ein ausreichend repräsentativer Analysewert ermittelt werden. DIN EN 15527: 2008-09 (mit Toluol Extraktion) und DIN ISO 13877: 1995-06 (Prinzip B mit GC-MS) sowie DIN EN 16181:2019-08 (Extraktionsverfahren 2) entsprechen weitestgehend der Methode von Hilber et al.[12] und sind zulässig...

hat gelöscht: dem extrem

hat gelöscht: Premiumqualität

hat gelöscht: Basic-Qualität

hat gelöscht: 35

hat gelöscht: der Basic Qualität

hat gelöscht: 4

6.11 Grenzwerte für PCB, PCDD/F müssen eingehalten werden.

In modernen Pyrolyseanlagen entstehen nur sehr geringe Mengen an PCB, polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und -Furanen [13], so dass eine einmalige Kontrolle pro Anlage als ausreichend zu bewerten ist. Diese Schadstoffgehalte sind hauptsächlich vom Chlorgehalt der pyrolysierten Biomasse abhängig. Alle auf der Positivliste autorisierten Biomassen haben einen geringen Chlorgehalt und lassen bei der Pyrolyse nur äußerst geringe Gehalte dieser organischen Schadstoffe erwarten, die um mehrere Potenzen unterhalb des Grenzwertes liegen. Sollten die Kontrollorgane des EBC das Risiko einer Chlorbelastung der Ausgangsbiomassen für relevant halten, können zusätzliche Dioxinanalysen verlangt werden. Letzteres gilt insbesondere für EBC-Material, wo es zu Verunreinigungen mit chlorhaltigen Kunststoffresten kommen kann. Die Grenzwerte orientieren sich an den in Deutschland und in der Schweiz geltenden Bodenschutzverordnungen [16-18]. Für EBC-Material wurden zunächst keine unterschiedlichen Grenzwerte eingeführt, da es hier bisher an einer belastbaren Risikobeurteilung mangelt.

hat gelöscht: Zulässige Prüfungsverfahren: DIN EN 15527: 2008-09 (mit Toluol Extraktion); DIN EN 16181: 2019-08 Extraktionsverfahren. 2

hat gelöscht: 9

hat gelöscht: Der

hat gelöscht: -Gehalt muss unter 0,2 mg kg⁻¹ TM; der Gehalt an...

hat gelöscht: Dioxinen und Furanen

hat gelöscht: jeweils unter 20 ng kg⁻¹ (I-TEQ OMS) liegen.

hat gelöscht: er Dioxingehalt ist

hat gelöscht: Dioxingehalte

hat gelöscht: gefordert

(Angabe einmalig für jede Produktionsanlage mit einer Jahresproduktion von über 50 t Pflanzenkohle.)

7. Pyrolysetechnik

7.1 Die Biomassepyrolyse muss energieeffizient betrieben werden.

Eine externe Reaktorbeheizung mit fossilen Brennstoffen ist mit Ausnahme der Vorbeheizung des Pyrolysereaktors untersagt. Die Nutzung von Abwärme anderer industrieller Prozesse wie z.B. Biogasherstellung oder Zementherstellung oder die Nutzung von Solarthermie ist gestattet. Bei elektrischer Beheizung des Pyrolyse-Reaktors muss die Nutzung von erneuerbaren Energien oder die Nutzung von Strom-Überangeboten nachgewiesen werden.

7.2 Die bei der Pyrolyse entstehenden Synthesegase müssen abgefangen werden und dürfen nicht in die Atmosphäre entweichen.

Der überwiegende Teil der weltweit produzierten Holz- und Pflanzenkohle wird nach wie vor mit einer Technik hergestellt [14], bei welcher der größte Teil des Kohlenstoffs der ursprünglichen Biomasse als Klimagas in die Atmosphäre entweicht. Selbst wenn die Qualität der so hergestellten Pflanzenkohle die EBC Kriterien erfüllen könnte, so sind die Umweltbelastungen dieser Produktionsform schwerwiegend.

Werden die Pyrolysegase hingegen direkt zur Wärmenutzung sauber abgebrannt oder zur weiteren Verwertung als Treibstoffe oder chemische Rohstoffe abgeschieden, ist die Umweltbelastung gering und sogar deutlich besser als bei der Biomasseverbrennung oder Kompostierung. Nach den EBC Richtlinien ist die Pflanzenkohleherstellung nur dann gestattet, wenn keine unverbrannten Pyrolysegase in die Atmosphäre entweichen.

hat gelöscht: mögen

7.3 Bei der Verbrennung von Pyrolysegasen müssen die national geltenden Emissionsgrenzwerte für entsprechende Feuerungsanlagen eingehalten werden.

Die Emissionsgrenzwerte und -vorschriften sind in den verschiedenen europäischen Ländern jeweils unterschiedlich geregelt. Eine darüberhinausgehende Festlegung von Emissionsgrenzwerten für Pyrolyseanlagen würde die Zweck- und Verhältnismässigkeit der vorliegenden Richtlinien überschreiten. Die Hersteller müssen garantieren, dass ihre Anlagen die jeweiligen nationalen Emissionsvorschriften einhalten. Eine jährliche, staatlich akkreditierte Emissionsmessung der Produktionsanlage wird erwünscht. Zur Zertifizierung des C-Senken-Wertes von Pflanzenkohle muss die Produktionsanlage eine EBC-Typenzertifizierung vorweisen (siehe Kap. 10) oder mindestens drei unabhängige, akkreditierte Emissionsmessungen inklusive der Methan- oder Kohlenwasserstoffgehalte im Abgasstrom vorliegen.

hat gelöscht:

7.4 Die Abwärme der Pyrolyseanlage muss genutzt werden.

Etwa 35 – 60 % der in der Biomasse enthaltenen Energie findet sich nach dem Pyrolyseprozess im Pyrolysegas wieder. Ein Teil der Verbrennungsenergie des Pyrolysegases wird in der Regel zur Erwärmung der Biomasse verwendet, die darüber hinaus entstehende Abwärme muss zu mindestens 70% zum Trocknen von Biomasse, Heizzwecken, zur Stromherstellung oder auf ähnliche Weise genutzt werden. Für eine Übergangszeit von maximal 3 Jahren nach Installation der Pyrolyseanlage kann eine Ausnahmegenehmigung für eine fehlende Abwärmenutzung beantragt werden, um in dieser Zeit eine Lösung für eine effiziente Abwärmenutzung zu entwickeln. Wie unter 7.2 beschrieben, können Bioöl

European Biochar Certificate

und Pyrolysegase auch gespeichert und einer anderweitigen energetischen oder stofflichen Nutzung zugeführt werden.

Produktionsanlagen mit einer Jahresproduktion unter 50 t Pflanzenkohle sind von der Pflicht zur Abwärmenutzung ausgenommen, empfohlen ist es gleichwohl.

hat gelöscht: Energienutzung

hat gelöscht: freilich

8. Arbeitsschutz

8.1 Brand- und Staubschutzvorschriften müssen in der gesamten Herstellungs-, Transport- und Anwenderkette eingehalten werden.

8.2 Alle ArbeiterInnen müssen schriftlich über mögliche Risiken und Gefahren des Produktionsprozesses aufgeklärt werden und dies entsprechend signieren. Im Besonderen betrifft dies die Selbstentzündlichkeit von Kohlestaub, Atemschutz, Kontakt mit Bioöl und Teeren sowie möglicher Gasaustritt.

Kommentiert [HPS2]: Dies wird meines Wissens bisher nicht durch BioInspecta kontrolliert.

8.3 Bei Transport und Schüttgutumladung muss auf ausreichende Feuchtigkeit der Pflanzenkohle zur Verhinderung von Staubentwicklung geachtet werden.

8.4 Mitarbeitende sind auf der Anlage mit geeigneter Schutzkleidung und Atemschutzmasken auszustatten.

hat gelöscht: er

9. Pflanzenkohle für den Einsatz in der Tierfütterung (EBC-Futter)

Pflanzenkohle ist ein traditioneller Futterzusatzstoff, der häufig bei Verdauungsstörungen von Nutztieren eingesetzt wurde. Erst seit einigen Jahren wird Pflanzenkohle vermehrt auch im täglichen Mischfutter eingesetzt. Der Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel ist nach der EU-Futtermittelverordnung [15] zugelassen. Die Listung als Einzelfuttermittel in der deutschen Positivliste steht noch aus [16]. Entsprechend der Richtlinie 2002/32/EG vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung [17] sowie der Verordnung (EG) Nr. 396/2005 über Pestizide-Rückstände [18] gelten für den Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel gegenüber dem Einsatz als Bodenzusatz andere bzw. zusätzliche Grenzwerte. Im Folgenden werden die zusätzlich zum EBC-AgroBio zu erhebenden Parameter für die EBC-Zertifizierung von Pflanzenkohle als Tierfuttermittel spezifiziert. Die jeweils zulässigen Prüfverfahren sowie die analytischen Methoden für die einzelnen Parameter sind in Kapitel 14 detailliert.

9.1 Vorbedingung - EBC-AgroBio Qualität

Pflanzenkohle kann nur dann als EBC-Futter zertifiziert werden, sofern sämtliche Bedingungen für EBC-AgroBio Qualität erfüllt sind und der Produktionsstandort entsprechend zertifiziert wurde.

9.2 Biomasse – nur rein pflanzliche naturbelassene Biomassen sind zulässig

Bei der Einführung des EBC-Futter Zertifikats war zunächst nur naturbelassenes Stammholz als Ausgangsmaterial für Futterkohle zugelassen. Mittlerweile sind allerdings hinreichend viele wissenschaftliche Studien veröffentlicht worden [19], welche zeigen, dass Pflanzenkohlen, die aus anderen rein pflanzlichen Ausgangsmaterialien hergestellt wurden, ebenso positive Auswirkungen auf die Futtereffizienz und Tiergesundheit erzielen wie traditionelle Holzkohlen. Aus diesem Grund sind nunmehr sämtliche rein pflanzliche Biomassen entsprechend der EBC-Positivliste für die Herstellung von EBC-Futterkohle zugelassen. Damit entfällt die Festlegung eines Grenzwertes für den Kohlenstoffgehalt.

9.3 Schwermetalle

Nach der EU Futtermittelverordnung müssen die Gehalte der Schwermetalle Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber angegeben werden. Deren Grenzwerte unterscheiden sich für Futtermittel von denen für EBC-Premiumqualität. Für den Einsatz von Pflanzenkohle als Futtermittel gelten folgende Grenzwerte auf einer Basis von 88% des Trockenmassegehaltes der Pflanzenkohle: Arsen: 2 mg kg⁻¹, Blei: 10 mg kg⁻¹, Cadmium 1 mg kg⁻¹ und Quecksilber: 0.1 mg kg⁻¹.

hat gelöscht: m

hat gelöscht: Zertifikat

hat gelöscht: ¶

hat gelöscht: Premiumqual

hat gelöscht: ität

hat gelöscht: kohle

hat gelöscht: Premiumqualität

hat gelöscht: Pflanzenkohle aus naturbelassenem Holz ist zugelassen

hat gelöscht: Auch wenn mittlerweile ein Vielzahl wissenschaftlicher Studien positive Effekte auf die Tiergesundheit und -haltung nachweisen [18,19], gibt es bisher kaum Untersuchungen über spezifische Wirkungen verschiedenartiger Pflanzenkohlen und insbesondere Pflanzenkohlequalitäten auf die Verdauungsaktivitäten und das Tierwohl im Allgemeinen. Es liegen langjährige Erfahrungen beim Einsatz von Holzkohle und Aktivkohle vor, nicht aber von Pflanzenkohlen aus anderen Biomassen mit höheren Aschegehalten wie z.B. Stroh, Trester oder Grünschnitt. Es kann zum heutigen Zeitpunkt daher nicht sicher ausgeschlossen werden, dass stärker aschehaltige Pflanzenkohlen aus nicht holzartigen Biomassen bei langfristigem Einsatz negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit haben, auch wenn dies als eher unwahrscheinlich zu betrachten ist. Auf Grundlage des Vorsorgeprinzips wird folglich momentan nur Pflanzenkohle aus naturbelassenem, unbehandeltem Stammholz für den Einsatz als Tierfuttermittel zugelassen.

hat gelöscht: ¶

9.3 Kohlenstoffgehalt > 80% der Trockensubstanz¶

Der Kohlenstoffgehalt von Pflanzenkohle für den Einsatz als Futtermittel muss mindestens 80% der Trockensubstanz betragen. ¶

hat gelöscht: 4

hat gelöscht: ¶

9.4 Benzo[a]pyren < 25 µg/kg

Zusätzlich zu den PAK-Grenzwerten für EBC-AgroBio (4 mg PAK16 kg⁻¹), gilt für Pflanzenkohle für die Tierfütterung der spezifische Referenz-Grenzwert für karzinogene PAKs von 25 µg/kg Benzo[a]pyren.

hat gelöscht: 5

hat gelöscht: -

hat gelöscht: -

hat gelöscht: Premium-Qualität

hat gelöscht: -

hat gelöscht: -

hat gelöscht: 6

9.5 Dioxine, Furane, Dioxin ähnliche PCB (WHO-PCB) und nicht Dioxin ähnliche PCB (DIN-PCB).

Die EU Futtermittelverordnung schreibt strenge Grenzwerte für polychlorierte-Dioxine, -Furane und PCB vor, die deutlich unterhalb der Grenzwerte der Bodenschutzverordnung liegen. Aus diesem Grund muss (1) jede Charge von Pflanzenkohlen für Futtermittel auf diese Stoffe analysiert werden, und (2) muss das zulässige Prüfverfahren eine niedrigere Nachweisgrenze aufweisen. Es gelten hier folglich spezielle Prüfverfahren und Grenzwerte für Pflanzenkohle zum Einsatz als Futtermittel.

Für PCDD/PCDF gilt ein Auslösewert von 0,5 ng TE kg⁻¹ bei 88%TS und ein Grenzwert von 0,75 ng TE kg⁻¹ bei 88%TS. Für dl-PCB gilt ein Auslösewert von 0,35 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS. Für PCDD/PCDF + dl-PCB gilt der Grenzwert 1,25 ng TE kg⁻¹ bei 88% TS. Für die Summe 6 der DIN PCB gilt ein Grenzwert von 10 µg TE kg⁻¹ bei 88%TS.

9.6 Fluor < 150 mg kg⁻¹ (88% TS)

Fluorsalze sind bei Pyrolysebedingungen in der Regel flüchtig und werden in Pflanzenkohlen kaum in nennenswerten Konzentrationen auftreten. Aufgrund der EU Futtermittelverordnung ist die Analyse jedoch standardmässig vorgeschrieben.

hat gelöscht: 7

9.7 Trockensubstanz, Rohasche, Salzsäureunlösliche Asche

Die Angabe von Trockensubstanz, Rohaschegehalt und HCl-unlöslicher Asche sind vorgeschriebene Standardwerte der EU Futtermittelverordnung und müssen auf dem Lieferschein angegeben werden. Der Gehalt der Aschen muss durch Verbrennung bei 550°C ermittelt und auf einer Basis von 88% Trockensubstanzgehalt angegeben werden.

hat gelöscht: 8

9.8 Rohprotein, Rohfaser, Rohfett

Die Angabe der Rohprotein-, Rohfaser- und Rohfettgehalte sind vorgeschriebene Standardwerte der Futtermittelverordnung. Rohprotein, Rohfaser und Rohfett werden im Verlauf der vollständigen Pyrolyse komplett zersetzt und sind folglich in Pflanzenkohle nicht mehr vorhanden. Eine Pflanzenkohle gilt als vollständig pyrolysiert, sofern das H/Corg < 0.7 ist. Ist das H/Corg-Verhältnis nach EBC-AgroBio Qualität kleiner als 0,7, erübrigt sich die Analyse von Rohprotein, Rohfaser und Rohfett, deren Gehalte dann per Definition als 0 g kg⁻¹ angegeben werden. Die Angaben sind verpflichtend und müssen dem Lieferschein beigelegt werden.

hat gelöscht: 9

hat gelöscht: Premiumqualität

10. C-Senken Potential

10.1 Grundlagen

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 damit in mehreren Schritten in organische Moleküle wie z.B. Glukose, Zellulose oder Lignin aufbaut.

Wird pflanzliche Biomasse pyrolysiert, entweichen die leicht flüchtigen Kohlenstoffverbindungen der Biomasse als brennbares Gas, während die nichtflüchtigen Kohlenstoffe der Biomasse neue aromatische Cluster (d.h. 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 Kohlenstoffsенke (C-Senke) dar.

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 zur Reduktion der globalen Klimaerwärmung 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 anzusehen wäre. Zur Vermeidung etwaiger Missverständnisse nutzen die EBC-Richtlinien die Begriffe C-neutral, klimapositiv und klimanegativ.

Wird die Pflanzkohle direkt in Böden eingebracht oder gelangt sie über die Applikation im Tierfutter, in der Stalleinstreu, in der Gülle, im Kompost oder in Biogasanlagen indirekt in landwirtschaftliche Böden, lässt sich nach bisherigen Erkenntnissen eine durchschnittliche Abbaurate von 0,3% pro Jahr annehmen (Camps-Arbestain et al., 2015). 100 Jahre nach einer Bodenapplikation wären folglich noch 74% des ursprünglichen Kohlenstoffs der Pflanzkohle gespeichert. Es handelt sich hierbei um eine sehr konservative Hochrechnung, andere Quellen ermittelten je nach Pyrolysegrad und Versuchsanordnung deutlich geringere Abbauraten (Kuzjakov, Bogomolova & Glaser, 2014; Lehmann et al., 2015). In Ermangelung verlässlicherer Methoden und Langzeitversuche ist es allerdings unausweichlich, auf konservative Hochrechnungen zurückzugreifen und die klimarelevante Wirkung von C-Senken mit ausreichender Sicherheitsmarge zu berechnen.

Wird die Pflanzkohle in Baumaterialien als Sandersatz oder als Zusatz in Asphalt und Kunststoffen eingesetzt, so kann auch 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 Register auszutragen wäre.

Bei allen Varianten der Pflanzkohle-Anwendung muss stets bedacht werden, dass durch die Pflanzung der Biomasse, deren Ernte, Transport, Zerkleinerung, Pyrolyse, Pyrogasverbrennung, Vermahlung, Mischung und Boden- oder Materialeinbringung Treibhausgasemissionen verursacht werden, die in der Gesamtbilanz nicht vernachlässigt werden dürfen. Es genügt also nicht, wie oft noch üblich, nur den Kohlenstoffgehalt der Pflanzkohle für den Wert der C-Senke anzusetzen.

10.1.1 Definition und Berechnung des C-Senken Potentials

Verlässt eine Verpackungseinheit Pflanzkohle (z.B. ein Bigbag oder Container) den Ort ihrer Herstellung, so stellt die Pflanzkohle noch keine zertifizierte C-Senke dar, sondern besitzt lediglich das Potential, eine zertifizierte C-Senke zu werden. Wie groß dieses C-Senken Potential ist, wird im Rahmen der EBC-Zertifizierung berechnet.

Die ausgelieferte Pflanzkohle könnte von einem Feuer ergriffen werden, oder ein Kunde kauft sie zur Co-Feuerung in einem Biomassekraftwerk oder als Oxidationsmittel für die Stahlherstellung. In allen diesen Fällen würde der Kohlenstoff wieder als CO₂ in die Atmosphäre entweichen, womit die C-Senke aufgelöst werden würde.

Zu einer langfristigen und also solche zertifizierbaren C-Senke wird die Pflanzkohle erst ab dem Moment, wo sie nicht mehr verbrennen kann. Erst wenn Pflanzkohle über die Einmischung in Tierfutter, 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.

Das C-Senken Potential errechnet sich wie folgt:

- 1) Der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle wird nach EBC Methodik ermittelt und gibt den in der Pflanzenkohle gespeicherten Kohlenstoff in Massenprozent der Trockensubstanz an.
- 2) Alle durch die Bereitstellung der Biomasse bedingten Treibhausgas-Emissionen werden für die gesamte Produktionscharge in CO₂eq erfasst.
- 3) Alle Treibhausgas-Emissionen, die durch die Pyrolyseanlage und die nachfolgende Verarbeitung der Pflanzenkohle verursacht werden, werden für die gesamte Charge in CO₂eq erfasst.
- 4) Über den Faktor 0,2727 (Verhältnis der Atommasse von Kohlenstoff und der Molekülmasse von Kohlenstoffdioxid = $12 \text{ u} / 44 \text{ u} = 0,2727$) wird die ermittelte Gesamtmenge an CO₂eq in atomaren Kohlenstoff umgerechnet und ergibt den Kohlenstoffaufwand. Der Kohlenstoffaufwand einer Produktionscharge gibt an, wie viel Kohlenstoff als CO₂ 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 CO₂-Fußabdruck der Pflanzenkohle vom Ursprung der Biomasse bis zum Verlassen des Betriebsgeländes, auf dem die EBC zertifizierte Pyrolyseanlage betrieben wird. Das C-Senken Potential gibt an, welcher Gewichtsanteil einer gegebenen Menge Pflanzenkohle in eine langfristige C-Senke umgewandelt werden kann. Konkrete Berechnungsbeispiele finden sich weiter unten in zwei farblich unterlegten Kästen.

10.1.2 Definition der C-Neutralität des Biomasse-Inputmaterials

Das übergreifende Ziel der C-Senken-Zertifizierung ist es, die Gesamtmenge an Kohlenstoff, die in der Biosphäre und Geosphäre 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 der Biosphäre oder Geosphäre 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 der gesamte Kohlenstoffvorrat des Systems, in dem die Biomasse gewachsen ist, durch deren Entnahme nicht sinkt.

Pflanzkohle, die aus Biomassen hergestellt wurde, welche aus der Zerstörung oder dem Abbau einer natürlichen C-Senke stammt oder die zum Schwinden einer bereits vorhandenen Senke beiträgt, hat keinen C-Senkenwert und kann nicht als Klimadienleistung anerkannt werden.

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

10.2 Biomassekategorien

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

10.2.1 Landwirtschaftliche Biomassen

Werden einjährige Biomassen auf landwirtschaftlichen Flächen speziell zur pyrolytischen und/oder energetischen Nutzung angebaut (siehe Beispiel im farbigen Kasten oben), 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 Basis von einem Jahr (Referenzzeitraum) als C-neutral angesehen werden, so dass aus dem Teil, der durch Pyrolyse zu Pflanzkohle 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 («Kohlenstofferte») 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.

Das Beispiel vom einzelnen Baum

Wird der letzte Baum einer Insel gefällt, gehäckselt und in einer Pyrolyseanlage zu Pflanzenkohle 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 Pflanzenkohle verloren gegangen war.

Pflanzenkohle kann also nur dann eine klimapositive Wirkung erzielen, wenn die Produktion der Biomasse, die für die Herstellung von Pflanzenkohle verwendet wurde, zumindest kohlenstoffneutral ist. Das heißt, **erst wenn die Biomasse dort, wo sie geerntet wurde, wieder nachgewachsen ist, kann die Pflanzenkohle, die daraus erzeugt wurde, als Kohlenstoffsenke anerkannt werden.** 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 Pflanzenkohle enthalten, womit das System nicht nur neutral, sondern klimapositiv wäre. Diese Pflanzenkohle aus dem innerhalb von weniger als einem Jahr nachwachsenden *Miscanthus* ist, solange sie erhalten bleibt, eine zusätzliche C-Senke.

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 Kohlenstofferte** 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 wären 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. Erfolgte zur Erzeugung der Biomasse eine mineralische N-Düngung, muss deren Klimabilanz nach der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) vom C-Senkenwert abgezogen werden. Der Einsatz-Aufwand von Treibstoffen für Anbau und Ernte muss mit einem Umrechnungsfaktor von $3,2 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{l}$ Diesel (Jührich, 2016) ebenfalls vom C-Senken Potential abgezogen werden.

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

- 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% verarbeitet werden.
- Der Kohlenstoffaufwand beträgt $0,5 \text{ t CO}_2\text{eq}$ für die Düngung und $0,08 \text{ t CO}_2\text{eq}$ für den verbrauchten Diesel ($3,2 \text{ kg} * 25 \text{ l}$). Dies ergibt $0,58 \text{ t CO}_2\text{eq}$ ($0,16 \text{ t C}$).
- Die Erzeugung von 3 t Pflanzenkohle verbraucht für die Biomassebereitstellung $0,16 \text{ t C}$, was 5,3 Massenprozent (bezogen auf die Trockensubstanz der Pflanzenkohle) entspricht.
- Vorbehaltlich des Abzugs weiterer, durch die Pyrolyse und Nachbehandlung bedingter Emissionen (vgl. unten), beträgt das C-Senken Potential folglich $75\% - 5,3\% = 69,7\%$.

10.2.2 Organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung

Trester, Nussschalen, Obstkerne, Kaffeesatz und andere organische Reststoffe aus der Lebensmittelverarbeitung gelten als C-neutrale Inputmaterialien, denn die CO_2 -Bilanz der Lebensmittelherstellung ist auf die Herstellung der Primärprodukte (z.B. Wein, Olivenöl, Obstsaft, Kaffee) anzurechnen.

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

Werden Bäume oder Hecken auf landwirtschaftlichen Flächen nur verschnitten 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 Ackerforstwirtschaft gilt ebenso wie für Wälder, dass die kohlenstoffbewahrende Transformation eines Baumes erst dann als C-Senke gilt, wenn der gefällte Baum wieder nachgewachsen ist. 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.

Wenn zur Erzeugung der Biomasse mineralische N-Düngung erfolgte, muss deren Klimabilanz nach der Formel $100 \text{ kg N} = 1 \text{ t CO}_2\text{eq}$ (Zhang et al., 2013) vom C-Senken Potential abgezogen werden. Der Aufwand für Anbau und Ernte inkl. des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und Treibstoffen muss ebenfalls vom C-Senken-Wert abgezogen werden ($3,2 \text{ kg CO}_2\text{eq} / \text{l Diesel}$ (Jührich, 2016)).

10.2.4 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 Waldaufwuchses sollten die Flächeneinheiten 100 ha nicht überschreiten. Für den Aufbau von C-Senken durch Waldholzverarbeitung darf die Gesamtbiomasse eines bestehenden Wirtschaftswaldes pro Flächeneinheit von max. 100 ha 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 verdichtender Bergwald einen Kahlschlag im besser zugänglichen Tal kompensieren darf. **Bis zur Reform der unglücklichen 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.**

Wir möchten diese Entscheidung, uns an die Europäische Gesetzgebung zu halten, vor allem damit begründen, 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 (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 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 nicht als Biomasse-Input für die Herstellung von EBC zertifizierter Pflanzenkohle akzeptiert. Dementsprechend kann 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.

Der CO₂eq-Aufwand für die Holzernte muss vom C-Senken Potential abgezogen werden. Der dafür benötigte Aufwand an Dieseldieselkraftstoff wird mit dem Umrechnungsfaktor von 3,2 kg CO₂eq / l Diesel berechnet (Jührich, 2016).

Es wird davon ausgegangen, dass keine Düngung im Wald erfolgt, andernfalls müsste der CO₂eq-Aufwand für Düngung und etwaige Kalkung vom C-Senken Potential abgezogen werden.

10.2.5 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.

10.2.6 Sonstige biogene Reststoffe

Für die sonstigen auf der EBC-Positivliste geführten Biomassen kann in der Regel von einem C-neutralen Ausgangswert ausgegangen werden. Dies wird bei der Zertifizierung des C-Senken-Wertes je nach eingesetztem Feedstock noch einmal einzeln betrachtet, so dass je nach Bedarf neue Feedstock-Klassen für die C-Senken Zertifizierung eröffnet werden können.

10.3 Abzüge für produktionsbedingte Emissionen

10.3.1 Energie- und Treibstoffaufwand für Transport, Bereitstellung der Biomassen und Nachbehandlung der Pflanzenkohle

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,
- (4) Nachbehandlung der Pflanzenkohle (z.B. Mahlen, Pelletieren),
- (5) Transport der Pflanzenkohle zum Abhollager (Fabrikator).

Bei der Zertifizierung werden für diese einzelnen Schritte der Verbrauch an Strom- und Treibstoff abgefragt. 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. Letzteres gilt ebenfalls, wenn die Pyrolyseanlage selbst Strom erzeugt und mindestens die dem Verbrauch äquivalente Strommenge ins Netz einspeist.

Für den Verbrauch von Dieselmotorkraftstoff für Transport, Häckseler, Trocknung usw. wird der vom deutschen Umweltministerium verwendete Umrechnungsfaktor von 3,2 kg CO₂eq / l Diesel angesetzt (Jührich, 2016).

10.3.2 Externe Energie zum Betreiben der Pyrolyseanlage (Steuer- und Regeltechnik, Vorheizen, Heizen, Fördertechnik)

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 immer auch externe Energie nötig. So wird elektrische Energie für die Steuer- und Regeltechnik sowie das Fördern der Biomassen und Pflanzenkohle benötigt. Je nach Anlagentyp wird zudem (fossiles) Brenngas oder Strom für das Vorheizen der Reaktoren benötigt.

Bestimmte Anlagentypen produzieren neben Pflanzenkohle auch Pyrolyseöl und Pyrolysegas, verwenden dafür aber elektrische Energie zum Erhitzen der Biomasse.

Zur Berechnung des CO₂-Fussabdrucks der Pyrolyseanlage ist es folglich nötig, dass jede Anlage mit einem eigenen Stromzähler ausgestattet wird. Mittels des Stromzählers wird so der effektive Stromaufwand pro Produktionscharge bestimmt und über die CO₂-Emissionen pro kWh des verwendeten Strommixes in CO₂eq umgerechnet.

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 (Jührich, 2016)).

10.3.3 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.

Methan hat ein Klimaerwärmungspotential (GWP100), das über einen Zeitraum von 100 Jahren 34 mal höher ist als das von CO₂ (Myrhe et al., 2013). Insofern die entscheidende Phase für die Begrenzung der Klimaerwärmung die kommenden Jahrzehnte bis 2050 sind, sollte anstatt des GWP100 vielmehr das Klimaerwärmungspotential über den Zeitraum von 20 Jahren (GWP20) zugrunde gelegt werden, um die Vermeidung dieser kritischen Emissionen zu fördern. Der GWP20 von Methan beträgt 86. 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.

Aufgrund dieses sehr hohen GWP20 von Methan haben bereits sehr kleine Methanemissionen während des Pyrolyseprozesses großen Einfluss auf die Klimabilanz von 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.

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

- Bei einer Jahresproduktion von 500 t Pflanzenkohle (Trockensubstanz = TS) mit einem Kohlenstoffgehalt von 75% 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 kWh * 0,45 kg CO₂eq kWh⁻¹ = 22,5 t CO₂eq pro Jahr. Umgerechnet auf eine Tonne Pflanzenkohle ergibt dies (22,5 t CO₂eq / 500 t =) 45 kg CO₂eq.
- Die Emissionsmessung der Pyrolyse ergeben einen Methananteil von 10 ppm (6,6 mg CH₄ m⁻³) im Abgas. Bei einer Tagesproduktion von 3 t Pflanzenkohle beträgt der Abgasvolumenstrom 45.000 m³. Somit ergibt sich pro Tag eine **Methanemission** von 45.000 m³ * 6,6 mg CH₄ / m³ = 0,3 kg CH₄. Unter Verwendung des GWP20 von 86 CO₂eq für Methan ergibt sich ein täglicher CO₂eq von (0,3 kg CH₄ * 86 =) 25,5 kg, woraus sich ein Kohlenstoffaufwand von (25,5 kg / 3 t =) 8,5 kg CO₂eq pro t Pflanzenkohle (TS) ergibt.
- Zum **Vorheizen der Pyrolysereaktoren** werden pro Jahr 5 t Flüssiggas (LPG) mit einem CO₂eq von 3 t CO₂eq / t verbraucht. Dies ergibt einen Kohlenstoffaufwand von 15 t CO₂eq pro Jahr bzw. 30 kg CO₂eq pro t Pflanzenkohle (TS).
- Der **Gesamtkohlenstoffaufwand** für die Pyrolyse wird von (45 kg + 8,5 kg + 30 kg =) 83,5 kg CO₂eq in (83,5 kg CO₂eq / 44u * 12u =) 22,8 kg C pro t Pflanzenkohle (TS) umgerechnet. Dies ergibt (22,8 kg C pro 1000 kg Pflanzenkohle =) 2,3 Massenprozent.
- Einschließlich des Kohlenstoffaufwands für die Bereitstellung der Biomasse (siehe Kasten oben) ergibt sich somit ein **C-Senken Potential** der Pflanzenkohle ab Fabrikator von 75% (C-Gehalt) - 5,3% (Biomasse-Aufwand) - 2,3% (Pyrolyseaufwand) = 67,4%.
- **Ein Bigbag** mit 1,3 m³ Pflanzenkohle, einer Schüttdichte (bezogen auf TS) von 0,22 t m⁻³ hätte demnach ein **C-Senken Potential** von (1,3 m³ * 0,22 t m⁻³ * 67,4% =) 193 kg Kohlenstoff bzw. (193 kg * 44u / 12u =) 707 kg CO₂eq.
Das C-Senken Potential lässt sich ebenso über das Gewicht und den Wassergehalt der Verpackungseinheit bestimmen. Ein 381 kg schwerer Bigbag mit einem Wassergehalt von 25% hätte demnach ein **C-Senken Potential** von (381 kg * (1-25%) * 67,4% =) 193 kg Kohlenstoff bzw. (193 kg * 44u / 12u =) 707 kg CO₂eq.

Die Messung von geringen Methanemissionen unter 5 ppm sind technisch jedoch 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 nicht ausreichend überwacht werden können und wenige Einzelmessungen 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 der Standardabweichung. Liegen die Messergebnisse für Methan oder C_xH_x sämtlich unter dem Grenzwert der verwendeten Messgeräte, so wird der Grenzwert als durchschnittliche Methanemission angenommen. Die in die Berechnung eingehenden Methanemissionen sind somit höher als der ermittelte Durchschnitt und 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. Die Berechnung des CO₂eq der Methanemissionen erfolgt mittels des GWP20 von 86.

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.

10.4 Pflichtangaben für die Zertifizierung des C-Senken Potentials

Für die Berechnung des C-Senken Potentials pro Verpackungseinheit werden folgende Parameter benötigt, die direkt aus der EBC-Zertifikatsanalyse übernommen werden:

- C-Gehalt
- H / C_{org} – Verhältnis
- Schüttdichte bezogen auf Trockensubstanz und eine Partikelgröße < 3 mm

10.4.1 Das C-Senken Potential wird in Prozent der Pflanzenkohle-Trockensubstanz angegeben.

Es ist zu beachten, dass sowohl der Wassergehalt als auch die Schüttdichte von Pflanzenkohle erheblichen Schwankungen unterliegen kann. Während der Wassergehalt vor allem durch unterschiedliche Intensität des Ablöschens am Austrag, durch Aufnahme von Luftfeuchtigkeit oder Lufttrocknung variiert, verändert sich die Schüttdichte vor allem durch Abrieb beim Umschütten und Transport. Sofern werksseitig nicht sichergestellt werden kann, dass die Pflanzenkohle bei der Abfüllung der Verpackungseinheiten einen nur geringfügig schwankenden Wassergehalt ($\pm 3\%$) oder eine geringfügig schwankende Schüttdichte ($\pm 5\%$) aufweist, muss jeweils zum Zeitpunkt der Abfüllung für jede Verpackungseinheit von mehr als 1 m^3 der Trockensubstanzgehalt gesondert bestimmt und ausgewiesen werden.

Zur Bestimmung des Trockengewichts kann entweder das Bruttogewicht und der entsprechende Wassergehalt oder auch das Volumen der Verpackungseinheit und die Schüttdichte (bezogen auf die Trockensubstanz und eine Partikelgröße $< 3 \text{ mm}$) verwendet werden.

10.5 Verwendung und Handel des C-Senkenwerts durch akkreditierte Makler und Plattformen

Das C-Senken Potential des EBC-Zertifikates ist kein CO_2 -Zertifikat zur Kompensation von Emissionen und kann auch nicht als ein solches verkauft werden. Ab dem Moment, wo ein mit Pflanzenkohle gefüllter Container oder sonstiges Gebinde das Fabrikgelände verlässt, kann viel mit der Pflanzenkohle geschehen, was das C-Senken Potential reduziert oder komplett schwinden lässt. Wenn beim Transport der Pflanzenkohle fossile Treibstoffe verbrannt oder beim Pelletieren Strom verbraucht wird, so reduziert sich das C-Senken Potential um die dabei verursachten Treibhausgasemissionen. Wenn die Pflanzenkohle z.B. als Holzkohle verbrannt, zu Aktivkohle verarbeitet oder als Reduktionsmittel in der Stahlherstellung verwendet würde, ginge ein wesentlicher Anteil des Kohlenstoffs verloren. 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.

Das C-Senken Potential gibt also zunächst nur die momentane „Füllhöhe“ eines Kohlenstoffspeichers wieder, d.h. es gibt an, welcher Anteil vom Trockengewicht einer Pflanzenkohle ab Fabrikator als C-Senke anrechenbar ist. Solange die Verpackungseinheit verschlossen und geschützt auf dem Fabrikgelände gelagert ist, bleibt das C-Senken Potential unverändert erhalten.

Das EBC zertifizierte C-Senken Potential kann das Pflanzenkohle herstellende Unternehmen bei C-Senken Maklern oder Handelsplattformen registrieren lassen. Mittels eines sicheren Tracking-Systems verfolgen diese den Weg der Pflanzenkohle vom Fabrikator zur eigentlichen C-Senke (z.B. Einbringung in Böden oder Materialien). Ab dem Moment, wo die Pflanzenkohle in eine solche Matrix eingebunden wurde, kann das C-Senken Potential unter Abzug aller vom Fabrikator bis zur C-Senke verursachten Treibhausgasemissionen in C-Senken Zertifikate umgewandelt werden. Diese C-Senken Zertifikate können sodann verkauft und gehandelt werden, womit der EBC-zertifizierte Hersteller der Pflanzenkohle für seine erbrachte Klimadienleistung vergütet wird. Auf Basis der C-Senken Zertifikate können CO₂ Emissionen kompensiert oder C-Senken-Portfolios aufgebaut werden. Die Handelsplattformen müssen dabei mittels des Tracking-Systems folgendes sicherstellen:

- 1) 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 Werktores des EBC zertifizierten Pflanzenkohle-Herstellers anfällt, muss vom C-Senken Potenzial abgezogen werden. 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 ausgeschlossen werden kann.
- 2) Der Lebenszyklus der finalen Lagerstätte bzw. der Abbau der Pflanzenkohle in der finalen Lagerstätte muss einberechnet werden. Bei der Mischung in Substrate und Futtermittel, die schließlich in landwirtschaftliche oder urbane Böden eingebracht werden, muss sodann die jährliche Abbaurate der Pflanzenkohle entsprechend des H/C_{org}-Verhältnisses der Pflanzenkohle angesetzt werden (Camps-Arbestain et al., 2015; IPCC, 2019). 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.
- 3) Es muss effizient verhindert werden, dass es zu Doppelzertifizierungen kommt. Wenn in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle zum Beispiel als C-Senke zertifiziert wurde, darf der Besitzer des Bodens die Pflanzenkohle nicht auch noch über Humuszertifikate als C-Senke verkaufen. Dies muss z.B. durch einen entsprechenden Vermerk auf dem Lieferschein der Pflanzenkohle vom Endkunden durch Unterschrift bestätigt werden. Pflanzenkohle, deren Nachverfolgung nicht sichergestellt ist, darf im Handelssystem nicht als C-Senke geführt werden.

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, dass sich das pflanzenkohlehaltige Material weiterhin in Verwendung befindet und nicht durch Verbrennung in CO₂ umgewandelt wurde.

Für die Einbindung in Baumaterialien wie Beton, Kalkputz, Gips oder Lehm kann von einer dauerhaften Senke ausgegangen werden, da das Baumaterial eine Verbrennung unmöglich macht und weit besser als der Boden vor biologischem und chemischem Abbau schützt. Für Zeiträume von 100 – 250 Jahren muss hierfür keine Abbaurate 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 Klimadienleistung verkauft wird, die auch tatsächlich unter Abzug aller THG-Verluste als C-Senke Bestand hat, führt das EBC eine Akkreditierung von C-Senken Händlern und Handelsplattformen ein.

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 auch ein Pflanzenkohle Hersteller als C-Senken Händler akkreditieren lassen und somit CO₂-Zertifikate zum Beispiel an Landwirte oder Bauunternehmer oder an Dritte verkaufen.

Zitierte Literatur

- Camps-Arbestain M, Amonette JE, 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*. London: Routledge, 165–194.
- 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.
- 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.
- 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, Ap4.1.
- 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 Biology and Biochemistry* 70:229–236. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.12.021.
- Lehmann J, Abiven S, Kleber M, Pan G, Singh BP, Sohi SP, Zimmerman AR. 2015. Persistence of biochar in soil. In: Lehmann J, Joseph SD eds. *Biochar for environmental management*. London: Routledge, 235–299.
- Myrhe GD, Chindell F-M, Bréon W, Collins J, Fuglestvedt 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 TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM 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,.
- Song J, Chen C, Zhu S, Zhu M, Dai J, Ray U, Li Y, Kuang Y, Li Y, Quispe N, Yao Y, Gong A, Leiste UH, Bruck HA, Zhu JY, Vellore A, Li H, Minus ML, Jia Z, Martini A, Li T, Hu L. 2018. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* 554:224–228. DOI: 10.1038/nature25476.
- 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 KG, Zhang F-S. 2013. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110:8375–8380. DOI: 10.1073/pnas.1210447110.

11. Zertifizierung von Pflanzenkohle-Produkten und verarbeitenden Betrieben

In der Landwirtschaft und Tierhaltung wird Pflanzenkohle nur in seltenen Fällen in Reinform, sondern meist als verarbeitetes Produkt wie beispielsweise als Pflanzsubstrat, Kompost, Dünger, Einstreu, Silierhilfe oder Futtermittel eingesetzt. Neben den Industriebetrieben, die sich auf die Herstellung von Pflanzenkohle spezialisiert haben, hat sich ein wachsender Wirtschaftszweig entwickelt, der Pflanzenkohle als Rohstoff zur Herstellung von Pflanzenkohle basierten Produkten erwirbt und weiterverarbeitet.

Um zu garantieren und ordnungsgemäß zu kennzeichnen, dass diese Produkte unter Verwendung von EBC zertifizierter Pflanzenkohle hergestellt wurden, genügt es nicht, nur die Pflanzenkohle an sich zu zertifizieren, sondern es müssen auch die Verarbeitung, die Verpackung und die Kennzeichnung der Produkte nach EBC Richtlinien kontrolliert und zertifiziert werden.

Produkte, die Pflanzenkohle enthalten, dürfen nur dann das EBC Logo sowie die Aufschrift „Hergestellt mit EBC zertifizierter Pflanzenkohle“ verwenden, wenn die verarbeitenden Betriebe und deren Produkte nach den folgenden Richtlinien zertifiziert wurden.

11.1 Ausschließliche Verwendung EBC zertifizierter Pflanzenkohle

Die Risiken des Einsatzes nicht zertifizierter Pflanzenkohlen in der Landwirtschaft, in der Tierhaltung und in Produkten, die wie Kompost oder Biogasgülle letztlich für den landwirtschaftlichen Einsatz bestimmt sind, werden als sehr hoch eingestuft, da in diesem Fall Schadstoffe wie PAK, Dioxine und Schwermetalle in die menschliche Nahrungskette gelangen und sich dauerhaft in Böden akkumulieren könnten.

Aus diesem Grund dürfen Produkte, die unter Verwendung von Pflanzenkohle hergestellt wurden, nur dann EBC zertifiziert werden, wenn der gesamte Betrieb, welcher Pflanzenkohle verarbeitet, ausschließlich EBC zertifizierte Pflanzenkohle für die Herstellung von Produkten für den Einsatz in der Landwirtschaft oder Tierhaltung verwendet. Nicht EBC-zertifizierte Pflanzenkohle darf mittels einer EBC-Ausnahmebewilligung für industrielle Verwendungszwecke wie z.B. in Baumaterialien und Kunststoffen oder als Grillkohle auf dem Betrieb verarbeitet werden, sofern die räumliche Trennung von zertifizierten Pflanzenkohlen sowie der Anwenderschutz sichergestellt sind. Ohne EBC-Ausnahmebewilligung darf auf dem Betrieb keine nicht EBC zertifizierte Pflanzenkohle verwendet, gelagert und gehandelt werden.

11.2 Wareneingangskontrolle

Sämtliche Wareneingänge von Pflanzenkohle oder Pflanzenkohle basierten Produkten müssen auf den entsprechenden Lieferscheinen und Etiketten das jeweilige EBC-Zertifikat (EBC-AgroBio, EBC-Agro, EBC-Futter oder EBC-Material) ausweisen. Die Wareneingangskontrolle ist zu dokumentieren. Nicht gekennzeichnete Pflanzenkohle und Pflanzenkohle basierte Produkte dürfen nicht weiterverarbeitet werden.

hat gelöscht: C-Senken Wert

Pflanzliche Biomasse besteht zu ca. 50% aus Kohlenstoff, den die Pflanze während ihres Lebenszyklus in Form von CO₂ aus der Atmosphäre entzogen hat. Durch den pflanzlichen Stoffwechsel wird das C aus dem aufgenommenen CO₂ zu organischen Molekülen wie z.B. Glukose, Zellulose oder Lignin aufgebaut. Das O₂ des aufgenommenen CO₂ hingegen wird von den Pflanzen wieder in die Atmosphäre abgegeben (das Prinzip der «Grünen Lunge»).

Wird pflanzliche Biomasse pyrolysiert, werden die leicht flüchtigen Kohlenstoffe der Biomasse in ein brennbares Gas umgewandelt, während die nichtflüchtigen Kohlenstoffe der Biomasse neue aromatische Cluster (d.h. Pflanzenkohle) bilden. Die Pflanzenkohle ist damit kein organischer Kohlenstoff mehr, sondern eine Art mineralischer Kohlenstoff, der kaum biologisch oder chemisch abgebaut werden kann. Sofern wirksam verhindert wird, dass die Pflanzenkohle nicht verbrennt, verbleibt der Kohlenstoff der Pflanzenkohle über mehrere Jahrhunderte im terrestrischen System und stellt somit eine Kohlenstoffsinke (C-Senke) dar.

Wird die Pflanzenkohle also entweder direkt in Böden eingebracht oder gelangt sie über die Applikation im Tierfutter, in der Stalleinstreu, in der Gülle, im Kompost oder in Biogasanlagen indirekt in landwirtschaftliche Böden oder dient sie in Baumaterialien als Sandersatz und wird sie als Zusatz in Asphalt und Kunststoffen eingesetzt, so kann davon ausgegangen werden, dass die Pflanzenkohle über Jahrhunderte weitestgehend stabil ist und ihr Kohlenstoff größtenteils als C-Senke erhalten bleibt.

Um den Wert für das globale Klima zu ermitteln, den eine Pflanzenkohle als C-Senke hat, genügt es jedoch nicht, nur den Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle zu ermitteln. Es müssen auch die gesamten Treibhausgase angerechnet werden, die von der Pflanzung der Biomasse, deren Ernte, Transport, Zerkleinerung, Pyrolyse, Pyrogasverbrennung, Vermahlung, Mischung und Boden- oder Materialeinbringung verursacht werden. Der Wert der C-Senke ergibt sich dann aus dem Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle minus dem Klimaaufwand ihrer Herstellung und Verwertung.

Biomasse

Wird ein Baum gefällt, gehäckselt und in einer Pyrolyseanlage zu Pflanzenkohle 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 Pflanzenkohle verloren gegangen war. Da aber in der Zeit, in welcher der neue Baum nachwächst, das CO₂, das bei der Holzverarbeitung des gefällten Baumes emittiert wurde, bereits als Treibhausgas in der Atmosphäre für die Erwärmung des Klimas sorgt, dauert...

hat gelöscht: 0

hat gelöscht: es

hat gelöscht:

hat gelöscht: 0

hat gelöscht: premium

hat gelöscht: basic

hat gelöscht: Futter

11.3 Lagerung

Pflanzkohle und Pflanzkohle basierte Produkte müssen so gelagert werden, dass es zu keinen Verunreinigen mit Fremdstoffen kommen kann. Hierbei ist insbesondere auch auf gasförmige Schadstoffe (z.B. Motorenabgase) zu achten, da diese von der Pflanzkohle absorbiert werden können. Es ist sicher zu stellen, dass weder unterschiedliche EBC-Qualitäten (**EBC-AgroBio, EBC-Agro, EBC-Futter oder EBC-Material**) noch unterschiedliche Chargen verschiedener oder gleicher Hersteller vermischt werden können. Die Qualität und Herkunft gelagerter Pflanzkohle muss gut sichtbar mit einer eindeutigen und nachvollziehbaren Identifikationsnummer und Bezeichnung ausgewiesen werden.

hat gelöscht: 0

hat gelöscht: EBC premium, EBC basic, EBC Futter)

11.4 Verarbeitungsjournal

Jeder Verarbeitungsschritt von Pflanzkohle und Pflanzkohle basierten Produkten muss nachvollziehbar in einem Verarbeitungsprotokoll dokumentiert werden. Hierbei sind die Menge und Qualität der jeweils verwendeten Pflanzkohle sowie die Menge an Pflanzkohle im Endprodukt aufzuführen.

Werden die Pflanzkohlen oder Pflanzkohle basierten Produkte lediglich umverpackt, unterverpackt oder umetikettiert muss ein ebensolches Verarbeitungsjournal über Menge und Qualität der Ausgangsstoffe sowie der Endprodukte geführt werden.

Eine Warenflusskontrolle (Abgleich von Wareneingang, Verarbeitung und Warenausgang) muss jederzeit möglich sein.

hat gelöscht: 0

Formatiert: Standard, Einzug: Links: 0 cm

hat gelöscht: ¶
¶

12. Kennzeichnungspflichten und Werbung mit EBC-Zertifizierung

hat gelöscht: 1

12.1 Markenschutz und Pflichtangaben

hat gelöscht: 1

12.1.1 Eingetragene Marken

hat gelöscht: 1

Die Foundation Ithaka Institute hat am 24. Mai 2019 die folgenden Unionsmarken angemeldet

- (1) Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071838 «EBC» (**Wortmarke**) und
- (2) Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071835 «Certified Biochar EBC European Biochar Certificate (EBC)» (**Bildmarke**), Wiedergabe:



(im Folgenden "Unionsmarken" genannt).

Die Unionsmarken wurden jeweils für folgendes Verzeichnis angemeldet:

Klasse 01: Chemische Substanzen, chemische Materialien und chemische Präparate sowie natürliche Elemente, nämlich Pflanzenkohle (Biokohle), aus Aktivkohle bestehende Adsorptionsmittel, Aktivkohlefilter zur Reinigung von Gasen sowie Aktivkohlefilter zur Reinigung von Flüssigkeiten; Wachstums- und Düngemittel sowie chemische Erzeugnisse für die Land- und Forstwirtschaft sowie für den Gartenbau, nämlich Düngemittel (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle); Kiste, Füllstoffe und Leime für industrielle Zwecke, nämlich Kohle für Filter zur Beseitigung von organischen Verunreinigungen aus dem Wasser; Filtermaterialien [chemische, mineralische, pflanzliche und andere Materialien im Rohzustand], nämlich Aktivkohle.

Klasse 04: Brennstoffe, nämlich solche aus Pflanzenkohle (Biokohle, Holzkohle).

Klasse 05: Medizinische Futtermittelzusätze aus Pflanzenkohle (Biokohle).

Klasse 19: Baumaterialien und Bauelemente, nicht aus Metall, (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle.

Klasse 31: Futtermittel und Tiernahrung (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle); Streu- und Einstreumaterialien für Tiere (teilweise) bestehend aus Pflanzenkohle (Biokohle).

Klasse 40: Herstellung von Kohle durch Biomasse-Pyrolyse; Verarbeitung von Pflanzenkohle (Biokohle) als Rohstoff zur Herstellung verschiedenster Produkte.

(im Folgenden "beanspruchte Waren und Dienstleistungen" genannt).

12.1.2 Recht zur Markennutzung

Die Foundation Ithaka Institute gewährt

- (1) Herstellern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle, sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten,
- (2) Händlern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten und
- (3) Anwendern von EBC zertifizierter Pflanzenkohle (bspw. Landwirte, Betreiber von Kompostwerken, Betreiber von Biogasanlagen) sowie von Produkten, die EBC zertifizierte Pflanzenkohle enthalten (bspw. Landwirte, Gärtner, Tierhalter).

das Recht zur Nutzung der Unionsmarken für die beanspruchten Waren und Dienstleistungen unter folgenden Bedingungen:

Die Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071838 «EBC» (**Wortmarke**) darf nur in Alleinstellung oder mit folgenden Zusätzen benutzt werden:

- "Zertifikation" oder "zertifiziert"
- "**Agro**", "**Agro-Bio**", "**Futter**" oder "**Material**",

Die Unionsgewährleistungsmarke Nr. 018071835 «Certified Biochar EBC European Biochar Certificate (EBC)» (**Bildmarke**) darf nur so wie eingetragen benutzt werden. Zusätze oder Abwandlungen sind nicht erlaubt.

12.1.3 Vertragsstrafe

Verstößt der Nutzer der Gewährleistungsmarken schuldhaft gegen die Satzungen dieser Marken, so ist er zur Zahlung einer Geldstrafe von 500,- EUR bis 10.000,- EUR an die Foundation Ithaka Institute verpflichtet. Die Höhe der zu zahlenden Geldstrafe ist von der Foundation Ithaka Institute nach billigem Ermessen festzusetzen und im Streitfall von einem Gericht auf deren Angemessenheit hin zu überprüfen. Entsprechend entzieht die Foundation Ithaka Institute das Recht zur Nutzung der Gewährleistungsmarken.

12.2 Pflichtangaben bei Pflanzenkohle

Auf dem Lieferschein oder dem Etikett von Pflanzenkohlen müssen folgende Angaben über die Pflanzenkohle vermerkt sein:

- **Anwendungsklasse der Pflanzenkohle (Agro, Agro-Bio, Futter, Material)**
- Kohlenstoffgehalt
- H / Corg – Verhältnis
- Nährstoffgehalte (N, P, K, Ca, Mg)
- Die höchste im Prozess erreichte Pyrolysetemperatur
- pH-Wert, mit entsprechendem arbeitsschutzrechtlichen Hinweis, falls >10
- Spezifische Oberfläche

hat gelöscht: 1

hat gelöscht: Basic

hat gelöscht: Premium

hat gelöscht: oder

hat gelöscht: .

hat gelöscht: 1

hat gelöscht: 1

hat gelöscht: Qualitätsstufe (basic/premium/Futter)

hat formatiert: Schriftart: Avenir Book

- Wassergehalt
- Rohdichte

Es muss des Weiteren der vom EBC zugeteilte QR-Code des zertifizierten Batches auf der Verpackung und dem Lieferschein abgedruckt sein. Über diesen QR-Code können die Analysewerte der verwendeten Pflanzenkohle eingesehen werden.

12.3 Produktionsdatum und QR-Code

Neben dem QR-Code der Pflanzenkohle-Charge, muss auf jeder Verpackungseinheit das Produktionsdatum vermerkt werden. Bei großen Verpackungseinheiten, deren Inhalt über mehrere Tage produziert wird, ist der Produktionszeitraum zu markieren.

hat gelöscht: Es muss des Weiteren ein Internetlink oder QR-Code auf dem Etikett und Lieferschein abgedruckt sein, über welchen eine Kopie der EBC-Pflanzenkohle-Analyse der entsprechenden Charge eingesehen und heruntergeladen werden kann. ¶

Formatiert: Einzug: Links: 0 cm, Erste Zeile: 0 cm

Formatiert: Keine Aufzählungen oder Nummerierungen

12.4 Pflichtangaben bei Pflanzenkohle-Produkten

Beim Verkauf an Endkunden müssen auf dem Etikett von Pflanzenkohle-Produkten die folgende Angaben vermerkt sein:

- Anwendungsklasse der Pflanzenkohle (Agro, Agro-Bio, Futter, Material)
- Kohlenstoffgehalt der im Produkt enthaltenen Pflanzenkohle
- Pflanzenkohle-Gehalt als Trockengewicht
- QR-Code oder Internetlink auf die Pflanzenkohle-Analyse

hat gelöscht: 1

hat gelöscht: 3

hat gelöscht: Qualitätsstufe

hat gelöscht: basic/premium/Futter

Kommen in einem Produkt verschiedene EBC Qualitäten zur Verwendung, so darf das Endprodukt nur diejenige EBC-Qualitätsstufe tragen, welche der am niedrigsten zertifizierten Pflanzenkohle im Produkt entspricht. Hierbei gilt EBC-Material als niedrigste, worauf EBC-Agro, EBC-AgroBio und EBC Futter als höhere Qualitätsstufe folgen.

Für Futtermittel dürfen nur Pflanzenkohlen mit EBC-Futter Zertifizierung verwendet werden. Werden mehrere EBC Pflanzenkohlen im Produkt gemischt, ist ein entsprechend gemittelter Kohlenstoff-Gehalt anzugeben.

hat gelöscht: basic

hat gelöscht: premium als mittlere

hat gelöscht: c

hat gelöscht: ste

hat gelöscht: Der Pflanzenkohle-Gehalt ist entweder in Gewichts- oder in Volumenprozent anzugeben. ¶

Zertifizierte Zwischenhändler und Verarbeiter sind nicht verpflichtet, den Herstellernamen und Produktionsstandort der verarbeiteten Pflanzenkohle auf Etiketten und Lieferscheinen zu kennzeichnen.

hat gelöscht: Es muss des Weiteren ein Internetlink oder QR-Code auf dem Etikett und Lieferschein abgedruckt sein, über welchen die Analysewerte der verwendeten Pflanzenkohle eingesehen werden kann. Es muss hierfür nicht zwingend die Kopie der offiziellen EBC-Analyse des Pflanzenkohle-Herstellers publik gemacht werden. Der Kontrolleur überprüft die Konformität der Analyseergebnisse auf der Webseite und der EBC-Eurofins-Analyse des Lieferanten. ¶

13. Kontrolle und Zertifizierung

hat gelöscht: 2

Die Kontrolle des Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikats wird von der unabhängigen, staatlich akkreditierten Kontrollstelle bio.inspecta AG / q.inspecta GmbH europaweit koordiniert und auf den Produktionsbetrieben in den verschiedenen Länder abgenommen. Die Kontrolle findet einmal pro Jahr statt. Die Hersteller sind verpflichtet, die Produktionsprotokolle jeweils auf dem aktuellen Stand zu halten.

Jeder Pflanzenkohle-Hersteller muss gesamtheitlich als EBC-Produzent zertifiziert werden, und zwar unabhängig davon, ob sich nur ein Batch, mehrere oder alle Batches für eines der EBC-Zertifikate qualifizieren.

Pflanzenkohle aus nicht EBC zertifizierten Batches darf nicht in die Land- oder Viehwirtschaft verkauft werden.

Zur Wahrung der Verhältnismässigkeit werden Produzenten mit einer Jahresproduktion von weniger als 50 t Pflanzenkohle vom jährlichen Kontrollbesuch auf der Betriebsstätte entbunden. Die Einhaltung der Produktions- und Qualitätsrichtlinien werden durch die staatlich akkreditierte Kontrollstelle mithilfe von Selbstdeklarierung, Analyseprotokollen und detaillierter Produktionsbeschreibung evaluiert. Die Anforderungen hinsichtlich der Pflanzenkohleanalytik, der Grenzwerte, der Biomassen und dem Verkauf sind die gleichen wie für industrielle Hersteller.

Produziert ein Hersteller mehr als 50 t Pflanzenkohle pro Jahr, gilt dieser nicht mehr als Kleinproduzent und zwar unabhängig davon, ob nur ein Teil der gesamten Pflanzenkohle-Produktion zertifiziert werden soll. Produziert ein Hersteller z.B. 200 t Pflanzenkohle pro Jahr, will davon aber nur ein Batch von 40 t Pflanzenkohle nach EBC zertifizieren lassen, so ist ein jährlicher Kontrollbesuch auf der Betriebsstätte zwingend.

Für Pflanzenkohle verarbeitende Betriebe gilt ebenfalls eine Kleinproduzenten-Regelung. Werden pro Jahr weniger als 10 t Pflanzenkohle zu Pflanzenkohle basierten Produkten verarbeitet, sind diese Betriebe vom jährlichen Kontrollbesuch auf der Betriebsstätte entbunden. Die Einhaltung der Produktions- und Qualitätsrichtlinien werden durch die staatlich akkreditierte Kontrollstelle mithilfe von Selbstdeklarierung und Verarbeitungsprotokollen evaluiert.

Der Handel von unverpackter, loser Ware (z.B. Container) oder Unter- und Umverpackung sowie Umetikettierung unterliegen der Kontroll- und Zertifizierungspflicht verarbeitender Betriebe.

Der reine Handel von fertig verpackten und vom zertifizierten Hersteller nach EBC-Vorschrift gekennzeichneten Pflanzenkohle-Gebinden unterliegt keiner weiteren Kontroll- und Zertifizierungspflicht. Bringt also ein nicht zertifiziertes Unternehmen oder Person EBC-zertifizierte Pflanzenkohle oder Pflanzenkohle basierte Produkte in den Handel, so muss [in diesem Fall](#) sowohl der zertifizierte Hersteller als auch die Pflanzenkohle-Charge eindeutig rückverfolgbar sein. Der zertifizierte Hersteller muss somit auf Etikett oder Lieferschein genannt werden. Soll der ursprüngliche Hersteller auf der Verpackung oder dem

European Biochar Certificate

Lieferschein nicht genannt werden, muss der in Verkehr bringende Betrieb zwangsläufig EBC-zertifiziert werden, ansonsten darf er die Ware nicht als EBC-zertifiziert kennzeichnen.

Die Anmeldung zur Zertifizierung erfolgt direkt bei der Kontrollstelle q.inspecta. Es wird empfohlen, bereits vor Beginn der Produktion Kontakt aufzunehmen, um die korrekte Protokollierung in den Produktionsprozess einzubinden.

bio.inspecta AG
q.inspecta GmbH
Ackerstrasse
CH-5070 Frick
+41 (0) 62 865 63 00
+41 (0) 62 865 63 01
admin@bio-inspecta.ch

14. Analysemethoden für EBC-Pflanzenkohle

Basis-Paket

Probenvorbereitung (DIN 51701-3):

Zuerst wird nach einer Homogenisierung die Probe in repräsentative Teilmengen aufgeteilt.

Dieses Aufteilen der Probe geschieht durch Vierteln und Teilen der homogenisierten und aufgehäuften Probe.

Ca. 100 g der Originalprobe werden für die Bestimmung der Leitfähigkeit, des Salzgehaltes und des pH-Wertes abgefüllt.

Ein Teil der Probe wird bei 40 °C getrocknet und nach der Trocknung weiter aufgeteilt.

Ca. 250 g der 40 °C getrockneten Probe werden unzerkleinert zur Bestimmung der Reindichte verwendet und ein Teil davon zur Bestimmung der BET-Oberfläche auf < 3.15 mm gemahlen.

Ca. 50 g der 40 °C getrockneten Probe werden in einer Schwingmühle analysenfein gemahlen und zur weiteren Analytik (PAK, TGA, Asche; CHN, S, Spuren- und Hauptelemente) weiter verteilt. Sofern nicht anders spezifiziert, sind die Korngrößen der Analyseproben von den jeweiligen Normen vorgegeben.

Schüttdichte (in Anlehnung an VDLUFA-Methode A 13.2.1):

Die Probe (mindestens 300 ml) wird in einem Messzylinder aus Kunststoff (1 l) eingefüllt und die Probe im Gefäß gewogen. Nach 10maligem Verdichten mittels Fallvorrichtung wird das Volumen am Messzylinder abgelesen. Aus der Masse und dem Volumen der Probe wird die Schüttdichte in kg/m^3 errechnet.

Leitfähigkeit (Salzgehalt) nach BGK, Kap. III. C2 / analog DIN ISO 11265:

20 g der Originalprobe werden mit 200 ml vollentsalztem Wasser in einer PE-Flasche für eine Stunde geschüttelt. Anschließend wird filtriert und im Filtrat die Leitfähigkeit gemessen. Die Temperaturkorrektur der Leitfähigkeit erfolgt automatisch im Gerät. Die ausgegebene Leitfähigkeit bezieht sich auf 25 °C. Die Umrechnung der Leitfähigkeit auf den Salzgehalt erfolgt mit dem Faktor von $52,8 \text{ [mg KCl/l]}/[10^{-4}/\text{cm}]$ und wird in mg KCl/l angegeben. Berechnungsgrundlage ist hier die Leitfähigkeit ($14,12 \cdot 10^{-4} \text{ S/cm}$) einer 0,01 molaren Kaliumchloridlösung. Der Salzgehalt kann dann auf das Volumen der Frischsubstanz bezogen werden.

pH-Wert nach DIN ISO 10390 (CaCl₂):

Mindestens 5 ml luftgetrocknete Probe wird in ein Glasgefäß gegeben. Die das fünffache Volumen (25 ml) einer 0,01 M CaCl₂-Lösung wird hinzugegeben. Die Suspension wird 1 h geschüttelt (über Kopf). Die hergestellte Suspension wird direkt mit einem pH-Messgerät bestimmt.

Wassergehalt nach DIN 51718:

Verfahren A / Zwei-Stufen-Verfahren (Referenz-Verfahren für Steinkohle)

-Grobe Feuchtigkeit

Die Probe (100 - 1000 g) wird in einer Trocknungsschale gleichmäßig verteilt, auf 0,1 g gewogen und in einem Wärmeschrank bei (40±2) °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Falls erforderlich, wird die Probe insgesamt auf mehrere Bleche verteilt.

Auswertung: Grobe Feuchtigkeit (FG) in %

$$FG = \frac{m_E - m_R}{m_E} * 100$$

- FG = Grobe Feuchtigkeit in %
- m_E = Einwaage an Probengut in g
- m_R = Rückwaage an Probengut in g

-Hygroskopische Feuchtigkeit

Eine Teilmenge der luftgetrockneten und unter 1 mm Korngröße zerkleinerten Probe wird unmittelbar nach dem Teilen auf 0,1 mg in einen TGA-Tiegel eingewogen und bei (106 ±2) °C unter Stickstoffatmosphäre bis zur Massenkonstanz getrocknet.

Auswertung: Hygroskopische Feuchtigkeit (FH) in %

$$FH = \frac{m_E - m_R}{m_E} * 100$$

- FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %
- m_E = Einwaage an Probengut in g
- m_R = Rückwaage an Probengut in g

- Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt (W_t) in %

$$W_t = FG + FH * \frac{100 - FG}{100}$$

- W_t = Gesamtwassergehalt in %
- FG = Grobe Feuchtigkeit in %
- FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %

Aschegehalt (550 °C) analog DIN 51719:

Das entsprechende Programm auswählen (30 oder 60 min). Die Leergewichtsermittlung der Tiegel erfolgt automatisch. Die Probennummer für entsprechende Tiegelposition eingeben. 1 g der Analysenprobe in Keramiktiegel geben und gleichmäßig verteilen. Die Wägung erfolgt Tiegel-Positions-bezogen automatisch.

Automat durchläuft folgendes Heizprogramm:

Erwärmung um 5 K/min auf 106 °C unter Stickstoffatmosphäre bis zur Massenkonstanz (Δm < 0,05 %). Erhöhung der Temperatur um 5 K/min auf 550 °C

unter Sauerstoffatmosphäre, diese Temperatur für 30 bzw. 60 min halten bis zur Massenkonstanz ($\Delta m < 0,05 \%$).

Der Aschegehalt wird automatisch bestimmt und in Bezug auf die Analysenfeuchte berechnet.

Umrechnung auf andere Bezugszustände erfolgte extern!

Carbonat CO₂ analog DIN 51726:

1 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird auf 0,2 mg eingewogen und in den Zersetzungskolben gegeben. Das Gerät besteht aus einem Absorptionsturm, der die Luft von Kohlendioxid befreit, dem Zersetzungskolben mit einem Aufsatz um die Säure zuzugeben und drei daran angeschlossene Waschflaschen. Durch die Anlage wird von Kohlendioxid befreite Luft gesaugt. Nachdem die Anlage mit Inertgas gespült und die Waschflaschen mit einer Absorptionslösung aus BaCl₂ und NaOH Lösung befüllt wurden, werden 30 ml Zersetzungssäure (Salzsäure mit HgCl₂ als Katalysator und einem Netzmittel) in den Zersetzungskolben gegeben. Der Inhalt des Zersetzungskolbens wird ca. 10 min bis zum Sieden erhitzt. Der Inertgasstrom befördert das entstehende Kohlendioxid durch eine saure Lösung in der ersten Waschflasche in die beiden anderen Waschflaschen. In der zweiten Waschflasche löst sich das Kohlendioxid unter Verbrauch der Base und fällt als Bariumcarbonat aus. Tritt in der dritten Waschflasche ein Niederschlag auf, muss die Messung mit geringerer Einwaage wiederholt werden. Der Verbrauch an Base in der zweiten Waschflasche wird über eine pH-Titration mit Salzsäure ermittelt. Der Carbonatgehalt der Probe wird aus dem Basenverbrauch als CO₂ errechnet.

CHN nach DIN 51732:

Verwendung von TruSpec CHN

Die Probe (80-100 mg der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe) wird auf 0,1 % (relativ) direkt in eine Zinn-Kapsel eingewogen und diese verschlossen. Analyse der Messprobe im Gerät. Angabe des Kohlenstoffgehaltes, des Wasserstoffgehalt und des Stickstoffgehaltes in Massenprozent.

Schwefel nach DIN 51724-3:

Die vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird in einem Keramik-Tiegel (unter Zuhilfenahme von V₂O₅) bei hoher Temperatur (> 1300 °C) im Sauerstoffstrom oxidiert. Das entstehende SO₂ wird in einer IR-Zelle analysiert und einwaagebezogen als Gesamtschwefel angegeben.

Sauerstoffgehalt nach DIN 51733:

Der Sauerstoffanteil wird berechnet. Es wird angenommen, dass die Probe im Wesentlichen aus Asche, Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Sauerstoff besteht. Wird von 100 % der Asche-, Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff-

und Schwefelgehalt in Prozent abgezogen, ergibt sich der Sauerstoffgehalt in Prozent.

C_{org}, H/C und O/C (berechnet):

Aus den Ermittelten Gehalten können andere Größen und Verhältnisse berechnet werden.

C_{org} ergibt sich aus dem Gesamtkohlenstoffgehalt abzüglich des als CO₂ vorliegenden Kohlenstoffanteils.

PAK analog DIN EN 15527: 2009-09 (Extraktion mit Toluol); DIN EN 16181: 2019-08 Extraktionsverfahren 2

2,5 g der der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird eingewogen und mit 50 ml Toluol zwei Stunden am Rückfluss extrahiert. Der Extrakt wird auf weniger als 10 ml eingengt. Ein Aliquot der Phase wird zur Analyse in ein Rollrandfläschchen überführt und mittels Gaschromatographie auf PAK analysiert.

Spurenmoleküle nach Mikrowellenaufschluss nach DIN 22022-1, DIN 22022-7, DIN EN ISO 17294-2 / DIN EN 12846, DIN 22022-4: (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As, Hg)

Die vorgetrocknete und zerkleinerte Probe wird in das Reaktionsgefäß der Mikrowelle eingewogen. Dazu werden 6 ml Salpetersäure, 2,0 ml Wasserstoffperoxid und 0,4 ml Flußsäure gegeben. Anschließend wird das Reaktionsgefäß entsprechend verschlossen und in die Mikrowelle eingebaut.

Programmablauf des Mikrowellendruckaufschlusses:

- Aufheizphase (Raumtemperatur bis 190 °C) in 15 min
- Haltezeit bei 190 °C 20 min
- freies Abkühlen

zusätzlich nur notwendig bei Messung mittels ICP-OES:

Programmablauf der Flußsäuremaskierung (mit Borsäure, Zugabe 5 ml ges. Lösung):

- Aufheizphase (Raumtemperatur bis 160 °C) in 8 min
- Haltezeit bei 160 °C 7 min
- freies Abkühlen

Nach vollständiger Abkühlung werden die Reaktionsgefäße geöffnet und die Aufschluss-Lösung in 50 ml Kunststoff-Maßkolben überführt und mit entionisiertem Wasser aufgefüllt.

Die Verdünnten Aufschlusslösungen werden mittels ICP-MS vermessen (DIN EN ISO 17294-2).

Zur Bestimmung der Quecksilbergehalte können DIN EN ISO 12846 DIN 22022-4; DIN EN ISO 17294-2 und DIN 22022-7 angewandt werden.

Hauptelemente nach Schmelzaufschluss nach DIN 51729, DIN EN ISO 11885 / DIN EN ISO 17294-2: (P, Mg, Ca, K, Na, Fe, Si, S)

Der Schmelzaufschluss wird an der Asche der Biokohle durchgeführt. 200 mg der analysenfeinen Asche werden in einen Platintiegel eingewogen und mit 2 g Lithiummetaborat intensiv vermischt.

Der Platintiegel wird in einen Aufschlusssofen gestellt. Der Aufschluss verbleibt mindestens 15 Minuten bei 1050 °C im Ofen. Die Schmelze wird in Salzsäure aufgelöst und auf 500 ml aufgefüllt.

Die Proben werden am ICP-OES (DIN EN ISO 11885) oder ICP-MS (DIN EN ISO 17294-2) vermessen.

Spezifische Oberfläche nach DIN ISO 9277 (BET) und DIN 66137 (Dichte)

Die Probe wird bei 40 °C getrocknet und auf eine Partikelgröße < 3.15 mm gemahlen. Als Adsorptionsgas wird Stickstoff verwendet. Die Ausgasung findet unter Vakuum statt. Die Ausgasungstemperatur ist auf 150° C und die Ausgasungsdauer auf 2 Stunden festgelegt. Es wird das Multipoint BET-Modell angewandt.

15. Analytische Parameter für EBC-Futter

Spuremetalle

nach VDLUFA III oder DIN EN ISO17294-2

As, Pb, Cd, Hg: DIN EN 15763:2010-04

0,1 g bis 1 g des getrockneten, gemahlene und homogenisierten Materials werden in einen Kunststoffbecher (PTFE, PFA) oder Quarzbecher für die Mikrowelle eingewogen. Nach Zugabe von 65%iger Salpetersäure im Verhältnis 1+5 (Einwaage+Säure) und nach Zugabe von 30%igem Wasserstoffperoxid im Verhältnis 1+2,5 bis 1+10 (Einwaage+Wasserstoffperoxid) wird bei der für das System maximal zulässigen Temperatur aufgeschlossen (in der Regel 190°C). Aufheizphase: 15 min; Haltezeit: 30 min.

Nach dem Abkühlen wird quantitativ in ein Polypropylengefäß mit Volumenmarkierung überführt und mit 0,1 M Salpetersäure bis zur Marke aufgefüllt. Die Messung erfolgt mit ICP-MS oder ICP-OES. Beim Quecksilber werden Kaltdampf-AAS oder Atomfluoreszenzspektrometrie eingesetzt.

Benzo-A-Pyren für EBC-Futter

nach DIN EN 16181:2019-08 (Extraktionsverfahren 2)

Das Material wird zerkleinert (<1 mm) und bei maximal 35°C getrocknet. 10 g Probe werden mittels Soxhletextraktion 6 h mit Toluol unter Zugabe von geeigneten internen Standards extrahiert. Alternativ kann eine ASE Extraktion verwendet werden. Der Extrakt wird aufkonzentriert und entsprechend DIN ISO 13877 oder VDLUFA VII 3.3.3.2 mit Säulenchromatographie gereinigt. Die Messung und Quantifizierung des gereinigten Extraktes kann mit HPLC-FLD oder GC+Massenspektrometrie erfolgen. Geeignet sind MSD, MS/MS-, HRMS- oder TOF-Geräte.

PCB

nach DIN EN 16167, DIN EN 16215, VDLUFA VII 3.3.2.2

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann chemisch oder durch Gefriertrocknung getrocknet werden. 5-10 g Probe werden mittels Soxhletextraktion 6 h mit Toluol unter Zugabe von geeigneten internen Standards extrahiert. Alternativ kann eine ASE Extraktion verwendet werden. Der Extrakt wird aufkonzentriert und entsprechend VDLUFA VII 3.3.2.2 mit Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt. Die Messung und Quantifizierung des gereinigten Extraktes erfolgt mit GC-MS oder GC-ECD.

PCDD/PCDF/coplanare PCB

nach DIN EN 16190:2019-10, DIN EN 16215, Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (geändert durch Nr. 2017/771), HRGC/HRMS Bestätigungsverfahren

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann gefriergetrocknet werden. 2 g Probenmaterial werden nach Zugabe isopenmarkierter Standards 20 h mit Toluol im Soxhlet extrahiert. Alternativ können spezielle Heißeextraktoren wie die ASE eingesetzt werden. Nach Aufkonzentrierung wird der Extrakt nach VDLUFA Methode VII 3.3.2.4 durch mehrfache Säulenchromatographie gereinigt und kann in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. An dieser Stelle ist auch eine Gewinnung der DIN-PCB Fraktion möglich. Zuletzt erfolgt die Messung der Komponenten mit GC-HRMS.

Carbon

Testmethode: DIN 51732

Verwendung von TruSpec CHN (Hersteller: Leco)

Die Probe (80-100 mg der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe) wird auf 0,1 % (relativ) direkt in eine Zinn-Kapsel eingewogen und diese verschlossen. Analyse der Messprobe im Gerät. Angabe des Kohlenstoffgehaltes, des Wasserstoffgehalt und des Stickstoffgehaltes in Massenprozent.

Fluor

Testmethode: VDLUFA III 17.3.2, VDLUFA VII 2.2.2.1, DIN EN 16279:2012-09, BAFU F-7 2017 (DIN 38405-4:1985-07)

Das getrocknete und gemahlene Material wird verascht und mit Natriumhydroxid aufgeschlossen. Der erkaltete Aufschluss wird in Salzsäure unter Zugabe eines Komplexbildners (TISAB) gelöst. Anschließend wird ein pH-Wert von 5,5 eingestellt und der Fluoridgehalt mittels einer ionensensitiven Elektrode ermittelt.

Trockensubstanz

Testmethode: DIN 51718; VDLUFA III 3.1;

Mindestens 50 g der Probe werden entnommen und soweit erforderlich, unter Vermeidung von Feuchtigkeitsänderungen zerkleinert. 5 g Kohle werden auf 1 mg genau eingewogen und bei 103°C 4 h getrocknet. Nach dem Beladen des Ofens beginnt die Trocknungszeit erst nach genauem Erreichen der 103°C. Nach dem Abkühlen im Exsiccator wird auf 1 mg genau zurückgewogen.

Rohasche

analog to DIN 51719, VDLUFA III 8.1; HCl-insoluble ash: VDLUFA III 8.2

Etwa 5 g Probe werden auf 1 mg genau in eine geglühte und tarierte Veraschungsschale eingewogen. Die Schale wird in einen Muffelofen gebracht und

European Biochar Certificate

bei $550^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ so lange belassen, bis keine Kohlepartikel mehr zu erkennen sind. Nach Abkühlung im Exsiccator wird auf 1 mg zurückgewogen. Bei schwierigen Proben erfolgt eine Ammoniumnitratbehandlung entsprechend Methode VDLUFA 8.1.

16. Analytische Zusatzparameter

Brennwert / Heizwert nach DIN 51900:

Zur Bestimmung des Brenn- und Heizwertes wird ein Bombenkalorimeter benutzt, welches die Anforderungen gemäß genannter Norm erfüllt. 0,3 bis 0,8 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird in einen Verbrennungsbeutel, Kapsel oder Tiegel eingewogen. Die Probe wird in die Verbrennungsbombe mit dem Zünddraht, Zündfaden und 10-20 ml Eluent im Bombenunterteil eingebaut. Bombe wird in das Kalorimeter eingehängt. Die Befüllung mit Sauerstoff, die Zündung und die Messung geschehen automatisch. Nach der Verbrennung muss die Bombe auf Spuren einer unvollständigen Verbrennung überprüft werden. Mit den Kalibrierungs- und Messdaten kann der Brennwert und nach weiteren Korrekturen der Heizwert errechnet werden.

Aschegehalt (815 °C) DIN 51719:

Der Aschegehalt 815 °C wird nach dem Aschegehalt 550 °C bestimmt, die Temperatur wird vom Haltepunkt 550 °C mit 5 K/min weiter auf 815 °C aufgeheizt und bis zur Gewichtskonstanz (Massenunterschied $\pm 0,05$ %) geglüht.

Flüchtige Bestandteile nach DIN 51720:

1 g der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe wird in einen Tiegel (mit Deckel) eingewogen. Die Probe muss eine gleichmäßig dicke Schicht auf dem Tiegelboden bilden. Der Tiegel wird in den 900 ± 5 °C vorgeheizten Ofen gebracht. Nach 7 min (± 5 s) wird der Tiegel aus dem Ofen genommen und nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur zurückgewogen. Aus dem Masseverlust der Probe wird der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen berechnet.

Wasserhaltekapazität (WHC) nach DIN EN ISO 14238, Anhang A:

Die 2 mm Fraktion der Biochar-Probe wird im Wasserbad für einen Zeitraum von 24 Stunden gesättigt. Im Anschluss wird die Probe für 2 Stunden auf ein trockenes Sandbett aufgesetzt, um ungebundenes Wasser abzuziehen. Das gesättigte Material wird gewogen und in einem Trockenschrank bei max 105 °C getrocknet. Nach dem Trocknen wird die Probe erneut gewogen und die Wasserhaltekapazität bestimmt.

Thermogravimetrische Analyse:

Die TGA-Kurve wird analog zu den Bestimmungen der hygroskopischen Feuchte und des Aschegehaltes in der TGA ermittelt. Dazu wird 1 g der vorgetrockneten und gemahlten Probe in den TGA-Tiegel eingewogen. Während der Temperaturerhöhung von 30 °C auf 950 °C mit 10 K/min wird der Tiegel in kurzen Abständen im TGA-Ofen gewogen. Das Ergebnis wird grafisch dargestellt.

PCB

nach VDLUFA VII 3.3.2.2 (DIN-PCB; Heißextraktion, GC-MS) DIN EN 16167:2019-06 (Abweichend zur Norm Extraktionsverfahren 2 statt mit Petrolether mit Toluol als Extraktionsmittel), DIN 38414-20 und DIN EN 16215

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann chemisch oder durch Gefriertrocknung getrocknet werden. 5-10 g Probe werden mittels Soxhletextraktion 6 h mit Toluol unter Zugabe von geeigneten internen Standards extrahiert. Alternativ kann eine ASE Extraktion verwendet werden. Der Extrakt wird aufkonzentriert und entsprechend VDLUFA VII 3.3.2.2 mit Kieselgel-Säulenchromatographie gereinigt. Die Messung und Quantifizierung des gereinigten Extraktes erfolgt mit GC-MS oder GC-ECD.

PCDD/PCDF/coplanare PCB

DIN EN 16190:2019-10, DIN EN 16215, Verordnung (EG) Nr. 152/2009 (geändert durch Nr. 2017/771) HRGC/HRMS Bestätigungsverfahren, VDLUFA VII 3.3.2.4

Das Material wird zu Pulver (<1 mm) zerkleinert und bei maximal 35°C im Trockenschrank getrocknet. Alternativ kann gefriergetrocknet werden. 2 g Probenmaterial werden nach Zugabe isopenmarkierter Standards 20 h mit Toluol im Soxhlet extrahiert. Alternativ können spezielle Heißextraktoren wie die ASE eingesetzt werden. Nach Aufkonzentration wird der Extrakt durch mehrfache Säulenchromatographie gereinigt und kann in verschiedene Fraktionen unterteilt werden. An dieser Stelle ist auch eine Gewinnung der DIN-PCB Fraktion möglich. Zuletzt erfolgt die Messung der Komponenten mit GC-HRMS.

17. Referenzen

1. Huygens, D.; Saveyn, H.; Tonini, D.; Eder, P.; Delgado Sancho, P. *Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009)*; Brussels.
2. EU-Bio *EU-Bio Verordnung: DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/2164 DER KOMMISSION*; Brussels, 2019.
3. Gy, P. Sampling of discrete materials—a new introduction to the theory of sampling. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* **2004**, *74*, 7–24.
4. Schimmelpfennig, S.; Glaser, B. One Step Forward toward Characterization: Some Important Material Properties to Distinguish Biochars. *J. Environ. Qual.* **2012**, *41*, 1001.
5. Camps-Arbestain, M.; Amonette, J. E.; Singh, B.; Wang, T.; Schmidt, H.-P. A biochar classification system and associated test methods. In *Biochar for environmental management*; Lehmann, J.; Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 165–194.
6. BBodSchV *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung*; Deutsches Bundesamt für Umwelt: Berlin, 1999.
7. ChemRRV *Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen*; Bern, 2020.
8. Abfallverordnung-VVEA *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen*; Der Schweizerische Bundesrat: Bern, 2015.
9. Bucheli, T. D.; Hilber, I.; Schmidt, H. P. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. In *Biochar for environmental management: Science and technology*; earthscan, London, U., Ed.; 2015.
10. Li, H.; Qu, R.; Li, C.; Guo, W.; Han, X.; He, F.; Ma, Y.; Xing, B. Bioresource Technology Selective removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from soil washing effluents using biochars produced at different pyrolytic temperatures. *Bioresour. Technol.* **2014**, *163*, 193–198.
11. Hilber, I.; Arrigo, Y.; Zuber, M.; Bucheli, T. D. Desorption Resistance of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Biochars Incubated in Cow Ruminant Liquid in Vitro and in Vivo. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, *53*, 13695–13703.
12. Hilber, I.; Blum, F.; Leifeld, J.; Schmidt, H.-P.; Bucheli, T. D. Quantitative Determination of PAHs in Biochar: A Prerequisite To Ensure Its Quality and Safe Application. *J. Agric. Food Chem.* **2012**, *60*, 3042–50.
13. Bucheli, T. D.; Hilber, I.; Schmidt, H.-P. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar. In *Biochar for Environmental Management*; Lehmann, J.; Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 595–624.
14. Brown, R.; Campo, B. del; Boateng, A. A.; Garcia-Perez, M.; Masek, O. Fundamentals of biochar production. In *Biochar for environmental management*; Lehmann, J.; Joseph, S., Eds.; Routledge: London, 2015; pp. 39–62.
15. Europ, D. I. E.; Kommission, I.; Folgende, H. A. T.; Erlassen, V.; Barroso, M. Amtsblatt der Europäischen Union L 159 / 25 VERORDNUNG (EU) Nr . 575 / 2011 DER KOMMISSION vom 16 . Juni 2011 zum Katalog der Einzelfuttermittel gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union , gestützt auf die Verordnung (EG) N. **2011**, 25–65.
16. Positivliste für Einzelfuttermittel. **2014**.

hat gelöscht: 6

Feldfunktion geändert

hat formatiert: Englisch (USA)

hat formatiert: Englisch (USA)

hat formatiert: Englisch (USA)

17. Parlament, E. Richtlinie 2002/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0032> (accessed May 9, 2016).
18. Parlament, E. Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Februar 2005 über Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs und zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=URISERV%3AI21289> (accessed May 9, 2016).
19. Schmidt, H.-P.; Hagemann, N.; Draper, K.; Kammann, C. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ* **2019**, *7*, e7373.
20. 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. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2013**, *110*, 8375–8380.
21. EU-Parlament *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, 2018.
22. Song, J.; Chen, C.; Zhu, S.; Zhu, M.; Dai, J.; Ray, U.; Li, Y.; Kuang, Y.; Li, Y.; 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. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature* **2018**, *554*, 224–228.
23. Juhlich, K. *CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*; Berlin, 2016.
24. IPCC *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.; Cambridge, 2013.
25. 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. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; 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.; Cambridge, UK and New York, USA, 2013.

hat formatiert: Englisch (USA)

hat formatiert: Englisch (USA)

Seite 17: [1] hat gelöscht Schmidt, Hans-Peter 20.04.20 14:26:00

Seite 17: [2] hat gelöscht Schmidt, Hans-Peter 24.04.20 13:37:00

Seite 41: [3] hat gelöscht Schmidt, Hans-Peter 04.05.20 08:29:00