

Rechtlicher Umgang mit Pflanzenkohle

Gutachten im Auftrag des BAFU

15. Februar 2021

Maurer & Stäger AG, Dr. iur. et dipl. chem. Hans Maurer, Rechtsanwalt,
Fraumünsterstrasse 17, Postfach, CH-8024 Zürich;
Telefon 043 344 72 55; E-Mail: h.maurer@mst-law.ch

Abkürzungen	
AOX	absorbierbare organische Halogene
Avis de l'Anses 2018-SA-0200	Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail du 2 août 2019 relatif au projet d'arrêté fixant la composition des dossiers de demandes relatives à des autorisations de mise sur le marché et permis de matières fertilisantes, d'adjuvants pour matières fertilisantes et de supports de cultur
BaP	Benzo(a)pyren
BBodSchV	deutsche Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Stand: 10. Juni 2020
BioAbfV	deutsche Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung)
Bodenqualitätsverordnung	Voralberg: Verordnung der Landesregierung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz der Bodenqualität, Stand 15. Juni 2020
C. rur.	französischer Code rural et de la pêche maritime, Stand 1. Juli 2020
ChemRRV	Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (SR 814.81)
CO ₂ -Gesetz	Bundesgesetz über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (CO ₂ -Gesetz, SR 641.71), in der Fassung der Schlussabstimmung im National- und Ständerat vom 25. September 2020; Ablauf der Referendumsfrist: 14. Januar 2021
DF-EU-Öko-Verordnung	Durchführungsverordnung (EU) 2019/2164 der Kommission vom 17. Dezember 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle
DüV	schweizerische Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Dünger-Verordnung; SR 916.171)
DüMV	deutsche Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung), Stand: 10. Juni 2020
Düngemittelgesetz 1994	österreichisches Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, Stand: 10. Juni 2020
Düngemittelverordnung 2004	österreichische Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung 2004), Stand: 10. Juni 2020
DüBV	Verordnung des WBF über das Inverkehrbringen von Düngern (Düngerbuch-Verordnung WBF; SR 916.171.1)
EU	Europäische Union
EU-Öko-Verordnung	Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle; diese wurde 2018 abgelöst durch Verordnung (EU) 2018/848 des Europäi-

	schen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates
LRV	Luftreinhalte-Verordnung (SR 814.318.142)
Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021-2030	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 und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 und des Beschlusses Nr. 529/2013/EU
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	polychlorierte Biphenyle
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz (SR 814.01)
VBBö	Verordnung über Belastungen des Bodens (SR 814.12)
VHK	Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten (Kontaminantenverordnung, SR 817.022.15)
WBF	Bundesamt für Wirtschaft Bildung Forschung

Soweit nicht anders vermerkt sind die angeführten Internetlinks aktuell per Ende Juni 2020.

Inhalt

1.	Ausgangslage und Rechtsfragen	5
1.1	Ausgangslage.....	5
2.	Beantwortung der Fragen.....	7
2.1	Vorbemerkungen.....	7
2.2	Antwort auf Frage 1: „Gilt in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle in Deutschland, Österreich und Frankreich als Bodenverbesserer oder Fremdstoff?“	13
2.2.1	Rechtslage in Deutschland.....	13
2.2.2	Rechtslage in Österreich	14
2.2.3	Rechtslage in Frankreich.....	15
2.2.4	Fazit.....	15
2.3	Antwort auf Frage 2: „Welche gesetzlichen Grundlagen stehen in Deutschland, Österreich und Frankreich zum Schutz von natürlich gewachsenen Böden zur Verfügung und was bedeutet das für den Eintrag von Pflanzenkohle?“	16
2.3.1	Zusammensetzung von Pflanzenkohle	16
2.3.2	Massnahmen zum Bodenschutz	21
2.3.3	Bedeutung der Regelungen für den Eintrag von Pflanzenkohle in Böden.....	26
2.3.4	Fazit.....	28
2.4	Antwort auf Frage 3: "Kann Pflanzenkohle Auswirkungen auf die physikalische Belastung/Bodenstruktur oder Bodenbiologie haben?"	29
2.4.1	Physikalische Belastungen/Bodenstruktur	29
2.4.2	Auswirkungen von Pflanzenkohle auf die Bodenbiologie	31
2.5	Antwort auf Frage 4: „Kann der Eintrag von Pflanzenkohle in den Boden in Deutschland, Österreich und Frankreich als Kohlenstoffsequestrierung im Rahmen der nationalen Klimapolitik angerechnet werden und wenn ja, unter welchen Bedingungen?“.....	33
2.6	Antwort auf Frage 5: „Existieren auf EU-Ebene Regelungen zu Pflanzenkohle, die für die genannten Länder (Deutschland, Österreich, Frankreich) in der «Schnittstelle Pflanzenkohle – Klimapolitik» einen Rahmen vorgeben (etwa ähnlich der «Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021-2030» [https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_sv?2nd-language=de], die den Mitgliedsländern gewisse Vorgaben macht)?"	36
2.7	Antwort auf Frage 6: „Welche umwelt-, insbesondere bodenschutzrechtlichen Regelungen sollte die Schweiz für die Verwendung/den Einsatz von Pflanzenkohle treffen?“	36
2.7.1	Regelungsziele.....	36
2.7.2	Regelungsvorschlag.....	37
2.7.3	Zur Prüfung des PAK-Gehalts und weiterer Schadstoffe.....	42
2.7.4	Schlusswort	42

1. Ausgangslage und Rechtsfragen

1.1 Ausgangslage

1. Das vorliegende Gutachten befasst sich mit einem der ältesten vom Menschen hergestellten Produkt: Pflanzenkohle, auch genannt "Biokohle" oder, im englischen und französischen Sprachraum: "Biochar". Pflanzenkohle wird durch pyrolytische Verkohlung pflanzlicher Ausgangsstoffe hergestellt, also durch Erhitzen von Pflanzenmaterial auf Temperaturen von 380 bis 1'000 °C unter Ausschluss von Luftsauerstoff ("thermochemische Zersetzung"). Dabei wird ein Teil der organischen Verbindungen in flüchtige und flüssige Verbindungen umgewandelt und ein Teil in Pflanzenkohle, die nebst Kohlenstoff wenige Gewichtsprozent von chemisch gebundenem Wasserstoff enthält. Nebst der "normalen" Pyrolyse bestehen Verfahren mit Wasser oder Wasserdampf (Hydrothermale Karbonisierung [HTC-Kohle], Vapothermale Karbonisierung). Je nach Ausgangsmaterial (z.B. Holzart) und Reaktionsbedingungen erhält man Pflanzenkohle mit anderen Eigenschaften (z.B. Mikroporosität, Beständigkeit im Boden, Gehalte an Kohlenstoff, PAK, mineralischer Asche)¹.
2. Bei der Pyrolyse entstehen nebst Pflanzenkohle auch gasförmige Verbindungen ("Synthesegas", z.B. Methan) und eine braune Flüssigkeit ("Pyrolyseöl") mit einer Vielzahl von chemischen Verbindungen. Sowohl die Gase wie auch das Pyrolyseöl können energetisch oder als chemische Ausgangsstoffe genutzt werden². Ist das Pflanzenmaterial genügend trocken muss für die Pyrolyse nur zu Beginn Zündenergie eingesetzt werden. Im Übrigen ist der Prozess exotherm und läuft ohne Energiezufuhr (FN 1). Es kann sogar Wärmeenergie abgeführt und zum Beispiel für die Beheizung von Gebäuden verwendet werden.
3. Auf Pflanzenkohle beruhen viele Hoffnungen, so etwa für die Verwendung als:
 - Bodenverbesserer bzw. Bodenverbesserungsmittel für die Landwirtschaft,
 - Kohlenstoffsенке (C-Sequestrierung),
 - Zusatz zur Einstreu im Stall, zu Tierfutter, Mist, Gülle oder Kompost,
 - Filter für die Wasseraufbereitung,
 - Adsorptionsmittel zur Entfernung von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen,
 - Rohstoff für chemische Produkte, insbesondere organische Chemikalien.

Eine einschlägige Internet-Publikation listet 51 Anwendungen von Pflanzenkohle auf³. Das hohe Interesse an Pflanzenkohle zeigen die vielen Publikationen. So liefert die Suchmaschine "Google" 5,5 Mio. Ergebnisse zum Stichwort "Biochar", 2.8

¹ Zum Ganzen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzenkohle>.

² Zum Ganzen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pyrolyseöl>.

³ <http://www.ithaka-journal.net/55-anwendungen-von-pflanzenkohle>

Mio. zu "Holzkohle" und 0.16 Mio. zu "Pflanzenkohle". Eine gute Übersicht zum Thema gibt ein Bericht des deutschen Umweltbundesamts⁴.

4. Zu beachten sind nebst ökologischen Effekten auch allfällige sozioökonomische Auswirkungen einer "Pflanzenkohle-Wirtschaft", etwa die Steigerung der Wirtschaftskraft ländlicher Räume durch nachhaltiges Ressourcenmanagement (Kreislaufwirtschaft)⁵.
5. Das BAFU interessiert sich insbesondere für die Anwendung von Pflanzenkohle als Bodenverbesserer und für die C-Sequestrierung. Es hat den Gutachter beauftragt, die folgenden Fragen zu beantworten:
 1. Gilt in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle in Deutschland, Österreich und Frankreich als Bodenverbesserer oder als Fremdstoff?
 2. Welche gesetzlichen Grundlagen stehen in Deutschland, Österreich und Frankreich zum Schutz von natürlich gewachsenen Böden zur Verfügung und was bedeutet das für den Eintrag von Pflanzenkohle?
 3. Kann Pflanzenkohle Auswirkungen auf die physikalische Belastung/Bodenstruktur oder Bodenbiologie haben?
 4. Kann der Eintrag von Pflanzenkohle in den Boden in Deutschland, Österreich und Frankreich als Kohlenstoffsequestrierung im Rahmen der nationalen Klimapolitik angerechnet werden und wenn ja, unter welchen Bedingungen?
 5. Existieren auf EU-Ebene Regelungen zu Pflanzenkohle, die für die genannten Länder (Deutschland, Österreich, Frankreich) in der «Schnittstelle Pflanzenkohle – Klimapolitik» einen Rahmen vorgeben (etwa ähnlich der «Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021-2030» (https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_sv?2nd-language=de), die den Mitgliedsländern gewisse Vorgaben macht)?
 6. Welche umwelt-, insbesondere bodenschutzrechtlichen Regelungen sollte die Schweiz für die Verwendung/den Einsatz von Pflanzenkohle treffen?
6. Kein Thema dieses Gutachtens sind die Schadstoff-Emissionen aus dem Herstellungsprozess von Pflanzenkohle in die Umwelt. Es kann immerhin erwähnt werden,

⁴ Umweltbundesamt, Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden, Dessau-Rosslau, 2016, Umfang 256 Seiten, siehe: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/chancen-risiken-des-einsatzes-von-biokohle-anderer>

⁵ Diese Themen sind ein Forschungsschwerpunkt an der Universität Bayreuth (D), siehe: https://www.bayceer.uni-bayreuth.de/biochar/de/forschung/gru/html.php?id_obj=79436.

dass Pyrolyseanlagen die Anforderungen von Anhang 2 Ziffer 74 LRV (Anlagen zum Verbrennen von biogenen Abfällen und Erzeugnissen der Landwirtschaft) einhalten müssen.

2. Beantwortung der Fragen

2.1 Vorbemerkungen

Entwicklung auf EU-Ebene:

7. Der rechtliche Umgang mit Pflanzenkohle ist in der EU im Fluss. Am 17. Dezember 2019 ergänzte die EU-Kommission (welche die Funktion einer Exekutive wahrnimmt) mit einer Durchführungsverordnung ihre Durchführungsvorschriften zur EU-Öko-Verordnung (im Folgenden "**DF-EU-Öko-Verordnung**")⁶. Neu gilt, dass Pflanzenkohle mit bestimmten Anforderungen als **Bodenverbesserer** in der "ökologischen/biologischen Produktion" angewendet werden darf. Die neue Regelung findet sich in Anhang 1 der Durchführungsverordnung und lautet:

Zulassung	Bezeichnung Erzeugnisse, die nachstehende Stoffe enthalten, oder Gemische daraus:	Beschreibung, Anforderung an die Zusammensetzung, Verwendungsvorschriften
B	Pflanzenkohle — Pyrolyseprodukt aus einem breiten Spektrum von organischen Materialien pflanzlichen Ursprungs; wird als Bodenverbesserer eingesetzt.	Nur aus pflanzlichen Stoffen, unbehandelt oder mit in Anhang II aufgelisteten Produkten behandelt. Höchstwert von 4 mg polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) pro kg Trockenmasse. Dieser Wert wird alle zwei Jahre überprüft, wobei das Risiko der Akkumulation infolge mehrfacher Anwendungen Berücksichtigung findet.“

Abb. 1 Pflanzenkohle als Bodenverbesserer im Ökolandbau auf EU-Ebene

8. Daran sind folgende Aspekte bemerkenswert:

- Die EU-Kommission stufte Pflanzenkohle als "Bodenverbesserer" ein und nicht als Fremdstoff oder Dünger.
- Die EU-Kommission definiert als zulässige Ausgangsmaterialien für Pflanzenkohle nur "unbehandelte" oder "mit in Anhang II aufgelisteten Produkten behandelte" pflanzliche Stoffe. Damit fallen zum Beispiel Holzabfälle von Altbauten ausser Betracht und damit auch das Risiko, dass mit Holzschutzmitteln oder alten

⁶ Durchführungsverordnung (EU) 2019/2164 der Kommission vom 17. Dezember 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R2164>).

Schutzanstrichen (PCB) behandeltes Holz, woraus bei der Pyrolyse Dioxine entstehen können, zu Pflanzenkohle verarbeitet wird⁷. Verboten sind auch Fäkalien oder Blut von Tieren, aus denen ebenfalls Kohle hergestellt werden kann, obwohl namentlich bei Blut kaum ein Kontaminationsrisiko besteht. Ebenfalls unzulässig ist Pflanzenmaterial, das mit Pestiziden/Pflanzenschutzmitteln aus dem konventionellen Landbau behandelt wurde. Zulässig ist nur Pflanzenmaterial, bei dem eine Behandlung mit Pestiziden für den ökologischen Landbau gemäss Anhang II der Durchführungsverordnung erfolgte.

- Die EU-Kommission erachtete es als nötig, einen Grenzwert für die Belastung der Pflanzenkohle mit PAK vorzugeben, jedoch keine Grenzwerte für Blei, Kupfer, Nickel, etc. Dies wird offenbar den Mitgliedstaaten überlassen. Tatsächlich scheinen andere Schadstoffe als PAK auch kein Problem darzustellen, wie die EU in einem eigenen Forschungsprojekt festgestellt hat⁸. Demgegenüber schwankt der PAK-Gehalt stark mit der Art der Herstellung der Pflanzenkohle, weshalb ein solcher Grenzwert sehr sinnvoll ist.
- Die Regelung der Durchführungsverordnung gilt zwar als Ausführung eines unmittelbar geltenden Erlasses (EU-Öko-Verordnung) unmittelbar in jedem Mitgliedstaat⁹. Sie muss daher von den EU-Mitgliedstaaten nicht in nationales Recht umgesetzt werden („Durchgriffswirkung“). Allerdings sehen alle untersuchten Länder eine Zulassungspflicht für Dünger, Bodenhilfsmittel etc. vor¹⁰, was bedeutet, dass diese Länder die Pflanzenkohle auch noch in ihre Düngernormen aufnehmen müssen. Damit verbunden sind dann auch die landesspezifischen Vor-

⁷ Bis vor wenigen Jahrzehnten wurden als Holzschutzmittel PCB, DDT, Lindan und weitere chlorhaltige Pestizide eingesetzt (<https://wissenwiki.de/Holzschutzmittel>), welche in der Pyrolyse stark human- und ökotoxische polychlorierte Dioxine oder Furane bilden können.

⁸ EUROCHAR (Biochar for Carbon sequestration and large-scale removal of greenhouse gases (GHG) from the atmosphere (<https://cordis.europa.eu/article/id/169552-biochar-for-carbon-sequestration/de>). Die EUROCHAR-Wissenschaftler testen zwei verschiedene Methoden zur Herstellung von Pflanzenkohle: die Gasifizierung oder thermale Karbonisierung (Thermal Carbonisation, TC) und die hydrothermale Karbonisierung (Hydrothermal Carbonisation, HTC). Die verschiedenen Pflanzenkohlen wurden als Bodenverbesserungsmittel analysiert und in ganz Europa in der Natur getestet. Im Zuge des Projekts wurden je nach Biomassequelle und Behandlungsmethode große Unterschiede hinsichtlich der Zusammensetzung von Pflanzenkohle festgestellt. Durch TC hergestellte Pflanzenkohle ist stabiler und weist ein grösseres Sequestrierungspotenzial auf, als durch HTC hergestellte Pflanzenkohle. Keine Pflanzenkohle zeigte gegenüber Pflanzen eine Toxizität und alle chemischen Bestandteile lagen weit unter den EU-Grenzwerten.

⁹ Art. 61 EU-Ökoverordnung: "Diese Verordnung ist in allen ihren Teilen verbindlich und gilt unmittelbar in jedem Mitgliedstaat.". Zur Verbindlichkeit der Durchführungsverordnung: [https://de.wikipedia.org/wiki/Verordnung_\(EU\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Verordnung_(EU))

¹⁰ D: Art. 3 DüMV; AT: Art. 5 Abs. 1 Düngemittelgesetz; F: c. rur. Art. L 255-2;

gaben für Fremdstoffe wie Schwermetalle oder hochgiftige organische Verbindungen (Bsp. Dioxine), welche nicht Gegenstand der EU-Öko-Verordnung sind. In jener wird nur ein Grenzwert für PAK gesetzt.

9. Es liegt auf der Hand, dass sich die von der EU-Kommission vorgegebene Einstufung von Pflanzenkohle als Bodenverbesserer in den EU-Mitgliedsländern generell, also auch im konventionellen Landbau durchsetzen wird, soweit dies nicht bereits der Fall ist. Dasselbe dürfte für den maximalen PAK-Gehalt (4 mg/kg) gelten, zumal dieser schon seit einigen Jahren in den von einer privaten Organisation herausgegebenen Richtlinien¹¹ so vorgegeben wird.

Pflanzenkohle als Bodenverbesserer:

10. Ob mit der Zugabe von Pflanzenkohle in Böden die Bodenfruchtbarkeit verbessert wird und die landwirtschaftlichen Erträge steigen, ist für die temperate Zone (Mitteleuropa) fraglich. So stellte das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (eine deutsche Bundesanstalt) dazu fest¹²:

"In Versuchen mit Pyrolyse-Biokohle in tropischen, landwirtschaftlich genutzten Böden konnten positive Effekte der Biokohle auf den Ertrag gezeigt werden. Eine Ertragssteigerung wird hier vor allem auf eine Erhöhung des pH-Wertes der von Natur aus nährstoffarmen, tropischen Böden und eine somit verbesserte Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffspeicherefähigkeit sowie verringerte Aluminiumtoxizität zurückgeführt (Jeffery *et al.*, 2011). Seit 2007 werden auch in temperaten und mediterranen Regionen Labor- und Freilandversuche zu Auswirkungen der Biokohle auf Bodeneigenschaften und Pflanzenwachstum durchgeführt. Eine globale Meta-Analyse zeigt, dass es positive Ertragseffekte von Biokohle nur in tropischen Böden gibt, nicht aber in Böden der temperaten Zone wie in Deutschland (Jeffery *et al.*, 2017)."

11. Abgesehen davon werden der Pflanzenkohle aber viele positive Wirkungen auf den Boden zugeschrieben, so namentlich¹³:
- Verbesserung des Wasserspeichervermögens der Böden.
 - Zuwachs der Bodenbakterien, die in den Nischen der hochporösen Kohle einen geschützten Lebensraum finden, wodurch die Nährstoffumsetzung für die Pflanzen gefördert wird.
 - Zunahme der Mykorrhizen, wodurch eine verbesserte Wasser- und Mineralstoffaufnahme sowie wirksamer Schutz gegen Pflanzenschädlinge gewährleistet wird.

¹¹ European Biochar Foundation (EBC), 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', Arbaz, Switzerland, Version 7.2 of 4th February 2016, S. 14 <http://www.european-biochar.org/en/download>.

¹² Axel Don, Heinz Flessa, Kirstin Marx, Christopher Poeplau, Bärbel Tiemeyer, Bernhard Osterburg, Die 4-Promille-Initiative „Böden für Ernährungssicherung und Klima“ – Wissenschaftliche Bewertung und Diskussion möglicher Beiträge in Deutschland, in: Thünen Working Paper 112, S. 15, siehe: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_112.pdf.

¹³ https://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzenkohle#Pflanzenkohle_als_Bodenverbesserer

- Adsorption toxischer Bodenstoffe wie organische Schadstoffe und Schwermetalle, wodurch die Lebensmittelqualität und der Grundwasserschutz verbessert werden.
 - Höhere Bodendurchlüftung sowie bessere Aktivität von N-Bakterien und somit deutliche Reduktion der klimaschädlichen Methan- und Lachgas-Emissionen.
 - Effizientere Nährstoffdynamik, die sowohl für erhöhtes Pflanzenwachstum als auch für verminderte Nährstoffauswaschung sorgt
 - Verbesserung der Pflanzengesundheit durch induzierte Resistenz.
12. Die zitierte Feststellung, es liessen sich in temperaten Zonen kaum landwirtschaftliche Erträge erhöhen, könnte allerdings darauf zurückgehen, dass
- die der Pflanzenkohle zugeschriebenen Vorteile¹⁴ in unseren Böden wenig ertragsrelevant sind. So sind etwa das Wasserspeichervermögen, die Textur und pH-Verhältnisse meist gut, da schweizerische Böden jünger und tonreicher sind als jene der tropischen Zonen;
 - die Versuche vor allem in konventionell wirtschaftenden Betrieben durchgeführt wurden, für welche die vorgenannten Bodenprozesse wenig ertragsbestimmend sind, weil diesbezügliche Defizite – mit hohen Kollateralschäden – (einstweilen noch) durch den Einsatz von Dünger, Pestiziden, Maschinen und Bewässerung wett gemacht werden können. Demgegenüber bestehen zum Einsatz von Pflanzenkohle im Biolandbau erst relativ wenige Untersuchungen¹⁵.
13. Bei den bisher durchgeführten Forschungsarbeiten zur Anwendung von Biokohlen in Böden handelt es sich zudem fast ausschliesslich um Kurzzeitexperimente und Versuche von maximal drei Jahren Dauer (FN 4, S. XIV). Eine beschränkte Aussagekraft kommt den bisherigen Untersuchungen auch zu, weil Pflanzenkohle vor der Einbringung in den Boden mit Mist, Gülle, Kompost oder anderen organischen Materialien vorbehandelt (sprich: mit Nährstoffen aufgeladen) werden muss, da nur

¹⁴ Vgl. dazu die Meta-Analyse bei: Xiaoyu Liu et al, Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data, in: Plant and Soil volume 373 (2013), S. 583 ff., siehe: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1806-x>. Zitat aus der Zusammenfassung: "The analysis suggests a promising role for biochar soil amendment in improving crop productivity especially for dry land crops, and in acid, poor-structured soils though there was wide variation with soil, crop and biochar properties."

¹⁵ Thomas H Deluca /Si Gao, Use of Biochar in Organic Farming, in: Organic Farming: New advances toward sustainable agricultural systems, May 2019, S. 25 - 49, siehe: https://www.researchgate.net/publication/333095730_Use_of_Biochar_in_Organic_Farming.

dann positive Effekte erzielt werden und das Einbringen von unbehandelter Pflanzenkohle die Erträge sogar verringern kann (durch Bindung von Nährstoffen)¹⁶. Viele der bisherigen Studien wurden aber mit reiner Pflanzenkohle durchgeführt¹⁷.

14. Um ein besseres Bild über den landwirtschaftlichen Nutzen sowie die Auswirkungen auf die Bodenqualität von Pflanzenkohle zu erhalten, bedarf es weiterer Forschungsarbeit, insbesondere unter schweizerischen Bedingungen / in der temperierten Zone.

Pflanzenkohle für die C-Sequestrierung:

15. Die Ausbeute von Kohlenstoff (in der Pflanzenkohle) aus dem Ausgangsmaterial hängt wesentlich von den Reaktionsbedingungen ab (FN 4, S. 14 f.). Bei der Pyrolyse von Pflanzenmaterial enthält die resultierende Pflanzenkohle typischerweise rund 50% des Kohlenstoffs aus dem Ausgangsmaterial¹⁸. Die anderen rund 50% befinden sich im Synthesegas und Pyrolyseöl, welche (sinnvollerweise) zur Gewinnung der Prozessenergie verbrannt werden. Der Kohlenstoffgehalt in der Pflanzenkohle selbst liegt bei 75 – 95% (Pyrolyse; (FN 4, S. 14).)
16. Wird Pflanzenkohle in den Boden eingebracht, hängt der Umfang der C-Sequestrierung davon ab, welcher Anteil langfristig (viele hundert Jahre) im Boden verbleibt. Dafür bestimmend ist die Stabilität der Pflanzenkohle gegen biotischen und abiotischen Abbau. So eignet sich etwa HTC-Kohle nicht für die Sequestrierung, weil davon schon nach wenigen Jahren 30% abgebaut werden. Demgegenüber haben Pflanzenkohlen, die durch Pyrolyse bei Temperaturen von über 450 °C hergestellt werden, einen stabilen C-Anteil von 80 bis fast 100%. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass die Abbaustabilität auch von Bodeneigenschaften wie Bodenart, Bodenstruktur und Bodenmilieu sowie Klima und Bewirtschaftung bestimmt wird (a.a.O., S. 15).
17. Die Halbwertszeit und die Verweilzeit von Pflanzenkohle in Böden sind noch sehr unklar. So finden sich in der Literatur etwa folgende Angaben:

¹⁶ <https://www.regenerativ.ch/post/wundermittel-pflanzenkohle>.

¹⁷ BUND, Terra Preta / Pyrolysekohle BUND-Einschätzung ihrer Umweltrelevanz, S. 4 f. mit Hinweisen, siehe: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/_migrated/publications/150504_bund_sonstiges_bodenschutz_terra_preta_einschaetzung.pdf.

¹⁸ Agro Cleantech Verein, Pflanzenkohleeinsatz in der Landwirtschaft, Bern 2016, S. 3, siehe: https://agrocleantech.ch/images/Fachleute/Wissen/Pflanzenkohleeinsatz_in_der_Landwirtschaft_als_Klimamassnahme.pdf.

- Halbwertszeit von Pflanzenkohle aus Reisstroh und Spelzen: 500 bis 750 Jahre¹⁹;
 - Abbaurate von 7×10^{-4} Prozent pro Tag unter optimalen Bedingungen im Labor, was einer Halbwertszeit von ungefähr 275 Jahren²⁰ entspricht. Für den Abbau unter Feldbedingungen, der sehr viel langsamer als unter optimalen Bedingungen geschieht, geben die Autoren eine mittlere Verweildauer von rund 4'000 Jahren an²¹.
 - Eine neuere Studie (2017) erachtet die in der Literatur angegebenen Abbauezeiten als überschätzt. Die mittlere Verweildauer von Pflanzenkohle liege nur 1.6 x über jener der übrigen organischen Anteile im Boden. Im längsten Feldexperiment seien nach einer Dauer von 80 Jahren noch 55% der Pflanzenkohle vorhanden gewesen²². Dies entspricht einer mittleren Verweildauer von rund 90 Jahren.
 - Weitere Autoren postulieren, dass die Abbauezeit vom jeweiligen Bodenökosystem abhängt²³.
 - völlig unterschiedliche Verweilzeiten (aus verschiedenen Literaturquellen) von weniger als 10 Jahren (HTC-Kohle) bis mehrere tausend Jahre gibt das deutsche Umweltbundesamt an (FN 4, S. 45).
18. Aus energetischer Sicht spielt auch die Art der Biomasse eine Rolle, die mittels Pyrolyse zur Herstellung von Pflanzenkohle genutzt werden soll. Wird dafür holzförmige Biomasse (Holz) eingesetzt, steht diese nicht mehr für andere klimaschützende Zwecke zur Verfügung. So ist Holz namentlich sehr wichtig für die Dekarbonisierung der industriellen und gewerblichen Hochtemperaturprozesse sowie für

¹⁹ ShivVendra Singh et al, Pyrolysis temperature influences the characteristics of rice straw and husk biochar and sorption/desorption behaviour of their biourea composite, in: Bioresource Technology, available online 13 June 2020, siehe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420309469>.

²⁰ Berechnung: Menge nach einem Tag (1 = 100% = Ausgangsmenge): $(1 - 7 \times 10^{-6}) = 0.999993$; Gleichung zur Berechnung der Tage, bis nur noch 50% (0.5 von 1) vorhanden sind: $0.999993^x = 0.5$; aufgelöst nach x: $x = \log_{0.999993} (0.5) \rightarrow \log_{10} (0.5) / \log_{10} (0.999993) = 100'343$ Tage; dies entspricht 275 Jahren.

²¹ Kuzyakov et al, Biochar stability in soil: Decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ¹⁴C analysis, in: Soil Biology and Biochemistry Volume 70, March 2014, S. 229 ff., siehe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071713004653?via%3Dihub>.

²² Lutfalla et al, Pyrogenic Carbon Lacks Long-Term Persistence in Temperate Arable Soils, in: Front. Earth Sci., 23 November 2017, siehe: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2017.00096/full>.

²³ Schmidt et al, Persistence of soil organic matter as an ecosystem property, in: Nature volume 478 (2011), S. 49 ff., siehe: <https://www.nature.com/articles/nature10386>.

den Zubau erneuerbarer Stromproduktionsanlagen. Eine solche (sinnvolle) Verwendung von Holz könnte jedoch erschwert werden, wenn der Holzpreis durch eine grosse Nachfrage nach Holz zur Produktion von Pflanzenkohle in die Höhe getrieben wird. Möglich wäre auch eine Intensivierung der Waldnutzung zu Lasten der Biodiversität. Solche Zielkonflikte müssen geklärt und gelöst werden, bevor Pflanzenkohle für die C-Sequestrierung zugelassen oder gar mit Subventionen gefördert wird²⁴.

2.2 Antwort auf Frage 1: „Gilt in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle in Deutschland, Österreich und Frankreich als Bodenverbesserer oder Fremdstoff?“

2.2.1 Rechtslage in Deutschland

19. Im aktuellen deutschen Recht ist die Pflanzenkohle nur marginal geregelt. Da alle bei der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung verwendeten Hilfsstoffe bzw. Dünger einer Zulassung bedürfen, bedeutet dies, dass Pflanzenkohle nur im Regelungsumfang (nachfolgend) eingesetzt werden kann.
20. Die derzeit einzige Regelung für die Einbringung in den Boden findet sich in der DüMV in Tabelle 7 (zulässige Hauptbestandteile von Düngemitteln):

7.1.10	Kohlen	Braunkohle, auch Leonardit, Xylith, nicht als Rückstand aus vorherigen Produktions- oder Verarbeitungsprozessen Holzkohle mit einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 80 % C in der TM aus chemisch unbehandeltem Holz	Verwendung: - als Ausgangsstoff für Kultursubstrate, - als Trägersubstanz in Verbindung mit der Zugabe von Nährstoffen über zugelassene Düngemittel, - Xylith, Leonardit auch als Bodenhilfsstoff.
--------	--------	--	---

Abb. 2 Holzkohle als Ausgangsstoff für Kultursubstrat oder Trägersubstanz für Nährstoffe

Danach ist also Holzkohle aus unbehandeltem Holz (und im Gegensatz zur DF-EU-Öko-Verordnung nicht aus beliebigem Pflanzenmaterial) sowie einem C-Gehalt von

²⁴ Vgl. auch die kritischen Bemerkungen des Amts für Umweltschutz und Energie Basel Landschaft, in: Pyrolyseanlagen zur Energiegewinnung sowie für die Herstellung von Pflanzenkohle – Ein Positionspapier des Amts für Umweltschutz und Energie Basel-Landschaft. 2020. https://www.basel-land.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/umweltschutz-energie/energie/publikationen/downloads/Pyrolyseanlagen.pdf/@@download/file/AUE_BL_-_Pyrolyseanlagen_zur_Produktion_von_Planzenkohle_Positionspapier_%28Version_1.1_Feb._2020%29.pdf.

mindestens 80% in Deutschland zulässig als Ausgangsstoff für Kultursubstrat oder Trägersubstanz für Nährstoffe über zugelassene Düngemittel (Bsp. Jauche, Mist).

21. Fremdstoffe sind im deutschen Düngerrecht als Stoffe definiert, "die düngemittelrechtlich keinerlei Nutzen haben" (DüMV, Tab. 8, Ziffer 1). Holzkohle fällt offensichtlich nicht darunter.
22. Den Begriff "Bodenverbesserer" verwendet das deutsche Düngemittelrecht nur nebensächlich für eine Produktkennzeichnung (DüMV, Tabelle 10, Ziffer 10.3.4). Stattdessen laufen die nach schweizerischer Terminologie gebräuchlichen Bodenverbesserer (exakt "Bodenverbesserungsmittel", Art. 5 Abs. 2 Bst. h DüV) in Deutschland unter der Wendung "Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel". Begrifflich steht die in Deutschland zugelassene Holzkohle am nächsten beim Begriff des Bodenverbesserungsmittels nach Schweizerischer Terminologie. Aufgrund der Entwicklung in der EU wäre zu erwarten, dass Pflanzenkohle (aus beliebigem Material) demnächst Aufnahme in die DüMV findet (in der Kategorie "Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel"). Ein solcher Antrag des Fachverbands Pflanzenkohle ist seit Mitte 2019 hängig²⁵. Allerdings sind aus Sicht der deutschen Bundesregierung positive Effekte für die Landwirtschaft nicht hinreichend nachgewiesen und das federführende Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft plant (über Holzkohle hinaus, s. oben) keine Zulassung von Pflanzenkohle. Ebenso wenig ist eine Unterstützung von Betrieben, die Pflanzenkohle nutzen oder nutzen wollen, vorgesehen²⁶.

2.2.2 Rechtslage in Österreich

23. Pflanzenkohle fällt in Österreich derzeit nicht unter einen nach der Düngerverordnung 2004 geregelten Typ eines Düngers oder Bodenhilfsmittels. Eine Zulassung für die landwirtschaftliche Einbringung in Böden ist aber nach Art. 5 Abs. 1 i.V. mit Art. 9a Düngemittelgesetz 1994 möglich und wurde 2018 für den Einsatz in der biologischen Produktion erteilt²⁷. Der Einsatz darf danach "nur als Zusatz zu Wirt-

²⁵ Ziel des Antrags ist die Zulassung von Pflanzenkohle, die den EBC-Basic-Kriterien entsprechen (mind. 50% C Gehalt, H/C-Verhältnis kleiner 0,7, O/C Verhältnis kleiner 0,4, PAK-Gehalt kleiner 12 mg/kg). (<https://fachverbandpflanzenkohle.org/antrag-duengemittelverordnung-duemv-eingereicht/>).

²⁶ EU plant Regeln für Biokohle als Dünger, in: topagrar online, siehe: <https://www.topagrar.com/energie/news/eu-plant-regeln-fuer-biokohle-als-duenger-12076895.html>.

²⁷ Runderlass vom 18. Oktober 2018 des Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz, siehe: https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/lebensmittel/rechtsvorschriften/oesterreich/P11_BMASGK-75340-0014-IX-B-13-2018_Pflanzenkohle.pdf?6ol4p6.

schaftsdünger und Kompost, als Bodenhilfsstoff und als Pflanzenhilfsmittel erfolgen". Auch in Österreich gilt damit Pflanzenkohle (übersetzt in die schweizerische Terminologie) als Bodenverbesserungsmittel (und nicht als Fremdstoff).

24. In einer Publikation des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft vom April 2017 wird ausgeführt, es werde "derzeit (...) eine Regelung für Produktion und Qualitätsanforderungen von Pflanzenkohle (Biokohle aus pflanzlichen Ausgangsstoffen) erarbeitet"²⁸. Tatsächlich wurde diese Norm am 1. November 2016 publiziert (ÖNORM S2211)²⁹. Sie enthält insbesondere Vorgaben für maximale Gehalte von Schadstoffen.

2.2.3 Rechtslage in Frankreich

25. In Frankreich wird für Düngemittel der Begriff "matières fertilisantes" verwendet (und nicht etwa "engrais"). Er umfasst im Wortsinn nebst dem eigentlichen Dünger ("engrais") auch andere Mittel zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, so namentlich (c. rur, art. L. 255-1):

"Les amendements destinés à modifier ou à améliorer les propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols"

26. Nach dieser Begriffsbeschreibung fällt Pflanzenkohle (aufgrund ihrer Eigenschaft, Böden zu verbessern) unter "matières fertilisantes" und stellt damit auch nach der Konzeption in Frankreich ein Bodenverbesserungsmittel (und keinen Fremdstoff) dar.

2.2.4 Fazit

27. In allen untersuchten Ländern (D, AT, F) bildet Pflanzenkohle (sinngemäss) ein Bodenverbesserungsmittel und keinen Fremdstoff. Soweit Pflanzenkohle (aus beliebigem Pflanzenmaterial) derzeit noch nicht für die Anwendung in Böden zugelassen ist (Bsp. D), ist eine solche Zulassung aufgrund der Entwicklung auf EU-Ebene in nächster Zeit zu erwarten.

²⁸ Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Biokohle – Potential und Grenzen der Anwendung in der Land- und Forstwirtschaft, Wien 2017, S. 6 (https://www.oeaw.ac.at/fileadmin/kommissionen/kioes/pdf/Publications/Biokohle_2017_final.pdf)

²⁹ ÖNORM S 2211, Pflanzenkohle - Ausgangsmaterialien, Qualitätsanforderungen und Untersuchungsmethoden, siehe (Bezug ganze Norm kostenpflichtig, 55.- Euro): <https://www.bdb.at/Service/NormenDetail?id=583978>.

2.3 Antwort auf Frage 2: „Welche gesetzlichen Grundlagen stehen in Deutschland, Österreich und Frankreich zum Schutz von natürlich gewachsenen Böden zur Verfügung und was bedeutet das für den Eintrag von Pflanzenkohle?“

28. Dem Bodenschutz dienen insbesondere die Vorschriften zur stofflichen Belastung. Darauf fokussieren die folgenden Ausführungen.

2.3.1 Zusammensetzung von Pflanzenkohle

29. In diesem Kapitel wird untersucht, mit welchen Mengen an unerwünschten Stoffen in Pflanzenkohle gerechnet werden muss.

30. Pflanzenkohle besteht aus 50 – 80% Kohlenstoff, 20 – 50% mineralischen Anteilen (Asche, hauptsächlich aus Metalloxiden, Carbonaten, Phosphaten und Sulfaten von Calcium und Kalium³⁰). Die unerwünschten Anteile bestehen aus Spuren von PAK (Größenordnung einige bis viele Milligramm/kg), PCB (Größenordnung einige Mikrogramm/kg) und geringste Mengen von polychlorierten Furanen oder Dioxinen (Größenordnung einige Nanogramm/kg)³¹.

31. Der Kohlenstoff und der grösste Teil der Asche (z.B. Kalium-, Magnesium- und Phosphorverbindungen) wirken als Dünger und sind erwünschte Stoffe für die landwirtschaftlich motivierte Einbringung in den Boden. Geringe Anteile der Asche sowie die organischen Spurenstoffe sind jedoch (unterschiedlich) human- oder ökotoxisch und unerwünscht (nachfolgend "**Schadstoffe**" genannt).

32. Schadstoffe in Pflanzenkohle waren entweder bereits im Pflanzenmaterial enthalten, das der Pyrolyse zugeführt wurde oder wurden im Pyrolyseprozess gebildet. Zu den ersteren zählen die Schwermetalle und PCB. Erst im Pyrolyseprozess entstanden sind dagegen PAK und allfällige hochgiftige Verbindungen wie Dioxine, wenn das Pflanzenmaterial (vorschriftswidrig) mit halogenhaltigen Pestiziden oder PCB (z.B. aus alten Holzschutzanstrichen) belastet war³².

33. Analysen von Pflanzenkohlen ergaben die folgenden Schadstoffgehalte:

³⁰ <https://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzenasche>

³¹ FN 4, S. 54 ff.;

³² Hierbei ist zu beachten, dass der Temperaturbereich der Pyrolyse (380 – 1'000°C) geeignet ist für die Dioxinbildung. Diese beginnt bei Anwesenheit von organischem Material und chlorhaltigen organischen Verbindungen bei 300°C, wobei Dioxine erst bei etwa 900°C wieder zerstört werden (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/dioxine#was-sind-dioxine-und-dioxinahnliche-pcb>).

Herkunft Pflanzenkohle	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Cr mg/kg	PAK mg/kg	weitere
* Nachweisgrenze // gemessene Höchstwerte bei Pflanzenkohle									
1. Kon-Tiki II-Ofen ³³	32	< 0.2*	130	5	< 0.07	180	13	4.5	
2. A1 Holzgaskraftwerk, Waldhackgut	2.7	< 2.5*	21.3	16.23	< 0,25	82.9	15.3		
3. A2 Holzgaskraftwerk, Waldhackgut	< 2.5	< 2.5*	16.1	< 12.5*	< 0.25*	57.3	11.7		
4. B Holzgaskraftwerk, Waldhackgut	< 2.5	< 2.5*	17.2	< 12.5*	< 0.25*	63.0	8.2		
5. C Holzgaskraftwerk, Waldhackgut	< 2.5	< 2.5*	20.9	< 12.5*	< 0.25*	72.9	9.7		
6. D Pyreg-Doppelschneckenreaktor, Baum-/Strauchschnitt	4.8	< 2.5*	58.3	< 12.5*	< 0.25*	99.3	50.2		
7. E Pyreg-Verfahren, Zellulosefasern, Bio-Dinkel-Spelzen	6.4	< 2.5*	16.3	< 12.5*	< 0.25*	115.4	18.3		
8. F Pyreg-Verfahren, Getreidespelzen	< 2.5	< 2.5*	11.0	< 12.5*	< 0.25*	57.2	9.7		
9. G Pyreg-Verfahren, Waldhackgut	3.1	< 2.5*	12.9	< 12.5*	< 0.25*	48.0	8.8		
10. H unbekanntes Verfahren und Ausgangsmaterial	113	< 2.5*	75	23	< 0.25*	727	148	31'785	
11. I Pyreg-Verfahren, Getreidespelzen, Papierschlamm	7.5	< 2.5*	20.3	22.2	< 0.25*	83.1	71.6		
Herkunft Pflanzenkohle	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Cr mg/kg	PAK mg/kg	weitere
12. J Pyreg-Verfahren, Holz ³⁴	8.4	< 2,5*	24,1	17,1	< 0,25*	176.3	60.3	0.00	
13. A: Graswiese 1, grasiges Material	28	0.19	31	39	0.053	200	21	5,61	Dioxin: 0.6 ng/kg PCB: 3 µg/kg AOX: 300 mg/kg

³³ <http://www.ithaka-institut.org/de/ct/101-Kon-Tiki-----Die-Demokratisierung-der-Pflanzenkohle-Produktion>

³⁴ A1 bis J: David RUF, Biokohle - ein wirksamer Bodenverbesserer?, Diplomarbeit HTL-Dornbirn, Dornbirn 2019, S. 41 (<http://www.du-gut-pflanzenkohle.de/media/files/Diplomarbeit-Biokohle-von-Böhler-und-Ruf.pdf>). Die dort angeführten meist unter 4 mg/kg liegenden Werte für PAK sind nicht aussagekräftig, da die Nachweisgrenze für die 16 gemessenen PAK bei 0.4 mg/kg lag.

14. B: Graswiese 2, grasiges Material ³⁵	4.9	< 0.10*	50	240	0.013	240	400	3,74	Dioxin: 0.01 ng/kg PCB: < 1 µg/kg AOX: 350 mg/kg
15. Angaben in Wikipedia (FN 1)	67	0.8	50	20	0.5	200	50		As: 10 mg/kg
16. 13 verschiedene Pflanzenkohlen ³⁶									Dioxine: 0.02 bis 1.2 ng/kg (höchster Wert bei Kohle aus Lebensmittelabfällen und Pyrolyse bei 300 °C)
17. 35 verschiedene Pflanzenkohlen, davon 20 kommerzielle Produkte (kP) und 15 Laborerzeugnisse (LE) ³⁷								kP: 1.6 bis 12.3 LE: 0.5 bis 1.7	
Herkunft Pflanzenkohle	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Hg mg/kg	Zn mg/kg	Cr mg/kg	PAK mg/kg	weitere
18. Daten aus 14 Studien mit je mehreren untersuchten Pflanzenkohlen ³⁸								0.2 bis 361; ein Wert - 11'000 - atypisch	

Tab. 1 Angaben zu Schadstoffgehalten aus Analysen verschiedener Pflanzenkohlen und vereinzelt zu Kohlen aus anderen Ausgangsstoffen, **höchste Werte bei Pflanzenkohle gelb markiert** (ohne Nr. 10 und höchster PAK-Wert bei Nr. 18, da atypisch und unbekanntes Produkt)

³⁵ Fa. Ökometric GmbH und Dr. Carola Holweg, Gefährdungspotenzial von Biokohle aus Landschaftspflegematerial (Gras) hinsichtlich einer Verwendung zur Bodenverbesserung, 2011 (ohne Ortsangabe), S. 9 ff. (http://carola-holweg.de/files/images/aktuelle_projekte/2011_20Studie_20Gefahrungspotenzial_20Biokohlen.pdf).

³⁶ Wilson/Reed, IBI White Paper Implications and Risks of Potential Dioxin Presence in Biochar, in: International Biochar Initiative White Paper, 2012, S. 5 (https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/04/IBI_White_Paper-Implications_of_Potential_20Dioxin_in_Biochar.pdf).

³⁷ Wang et al (2018), Application of biochar to soils may result in plant contamination and human cancer risk due to exposure of polycyclic aromatic hydrocarbons, in: Environment international 121(Pt 1):169-177, September 2018, S. 172 f. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018311000>).

³⁸ Bucheli et al, Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated aromatic compounds in biochar, in: Biochar C21 (2015), S. 599 ff., siehe: https://www.researchgate.net/publication/280052910_Polycyclic_aromatic_hydrocarbons_and_polychlorinated_aromatic_compounds_in_biochar

Schwermetalle:

34. In der obigen Tabelle lassen die Angaben zu Schwermetallen eine zuverlässige Abschätzung des Gefährdungspotentials zu.
35. Anhand der Schadstoffwerte in den obigen Beispielen "A: Graswiese 1" und "B: Graswiese 2" kamen die Autoren zum Schluss, dass bei der (hohen) Einbringung von 50 Tonnen Pflanzenkohle pro Hektar (Verdünnungsfaktor 30) **im Lichte der BBodSchV (deutsche Vorsorgewerte für Böden)** bloss unbedenkliche Schadstoff-Konzentrationen im Boden erreicht werden, wobei zu bemerken ist, dass die Probe "B: Graswiese 2" sogar ungewöhnlich hohe Mengen an Nickel und Chrom dieser Metalle enthielt (FN 35).
36. Übertragen auf die anderen Beispiele (ohne 10) in obiger Tabelle, würden in keinem Fall bedenkliche Schwermetall-Schadstoff-Konzentrationen im Boden erreicht. Die Probe Nr. 10 (unbekanntes Verfahren, unbekanntes Ausgangsmaterial) stammt kaum aus unbelastetem Pflanzenmaterial (zu hohe Zink- und Bleibelastung).

Dioxine und Furane:

37. Die untersuchten Pflanzenkohlen wiesen alle Dioxingehalte von < 1 ng/kg auf. Lediglich bei Lebensmittelabfällen, die bei tiefen 300 °C pyrolysiert wurden, stieg der Gehalt auf 1.2 ng/kg. Der Grenzwert der ChemRRV von 20 ng/kg ist damit bei allen untersuchten Pflanzenkohlen eingehalten.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK):

38. PAK entstehen bei Röst- und Verbrennungsprozessen von Holz und anderem Pflanzenmaterial, also auch im Pyrolysereaktor für die Herstellung von Pflanzenkohle. Sie sind je nach Struktur unterschiedlich humantoxisch (krebserzeugend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend, bioakkumulativ)³⁹. Am gefährlichsten ist Benzo(a)pyren (BaP).
39. Die Menge an PAK in Pflanzenkohle ist vor allem abhängig von der Pyrolysetemperatur und von der Art des Ausgangsmaterials. Im Laborversuch traten die höchsten Werte bei Pyrolysetemperatur von 300 °C auf. Bei 500 °C und 650 °C wurden die Werte etwa halbiert (Wang et al, 2018, FN 37, S. 172 ff.).
40. Werden PAK in den Boden eingebracht, können sie von Pflanzen aufgenommen werden und finden sich in der menschlichen Nahrung. In der EU und in der Schweiz sind analoge Grenzwerte für Gehalte von BaP sowie für die Summe wichtiger PAK

³⁹ [https://de.wikipedia.org/wiki/Benzo\(a\)pyren](https://de.wikipedia.org/wiki/Benzo(a)pyren)

in Lebensmitteln vorgeschrieben⁴⁰. Für BaP liegen sie im Bereich von 1 bis 5 µg/kg für Lebensmittel, die in grösseren Mengen verzehrt werden (Bsp. Fleischerzeugnisse, Fisch, Bananenchips), und bei 10 µg/kg für Lebensmittel, die in kleinen Mengen verwendet werden (Gewürze, Kräuter) (Anhang 6 VHK). Für Gemüse bestehen keine Grenzwerte.

41. Untersuchungen für PAK-Gehalte in Lebensmitteln (z.B. Gemüse), die in Böden mit hohem Gehalt an Pflanzenkohle erzeugt wurden, zeigen widersprüchliche Ergebnisse (von besorgt bis unbedenklich)⁴¹. Eine neue Synthese-Studie (basierend auf einer Vielzahl von Daten) kommt zum Schluss, dass⁴²:
- die PAK-Konzentrationen in Böden, in die Pflanzenkohle ausgebracht wurde, zwischen 0.02 und 3'574 µg/kg liegen,
 - ein hoher PAK-Gehalt in Böden zu höheren PAK-Werten in Lebensmitteln (z.B. Gemüse) führt,
 - das Krebsrisiko durch Pflanzenkohle bedingte PAK-Gehalte in Böden und Lebensmitteln meist tief ("mostly low") ist,
 - die Anwendung von Pflanzenkohle jedoch auf total 20 Tonnen pro Hektare beschränkt werden sollte, um das Krebsrisiko für Menschen zu minimieren.
42. Es ist zu überlegen, ob die Maximalmenge an Pflanzenkohle pro Hektare in der Schweiz begrenzt werden soll, zum Beispiel auf 10 t/ha, bis weitere Erkenntnisse vorliegen. Aufgrund des beachtlichen Preises von Pflanzenkohle von rund CHF 1'300.- pro Tonne⁴³ dürfte die Wahrscheinlichkeit, dass Landwirte grössere Mengen an Pflanzenkohle in den Boden einbringen, derzeit allerdings gering sein, was sich jedoch schnell ändern kann.

⁴⁰ BVL, Verordnung des EDI über die Höchstgehalte für Kontaminanten, S. 6 (<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20143406/index.html>)

⁴¹ So etwa eher besorgt: Wang et al (2018), FN 30;

⁴² Wang et al (2019), Polyaromatic hydrocarbons in biochars and human health risks of food crops grown in biochar-amended soils: A synthesis study, in: Environment International Volume 130, September 2019, S. 1 ff., siehe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019313273>; Paris et al, Polycyclic aromatic hydrocarbons in fruits and vegetables: Origin, analysis, and occurrence, in: Environmental Pollution, Volume 234, March 2018, S. 96 ff., siehe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117327434>; Schwartz et al, Risk of contamination for edible vegetables growing on soils polluted by polycyclic aromatic hydrocarbons, in: Polycyclic Aromatic Compounds 24(4-5) August 2004, S. 827 ff., siehe: https://www.researchgate.net/publication/230794176_Risk_of_contamination_for_edible_vegetables_growing_on_soils_polluted_by_polycyclic_aromatic_hydrocarbons.

⁴³ <https://www.schweizerbauer.ch/vermishtes/agopreise/mit-pflanzenkohle-klimaneutral-werden-51690.html%20>

43. Im Übrigen ist zu bemerken, dass gemäss Anhang 2.6 Ziffer ChemRRV schon heute Kompost und Gärgut bis zu 4 mg PAK/kg enthalten dürfen, wobei normaler Kompost aus Pflanzenabfällen weit darunter liegen sollte.
44. In einer Arbeit wird ausgeführt, dass Pflanzenkohle die Abbaurate von PAK hemmt. Die Autoren verlangen, dass diese Thematik genauer untersucht wird, bevor grössere Mengen an Pflanzenkohle in die Böden ausgebracht werden⁴⁴.

weitere organische Schadstoffe:

45. Als weitere Schadstoffe sind PCB in Betracht zu ziehen. Die gefundenen Werte deuten auf einen geringen Gehalt hin. Für eine genauere Abschätzung bedürfte es weiterer Analysewerte⁴⁵.
46. Eine neue Studie (2020) weist darauf hin, dass Pflanzenkohle im Boden das Rückhaltevermögen für Pharmazeutika (z.B. aus Gülle, die Rückstände von Tiermedikamenten enthält) sowie deren Persistenz erhöhen. Im Prinzip können solche Stoffe von Pflanzen aufgenommen werden. Tatsächlich nahm aber ihre Konzentration in Gemüse aus solchen Böden sogar ab. Die Autoren erklären sich dies damit, dass die Stoffe in geringerer Konzentration im Porenwasser erscheinen, weil sie von der Pflanzenkohle adsorbiert werden. Dadurch werden sie von den Wurzeln weniger aufgenommen. Im Ergebnis soll Pflanzenkohle im Boden sogar helfen, die Exposition der Menschen durch solche Stoffe zu verringern⁴⁶. Mögliche langfristige Auswirkungen auf die Bodenqualität müssten jedoch noch untersucht werden.

2.3.2 Massnahmen zum Bodenschutz

Übersicht:

47. Der Bodenschutz bezweckt die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Art. 33 Abs. 1 USG). Dazu soll der Boden vor schädlichen Belastungen geschützt werden. Als Bodenbelastungen gelten gemäss Art. 7 Abs. 4^{bis} USG «physikalische, chemische und biologische Veränderungen der natürlichen Beschaffenheit des Bodens».

⁴⁴ Quilliam et al, Is biochar a source or sink for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) compounds in agricultural soils?, in: GCB Bioenergy (2013) 5, S. 96 ff., siehe: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12007>.

⁴⁵ Auch Bucheli et al bemerken, dass dazu nur wenige Daten vorliegen (FN 38).

⁴⁶ Yuanbo et al, Impact of biochar amendment on the uptake, fate and bioavailability of pharmaceuticals in soil-radish systems, in: Journal of Hazardous Materials Volume 398, 5 November 2020, 122852 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389420308414>.

48. Für den Schutz des Bodens vor Schadstoffen stehen wie beim Schutz anderer Schutzgüter (Bsp. Artenvielfalt) vor Umweltgiften zwei Grundkonzepte zur Verfügung:

- Quellenstopp und
- End-of-pipe-Massnahmen.

Alle untersuchten Länder (D, AT, F, CH) haben Quellenstopp-Vorschriften erlassen, welche auch die Anwendung von Pflanzenkohle erfassen. Da Pflanzenkohle durchwegs in die Kategorie der Bodenverbesserungsmittel fällt⁴⁷, finden sich die Massnahmen zum Quellenstopp im Düngemittelrecht und nicht etwa im Abfallrecht. Demgegenüber sind die End-of-Pipe-Massnahmen (z.B. Vorsorgewerte für Bodenbelastungen) im Umweltrecht bzw. unmittelbaren Bodenschutzrecht geregelt, ausser in F, das keine solchen Regelungen kennt⁴⁸.

49. Im vorliegenden Zusammenhang interessieren im Sinne des Quellenstopp-Konzepts vor allem die Grenzwerte für Schadstoffe in Pflanzenkohle als verkehrsfähiges Produkt. In allen Ländern (D, AT, F und CH) sind die Grenzwerte für Schadstoffe in Düngern, Bodenhilfsstoffen etc. auf bundesstaatlicher Ebene geregelt.

50. Da bei der Ausbringung von Pflanzenkohle in Böden auch Schadstoffe eingebracht werden, die nicht biologisch abbaubar (Bsp. Schwermetalle) oder sehr lange beständig sind (Bsp. PCB), interessieren auch die (End-of-pipe-)Belastungsvorschriften für Böden und dort insbesondere die (Vorsorge-)Werte, welche die Länder im Sinne des umweltrechtlichen Vorsorgeprinzips aufgestellt haben. Nur in Deutschland und der Schweiz haben die Vorsorgewerte für Böden eine Regelung auf bundesstaatlicher Ebene erfahren. In Österreich liegt der Bodenschutz in der Kompetenz der Bundesländer. Allerdings haben nicht alle Länder Vorsorgewerte erlassen⁴⁹. Beispielhaft wird im Folgenden die Regelung des Landes Voralberg dargestellt. Frankreich kennt keine normierten Vorsorgewerte.

Regelungen in den untersuchten Ländern:

51. Die folgende Tabelle zeigt die einschlägigen Regelungen:

⁴⁷ In Deutschland muss derzeit auch noch die BioAbV berücksichtigt werden, weil Pflanzenkohle (anders als Holzkohle) noch nicht als Bodenverbesserungsmittel anerkannt ist.

⁴⁸ So jedenfalls noch 2008 (Mathieu et al, Proposition de référentiels régionaux en éléments traces métalliques dans les sols: leur utilisation dans les évaluations des risques sanitaires, in: **Environnement, Risques & Santé** – Vol. 7, n° 2, mars-avril 2008 (http://driaaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/ETM_PropositionReferentielRegionsIDFetCentre_ERS-2008_cle8b15ee.pdf)). Recherchen ergaben keine seither in Kraft gesetzten Erlasse für Bodengrenzwerte.

⁴⁹ So hat etwa das Land Salzburg trotz gesetzlicher Kompetenz keine Vorsorgewerte erlassen, siehe: <https://www.salzburg.gv.at/themen/aw/landwirtschaft/boden/bodenschutzrecht>.

Land	D		AT		F		CH	
Erlass und Gegenstand Schadstoff	Anlage 2, Ziffer 1.4 DüMV Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Anhang 2, Ziffer 4 BBodSchV: Vorsorgewerte für Boden (mg/kg) Werte für anorganische Stoffe gelten nur für Böden < 8% Humusgehalt (meiste Böden).	Anlage 2 Düngemittelverordnung 2004 Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Voralberg: § 5 Abs. 2 Bodenqualitätsverordnung Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Avids de l'Anses 2018-SA-0200: Grenzwerte für Marktzulassung Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	keine (rechtsverbindlichen) Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Anhang 2.6 ChemRRV: Grenzwerte für organische Dünger und Recyclingdünger (mg/kg TS)	Anhänge 1 und 2 VBBo: Vorsorgewerte ("Richtwerte") für Boden (mg/kg TS bis 15% Humus bzw. mg/dm ³ > 15% Humus)
Chrom (Cr)	nur Grenzwert für Cr ^{VI} : 2 (ab 300 Kennzeichnung)	Nach Bodenart: 30 Sand 60 Lehm/Schluff 100 Ton	nur Grenzwert für Cr ^{VI} : 2	100	Chrom total: 60 für Cr ^{VI} : 2	-		50
Nickel Ni)	80	Nach Bodenart: 15 Sand 50 Lehm/Schluff 70 Ton	100	60	50	--	30	50
Kupfer (Cu)	700 (§ 4 Abs. 3, Cu gilt in D als Spuren-Nährstoff)	Nach Bodenart: 20 Sand 40 Lehm/Schluff 60 Ton	Wird in AT begrenzt über eine Frachtenregelung	60	300	-	100	40
Zink (Zn)	1'000 (§ 4 Abs. 3, Zn gilt in D als Spuren-Nährstoff)	Nach Bodenart: 60 Sand 150 Lehm/Schluff 200 Ton	dito	150	800	-	400	150
Molybdän (Mb)					-	-		5

Land	D		AT		F		CH	
Erlass und Gegenstand Schadstoff	Anlage 2, Ziffer 1.4 DüMV Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Anhang 2, Ziffer 4 BBodSchV: Vorsorgewerte für Boden (mg/kg) Werte für anorganische Stoffe gelten nur für Böden < 8% Humusgehalt (meiste Böden).	Anlage 2 Düngemittelverordnung 2004 Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Vorarlberg: § 5 Abs. 2 Bodenqualitätsverordnung Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Avids de l'Anses 2018-SA-0200: Grenzwerte für Marktzulassung Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	keine (rechtsverbindlichen) Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Anhang 2.6 ChemRRV: Grenzwerte für organische Dünger und Recyclingdünger (mg/kg TS)	Anhänge 1 und 2 VBBo: Vorsorgewerte ("Richtwerte") für Boden (mg/kg TS bis 15% Humus bzw. mg/dm ³ > 15% Humus)
Cadmium (Cd)	1.5	Nach Bodenart: 0.4 Sand 1 Lehm/Schluff 1.5 Ton	3	0.5	1.5 (Überschreitungen von 1.0 sind zu begründen)	-	1	0.8
Quecksilber (Hg)	1	Nach Bodenart: 0.1 Sand 0.5 Lehm/Schluff 1.0 Ton	1	0.5	1	-	1	0.5
Blei (Pb)	150	Nach Bodenart: 40 Sand 70 Lehm/Schluff 100 Ton	100	100	120	-	120	50
PAK (Summe der 16 Leitsubstanzen)	-	Humusgehalt > 8%: 10 Benzo(a)pyren: 1 Humusgehalt <= 8%: 3 Benzo(a)pyren: 0.3	-	2 Hexachlorbenzol: 3 "gewöhnliche" Kohlenwasserstoffe: 200	6	-	4 für Summe der 16 Leitsubstanzen	1 0.2 für Benzo(a)pyren; Probennammetiefe: 0 – 20 cm

Land	D		AT		F		CH	
Erlass und Gegenstand Schadstoff	Anlage 2, Ziffer 1.4 DüMV Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Anhang 2, Ziffer 4 BBodSchV: Vorsorgewerte für Boden (mg/kg) Werte für anorganische Stoffe gelten nur für Böden < 8% Humusgehalt (meiste Böden).	Anlage 2 Düngemittelverordnung 2004 Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	Voralberg: § 5 Abs. 2 Bodenqualitätsverordnung Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Avis de l'Anses 2018-SA-0200: Grenzwerte für Marktzulassung Grenzwerte für Dünger, Bodenhilfsstoffe etc. (mg/kg)	- Bodenvorsorgewerte (mg/kg)	Anhang 2.6 ChemRRV: Grenzwerte für organische Dünger und Recyclingdünger (mg/kg TS)	Anhänge 1 und 2 VBBo: Vorsorgewerte ("Richtwerte") für Boden (mg/kg TS bis 15% Humus bzw. mg/dm ³ > 15% Humus)
PCB	-	Humusgehalt > 8%: 0.1 Humusgehalt < 8%: 0.05	-	0.1	-	-	-	0.1 Nutzung mit möglicher direkter Bodenaufnahme; Probennahmetiefe: 0 – 5 cm bzw. 0.2 für landwirtschaftliche Böden; Probennahmetiefe: 0 – 20 cm
Dioxine und Furane	30 ng/kg WHO-Toxizitätsäquivalente 2005	-	-	10 ng internationale Toxizitätsäquivalente/kg	-	-	20 ng internationale Toxizitätsäquivalente/kg	5 ng/kg TS bis 15% Humus bzw. ng/dm ³ > 15% Humus; Probennahmetiefe: 0 – 20 cm

Tab. 2 Grenzwerte für Schadstoffe in Pflanzenkohle (Bodenverbesserungsmittel) und Vorsorgewerte für Böden im Ländervergleich; tiefste Werte gelb markiert

2.3.3 Bedeutung der Regelungen für den Eintrag von Pflanzenkohle in Böden

Produktbetrachtung:

52. Tabelle 1 hievor zeigt Beispiele von gemessenen Schadstoffgehalte von Pflanzenkohle. Dabei fällt als nicht-repräsentativer Wert das Produkt 10 mit hohen Schadstoffwerten (unbekanntes Verfahren und Ausgangsmaterial) ausser Betracht. Verglichen mit den Produkthanforderungen der verschiedenen Länder (D, Au, F und CH) für Dünger und Bodenhilfsmittel ergibt sich:

Schadstoff	Pflanzenkohle, höchster Wert gemäss Tab. 1 (mg/kg TS)	Grenzwertanforderung für Dünger, Bodenhilfsmittel, tiefster Wert und Wert CH (mg/kg TS)	Bemerkungen betreffend Produktgrenzwerte
Cr _{gesamt}	400		keine Grenzwerte
Cr ^{VI}	keine Messwerte	D und Voralberg: 2	CH: kein Grenzwert
Ni	240	CH: 30	Überschreitung bei 2 von 13 Proben
Cu	130	CH: 100	Überschreitung bei 1 von 13 Proben
Zn	240	CH: 400	keine Überschreitung beobachtet
Cd	0.2	CH, D: 1	keine Überschreitung beobachtet
Hg	0.05	CH, D: 1	keine Überschreitung beobachtet
Pb	32	Voralberg: 100 (CH: 120)	keine Überschreitung beobachtet
PAK	360	CH: 4	Überschreitungen kommen vor
PCB	3 µg/kg		keine Grenzwerte
Dioxine und Furane	0.6 ng/kg	CH: 20 ng internationale Toxizitätsäquivalente/kg	keine Überschreitung beobachtet

Tab. 3 gemessene Schadstoffwerte in Pflanzenkohle und Vergleich mit Grenzwerten für Dünger und Bodenhilfsmittel, Grenzwertüberschreitungen gelb markiert

53. Insgesamt scheint es sich bei den Überschreitungen von Nickel und Kupfer um Ausnahmen ("Ausreisser") zu handeln, die keinen Handlungsbedarf begründen (gelegentliche Kontrollanalysen empfohlen). Demgegenüber reagiert der PAK-Gehalt sensibel auf die Reaktionsbedingungen der Pyrolyse und bedarf der ständigen Beobachtung und Kontrolle.
54. Mangels verfügbarer Messresultate ist unklar, ob in Pflanzenkohle der Cr^{VI}-Gehalt erhöht sein kann. Dies ist zwar nicht zu erwarten, da in der Pyrolyse reduzierende

Bedingungen herrschen. Trotzdem sollte diese Möglichkeit mit Analysen überprüft werden⁵⁰.

Frachtbetrachtung:

55. Die Summe der mit Pflanzenkohle in den Boden eingebrachten Schadstoffe hängt vom Schadstoffgehalt und der Anwendungsmenge ab. In der Literatur wird als fiktiver, sehr hoher Wert eine Anwendungsmenge von 50 Tonnen pro Hektare (5 kg/m² Boden) angegeben (FN 35; S. 8). Diese Menge soll auch hier zur Gefährdungsabschätzung verwendet werden.
56. Die Anwendungsmenge von 5 kg/m² entspricht ca. 1/38 des Gewichts der obersten 15 cm Boden. Es wird für die Gefährdungsabschätzung angenommen, die Pflanzenkohle verbleibe in diesen obersten 15 cm.

Schadstoff	Pflanzenkohle (PK), Fracht bei 5 kg /m ² und dem höchsten Wert aus Tab. 3	Konzentration im Boden (mg/kg) (Annahme alle PK befindet sich in den obersten 15 cm Boden; Gewicht oberste 15 cm, feucht: 1.6 kg/l x 0.15 m = 240 kg/m ² ; abzüglich Wassergehalt 25% → Gewicht Trockensubstanz der obersten 15 cm Boden: 0.75 x 240 kg/m ² = 190 kg/m ²)	Bodenvorsorgewert, tiefster Wert und Wert CH (mg/kg TS)
Cr _{gesamt}	400 x 5 = 2'000	2'000/190 = 10.5	50
Cr ^{VI}			Keine Vorsorgewerte
Ni	240 x 5 = 1'200	1'200/190 = 6.3	50
Cu	130 x 5 = 650	650/190 = 3.4	D: 20 (CH: 40)
Zn	240 x 5 = 1'200	1'200/190 = 6.3	D: 60 (CH: 150)
Cd	0.2 x 5 = 1	1/190 = 0.005	D: 0.4 (CH: 0.8)
Hg	0.05 x 5 = 0.25	0.25/190 = 0.001	D: 0.1 (CH: 0.5)
Pb	32 x 5 = 160	160/190 = 0.8	D: 40 (CH: 50)
PAK	361 x 5 = 1'805	28/190 = 9.5	Voralberg: 2 (CH: 1)
PCB	3 µg x 5 = 15	15 µg /190 = 0.081 µg/kg = 0.00008 mg/kg	D, Voralberg, CH: 0.1
Dioxine und Furane	0.6 ng/kg x 5 = 3 ng	3 ng /190 = 0.016	CH: 5 ng internat. Tox-äquivalente/kg

Tab. 4 Abschätzung der Schadstoffkonzentration im Boden nach Einbringung von total (Summe aller Anwendungen im Laufe der Zeit) 50 t Pflanzenkohle pro Hektare

⁵⁰ So auch: Kaskad-E GmbH, Pyrolyse - eine uralte Kulturtechnik neu lanciert, Basel 2019, S. 35, siehe: https://www.holzenergie.ch/fileadmin/user_resources/04_Aktuell/05_Tagungsbaende/190904_03_GutzwillerS_Biomaconf.pdf.

2.3.4 Fazit

57. Nach der vorstehenden Tabelle werden die Vorsorgewerte für Boden selbst bei einer unrealistisch hohen Anwendungsmenge von 50 t Pflanzenkohle pro Hektare und den höchsten gemessenen Schadstoffwerten mit einer Ausnahme weit unterschritten (mindestens um Faktor 5). Die Ausnahme betrifft PAK, wo offenbar je nach Reaktionsbedingungen und Ausgangsprodukt hohe Belastungswerte (bis mehrere 100 mg/kg) auftreten können.
58. Obwohl die Anzahl der verfügbaren Analysewerte nicht sehr hoch ist (je einige Dutzend Werte, siehe Tab. 1) und die hier getroffenen Berechnungsannahmen allenfalls nicht ganz der Realität entsprechend, kann aufgrund der hohen Vorsorgewertunterschreitung und eher konservativen Annahmen (50 t/ha; Verteilung Pflanzenkohle in oberste 15 cm Boden) festgestellt werden, dass die Schadstoffbelastung der Böden durch Pflanzenkohle mit Ausnahme von PAK kaum ein Problem darstellt.
59. Allerdings kann es sein, dass in seltenen Fällen (soweit das PAK-Problem unter Kontrolle ist) und entgegen den Feststellungen im EU-Projekt Eurochar⁵¹ Produktgrenzwerte (Vorschriften für Dünger und Bodenhilfsmittel) überschritten werden.

weitere Bemerkungen:

60. Ein weiterer Aspekt, der vor einer gesetzlichen Freigabe von Pflanzenkohle für die Anwendung in der Landwirtschaft oder zur C-Sequestrierung geprüft werden sollte, ist die Eigenschaft von Pflanzenkohle, **Umweltgifte und insbesondere Pflanzenschutzmittel zu binden** und so lange in der obersten Bodenschicht vorzuhalten, dass eine Anreicherung entsteht. Ein solcher Anreicherungsprozess (im Vergleich zu unbehandelten Böden) wurde etwa beobachtet bei PAK. Die Autoren dieser Untersuchung erklären diese Anreicherung damit, dass die (bakterielle) Mineralisierung von PAK durch eine erhöhte Sorption und kleinere Bioverfügbarkeit verringert wurde. Sie fordern **nähere Abklärungen**, bevor Pflanzenkohlen im grossen Stil in Böden ausgebracht werden (FN 44).
61. Die in der Schweiz zugelassenen Pflanzenschutzmittel (PSM) und deren relevante (sprich: öko- oder humantoxischen) Metaboliten haben eine Halbwertszeit im Boden von wenigen Tagen bis zu vielen Jahren. Eine Anreicherung von PSM in Pflanzenkohle erscheint deshalb möglich. Eine solche Anreicherung kann sich schädlich auf Bodenorganismen auswirken (Bsp. Abtöten von Bodenpilzen/Mykorrhiza durch Anreicherung von Fungiziden) und dem Humusverlust Vorschub leisten. Da dies ein langsamer, schwer feststellbarer Prozess ist, würde man das lange nicht bemerken.

⁵¹ "Keine Pflanzenkohle zeigte gegenüber Pflanzen eine Toxizität und alle chemischen Bestandteile lagen weit unter den EU-Grenzwerten." Siehe: <https://cordis.europa.eu/article/id/169552-biochar-for-carbon-sequestration/de>.

Allenfalls könnte eine Anreicherung auch zu höheren Pestizid-Rückständen auf Wurzelgemüse führen.

62. Im Zulassungsverfahren für PSM **werden solche Aspekte nicht geprüft**, weshalb sich die Frage stellt, ob das Einbringen von Pflanzenkohle in konventionell bewirtschaftete Böden (mit Einsatz von persistenten Pestiziden oder solchen mit persistenten relevanten Metaboliten) nicht bis auf weiteres verboten werden müsste. Oder umgekehrt, ob der Einsatz solcher Pestizide auf Böden, in die bereits Pflanzenkohle eingebracht wurde, nicht eingeschränkt werden muss. Solange solche Gefahren nicht ausgeschlossen werden können, sollte Pflanzenkohle nur für die Anwendung im Biolandbau zugelassen werden (unten Kap. 2.7).

2.4 Antwort auf Frage 3: "Kann Pflanzenkohle Auswirkungen auf die physikalische Belastung/Bodenstruktur oder Bodenbiologie haben?"

2.4.1 Physikalische Belastungen/Bodenstruktur

63. Physikalische Belastungen sind "Belastungen des Bodens durch künstliche Veränderungen der Struktur, des Aufbaus oder der Mächtigkeit des Bodens" (Art. 2 Abs. 4 VBBö). Im Bereich der Landwirtschaft stellt insbesondere die Bodenverdichtung durch den Einsatz schwererer Maschinen auf Böden, die zu wenig abgetrocknet sind, ein grosses Problem dar⁵².
64. Da in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle die Wasserrückhaltefähigkeit erhöht, könnte vermutet werden, dass das Verdichtungsrisiko bei der Bodenbearbeitung zunimmt. In der Literatur finden sich dazu aber keine Anhaltspunkte. Im Gegenteil verbessert die Zugabe, insbesondere von feinteiliger Pflanzenkohle (untersucht wurden Böden mit 0, 0.5 und 1.2-Gewichtsprozent Pflanzenkohle) sogar die Verdichtungs- und Quellungseigenschaften von lehmigen Böden⁵³, also von Böden, bei denen das Verdichtungsproblem besonders besteht.
65. Darüber hinaus hat Pflanzenkohle nach einer neueren Meta-Studie (2018) bedeutende weitere Vorteile, insbesondere auch struktureller Art (gelb markiert)⁵⁴:

⁵² Vgl. etwa Bundesrat, Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden, Bern 2020, Kap. 5.2.1, siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/bodenstrategie-schweiz.html>

⁵³ Zhang et al, Auswirkungen von Biokohle auf die Kompressions- und Quellungseigenschaften von tonigen Böden, in: International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering volume 6, Article number: 22 (2020), siehe: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40891-020-00206-1>

⁵⁴ Juriga et al, Effect_of_biochar_on_soil_structure, in: Acta fytotechn zootechn, 21, 2018(1), S. 13, siehe: https://www.researchgate.net/publication/325547296_Effect_of_biochar_on_soil_structure_-_review

Table 1 Benefits of biochar application (Review)

Soil organic matter	Biochar is source of stabile organic matter and increase of C sequestration provide refuge for beneficial soil microorganisms such as mycorrhiza or bacteria	Fischer and Glaser 2012; Pietikainen et al., 2000; Šimanský et al., 2016; Agegnehu et al., 2016; Horák and Šimanský, 2016
Greenhouse gasses	Reduce N ₂ O and CO ₂	Horák et al., 2017; Horák and Šimanský, 2017;
Water retention characteristics	Improve soil matter regimes and available plant water content	Abel et al., 2013; Abrol et al., 2016; Novak et al., 2012
Cation exchange capacity	Improve sorptive properties of soils	Šimanský et al., 2017; Rajkovich et al., 2012
pH	Neutralization of acid soil	Karami et al., 2011; Horák, 2015; Horák et al., 2017
Porosity	Improve pore size distribution and pore continuity	Obia et al., 2016
Bulk density	Increase of bulk density	Ajayi and Horn, 2016; Mukherjee and Lal, 2013
Soil structure	Improve aggregation processes and increase of aggregate stability	Cornelissen et al., 2013; Herath et al., 2013; Šimanský, 2016

66. Das Bestehen solcher Vorteile wurde vom deutschen Umweltbundesamt in einem früheren Bericht (2016) noch als unsicher beurteilt (FN 4, S. 74 ff.), insbesondere, weil nur in wenigen Untersuchungen bodenphysikalische Eigenschaften systematisch untersucht worden seien. Ausserdem müssten sie noch für die Böden der temperierten Zonen, zu denen auch die Schweiz gehört, nachgewiesen werden. Diesbezüglich bedarf es weiterer Forschungsarbeit.
67. Was aber festgestellt werden kann, ist, dass in der Literatur – soweit ersichtlich – keine negativen Effekte von Pflanzenkohle für die Bodenstruktur oder Verdichtung von Böden ausgewiesen werden.

insbesondere Tiefpflügen:

68. Tiefpflügen ist gemäss Wikipedia eine landwirtschaftliche Massnahme zur Melioration von Parabraunerde oder Pseudogleyböden oder zur Moorkultivierung. Hierbei wird der Boden mit einem Tiefpflug (auch Rigolpflug, Rajolpflug oder Tiefgangpflug genannt) tiefgründig, d. h. nach DIN 1185 mehr als 60 cm tief, maximal bis circa 2,5 Meter tief, umgebrochen. Ziel des Tiefpflügens ist das Überkippen des Oberbodens und Unterbodens, so dass sich im Bodenprofil eine schräge Wechschichtung aus drainierenden Unterbodenschichten und wasserspeichernden humosem Oberboden ergibt, und/oder das Aufbrechen wasserundurchlässiger Ortsteinschichten im Unterboden. Zwischen 1938 und 1978 wurden in Nordwestdeutschland (Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen) rund 180.000 ha Land durch Tiefpflügen urbar gemacht. Bei manchen Böden besteht die Gefahr, dass eine bestehende Humusschicht zerstört wird⁵⁵.

⁵⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Tiefpfl%C3%BCgen>

69. Das Tiefpflügen wird diskutiert, um Pflanzenkohle in tiefere Schichten mit wenig Sauerstoff und Bodenlebewesen einzubringen, mit dem Ziel, den Abbau (in Kohlendioxid) zu verlangsamen.
70. In der Schweiz gibt es allerdings nur wenige Böden, die sich **aus landwirtschaftlicher Sicht** für das Tiefpflügen eignen. So am ehesten noch frühere, urbar gemachte Moorböden, um den Torfabbau zu bremsen und die Torfböden nutzbringend zu erhalten (Bsp. Berner Seeland)⁵⁶. Allerdings schneidet das Tiefpflügen in Moorböden gegenüber anderen Bodenverbesserungsmassnahmen (Überschütten mit geeignetem Aushub, Aufsanden) schlechter ab (a.a.O., S. 66). **Keinesfalls sollte in gesunden Böden tiefgepflügt werden.** Dadurch würde der organische Anteil im Oberboden stark verringert (Grössenordnung 50%). Der Humus im Boden beeinflusst nach dem BAFU-Bericht "Boden in der Schweiz" direkt oder indirekt die meisten Bodenfunktionen. "Er ist Nährstoffquelle für die Pflanzen sowie Speichermedium für Wasser, Schadstoffe und Kohlenstoff. Im Nährstoff-, Wasser- und Kohlenstoffkreislauf spielt der Humus deshalb eine zentrale Rolle. Er begünstigt zudem die Bildung von stabilen Krümeln und trägt damit zum Schutz der Bodenoberfläche vor Erosion bei⁵⁷.
71. Die Möglichkeiten, Pflanzenkohle in der Schweiz durch Tiefpflügen langfristig zu erhalten, sind gering und der Sinn solcher Massnahme selbst in geeigneten Böden (Moorböden) ist sehr zweifelhaft.

2.4.2 Auswirkungen von Pflanzenkohle auf die Bodenbiologie

72. Als Biologische Bodenbelastungen gelten "Belastungen des Bodens, insbesondere durch gentechnisch veränderte, pathogene oder gebietsfremde Organismen" (Art. 2 Abs. 3 VBBö). Boden gilt als fruchtbar, wenn «die biologisch aktive Lebensgemeinschaft, die Bodenstruktur, der Bodenaufbau und die Mächtigkeit für seinen Standort typisch sind und er eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist» (Art. 2 Abs. 1a VBBö).
73. Auch für die Bodenbiologie werden der Pflanzenkohle viele gute Eigenschaften zugeschrieben, wobei die Faktenlage hier besser ist als beim Thema der physikalischen Eigenschaften (vorstehend). Als positive Wirkungen für die Bodenbiologie werden insbesondere genannt:

⁵⁶ LANAT Bern, Bodenbericht 2017, Zollikhofen 2017, S. 56 ff., siehe : https://www.be.ch/porta/de/veroeffentlichungen/publikationen.assetref/dam/documents/VOL/LANAT/de/Landwirtschaft/Bodenschutz/Bodenbericht_2017.pdf.

⁵⁷ BAFU, Boden in der Schweiz, Bern 2017, S. 53 ,siehe: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/publikationen/boden-in-der-schweiz.html>

- I. Die Eigenschaft von Pflanzenkohle, die Emissionen von Lachgas (N₂O) aus dem Boden zu halbieren, wobei aber die Dauerhaftigkeit der Wirkung und der Wirkmechanismus noch ungeklärt sind⁵⁸. Lachgas ist sehr Treibhaus wirksam (Faktor 298 stärker als CO₂; Verweilzeit in Atmosphäre: 114 Jahre). Lachgas aus Böden macht den Löwenanteil der landwirtschaftlichen Emissionen aus. Diese haben einen Anteil (in Deutschland) von rund 80% aller anthropogenen Lachgas-Emissionen. Der totale Treibhauseffekt von Lachgas beträgt derzeit 6 bis 9 %⁵⁹. Es sollte aber beachtet werden, dass die Lachgas-Emissionen stark vom Tierbestand abhängig sind, der auch aus anderen ökologischen Gründen reduziert werden sollte (Bsp. Emissionen von Methan und NH₃, Phosphoreinträge in Gewässer). Mit anderen Worten könnte zwar mit einer großflächigen Ausbringung von Pflanzenkohle der Anteil der Tierhaltung am Treibhauseffekt (rund 7,4 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen⁶⁰) etwas gesenkt werden, die Probleme liegen aber tiefer.

- II. Pflanzenkohle fördert Bodenlebewesen wie Mikroorganismen, Bodenbakterien und Mykorrhiza und Bakterien (obige Tabelle, FN 54) und sie bewirkt eine **Zunahme der mikrobischen Biomasse**, allerdings mit wesentlichen Änderungen in der Zusammensetzung der Mikrobengemeinschaft und der Enzymaktivitäten⁶¹. So kommt eine Studie zum Schluss, Pflanzenkohle würde das Wachstum von gewissen Mykorrhiza hemmen (Ascomycota) und jenes von anderen (Zygomycota and Basidiomycota) fördern⁶². Diesbezüglich bedarf es weiterer Forschungsarbeit. Eine hohe Aktivität von Mikroorganismen im Boden ist im Prinzip positiv zu werten, weil sie mineralische Nährstoffe für Pflanzen verfügbar machen.

⁵⁸ Hagedorn et al, Boden und Umwelt: organische Bodensubstanz, Treibhausgasemissionen und physikalische Belastung von Schweizer Böden, in: NFP 68 Thematische Synthese 2, Boden und Umwelt, S. 43 http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68_TS2_Umwelt_DE.pdf

⁵⁹ <https://2016.agrarbericht.ch/de/umwelt/stickstoff/lachgasemissionen> sowie [https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhausgas#Distickstoffmonoxid_\(Lachgas\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhausgas#Distickstoffmonoxid_(Lachgas))

⁶⁰ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>

⁶¹ Lehmann et al, Biochar effects on soil biota – A review, in: Volume 43, Issue 9, September 2011, siehe: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071711001805>.

⁶² Gao et al, Effects of biochar on nutrients and the microbial community structure of tobacco-planting soils, Journal of soil science and plant nutrition, online-Edition, siehe: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162017000400004

2.4.3 Fazit

74. Pflanzenkohle hat Auswirkungen auf die physikalische Belastung/Bodenstruktur sowie die Bodenbiologie, wobei diese scheinbar eher positiver Art sind. Für eine verlässlichere Antwort bedarf es weiterer Forschung.

2.5 Antwort auf Frage 4: „Kann der Eintrag von Pflanzenkohle in den Boden in Deutschland, Österreich und Frankreich als Kohlenstoffsequestrierung im Rahmen der nationalen Klimapolitik angerechnet werden und wenn ja, unter welchen Bedingungen?“

75. Eine Anrechnung an die C-Sequestrierung würde erfordern, dass für in den Boden eingebrachte Pflanzenkohle CO₂-Zertifikate ausgestellt werden können. Erst dann würden solche Kohlenstoffspeicherungen anrechenbar an die Klimapolitik. Bis dato kennen weder Deutschland, noch Österreich oder Frankreich derartige gesetzlich normierte CO₂-Zertifikate.
76. Ein anderes Thema sind sog. "freiwillige" (sprich: gesetzlich nicht vorgesehene) CO₂-Zertifikate für Pflanzenkohle, die von verschiedenen Stellen angeboten werden. Diese sind aber nicht an die nationale Klimapolitik anrechenbar.

Voraussetzungen für die Ausstellung von CO₂-Zertifikaten:

Für die Ausstellung von CO₂-Zertifikaten müssten im Sinne der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UN 1992) vier Bedingungen erfüllt sein⁶³:

- I. **messbare Senke:** Die Einlagerung des zusätzlichen C_{org} muss quantifizierbar und verifizierbar sein, weil damit reale andere Emissionen kompensiert werden sollen (Verifizierbarkeit).
Dieses Kriterium wäre bei der Zugabe von Pflanzenkohle **leicht erfüllbar, weil der C-Gehalt bekannt oder bestimmbar ist** (Gewicht des Kohlenstoffs in der eingebrachten Pflanzenkohle). Allerdings kann der Anteil, der im Boden stabil bleibt, derzeit nicht präzise bestimmt werden. Das eingebrachte Gewicht an Pflanzenkohle wäre eine Überschätzung.
- II. **langfristige Senke:** Der eingelagerte C_{org} muss zweitens dauerhaft gespeichert werden (Permanenz).

⁶³ Leitfeld et al, Kriterien für die Zertifizierung von Kohlenstoffsinken in Landwirtschaftsböden, Agrarforschung Schweiz 10 (9), 346–349, 2019 (<https://www.agrarforschungschweiz.ch/2019/09/kriterien-fuer-die-zertifizierung-von-kohlenstoffsinken-in-landwirtschaftsboeden/>). Vgl. dazu auch: Wiesmeier et al (Hrsg. Bundesministeriums für Bildung und Forschung), CO₂-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen, in: BonaRes Series 2020/1, siehe: https://www.researchgate.net/publication/340006637_CO2-Zertifikate_fur_die_Festlegung_atmospharischen_Kohlenstoffs_in_Boden_Methoden_Massnahmen_und_Grenzen

Dieses Kriterium **ist derzeit eher schwer erfüllbar**, weil die Angaben zur Halbwertzeit bzw. Verweilzeit von Pflanzenkohle unklar sind. So scheint insbesondere HTC-Kohle wenig stabil. Demgegenüber scheint Pyrolysekohle eine Halbwertzeit von vielen Jahrzehnten oder sogar Jahrhunderten zu haben (vorne Ziffer 17). Da aber in anderen Bereichen schon Zeiten von einigen zehn Jahren als "dauerhafte Senke" anerkannt werden, sollte dies bei der scheinbar mindestens so dauerhaften Pflanzenkohle auch möglich sein. Es wären dazu insbesondere noch Untersuchungen zur Haltbarkeit in Schweizer Böden nötig.

- III. **Wirtschaftlichkeit nur dank CO₂-Zertifikat:** Ein zertifizierbares Senkenprojekt muss drittens die Bedingung der Zusätzlichkeit (Additionalität) erfüllen. Dies bedeutet, dass eine Senke nur durch den Anreiz des CO₂-Zertifikates geschaffen wird, dass also zum Beispiel eine teure Massnahme erst durch das Zusatzeinkommen aus dem Verkauf der Zertifikate wirtschaftlich wird.

Dieses Kriterium ist **schwer zu erfüllen**, denn die kurz- wie auch die langfristige Wirtschaftlichkeit hängen von vielen Faktoren ab und sind schwer zu bestimmen. So ist z.B. der Nutzen für die Tiergesundheit (bei Verfütterung an Tiere) oder die Bodenfruchtbarkeit schwer zu bemessen. Es gibt dazu keine verlässlichen Studien⁶⁴. Diese Feststellung aus dem Jahre 2016 gilt auch noch heute.

- IV. **Keine Verlagerung von CO₂-Emissionen:** Bei Senkenprojekten muss die Gefahr der Auslagerung (Leakage) vermieden werden. Damit werden die Auslagerung der in einem Projekt vermiedenen Emissionen in andere Länder oder das Auftreten von zusätzlichen Emissionen entlang der Wertschöpfungskette ausserhalb der Systemgrenzen des Projektes (z. B. bei Vorleistungen wie Herstellung von Futtermittelzusätzen) bezeichnet. Für das System Boden tritt eine solche Verlagerung auf, wenn eine Senke auf Kosten einer anderen oder sogar durch das Hervorrufen einer Quelle andernorts realisiert wird.

Auch dieses Kriterium **sollte erfüllbar sein**, jedenfalls, wenn überschüssiges Pflanzenmaterial zu Pflanzenkohle verarbeitet wird, das sonst in der Umwelt (Bsp. Wald, Feld) liegen bliebe und zu CO₂ abgebaut wird. Es ist aber auch nicht in jedem Fall unproblematisch, etwa wenn Stroh von Feldern zu Pflanzenkohle verarbeitet wird, anstatt dieses wieder in den Boden einzuarbeiten, um den Humusgehalt zu erhalten. Eine ähnliche Problematik besteht bei Holz, das nicht mehr als "Totholz" im Wald belassen würde, denn Totholz bildet den Lebensraum zahlreicher Pilze, Flechten, Moose und Kleintiere (z.B. Käfer, Wildbienen, Asseln).

Zusammengefasst könnten zwei der vier Kriterien für eine Zertifizierung von Pflanzenkohle wohl erfüllt werden. Demgegenüber bestehen bei den Kriterien der "langfristigen Senke" und (fehlenden) "Wirtschaftlichkeit" erhebliche Unsicherheiten. Diese beiden Kriterien sind derzeit nicht erfüllbar.

Im Schweizer Recht ist eine Anrechnung der Senkenleistung von Pflanzenkohle derzeit ausgeschlossen (vgl. Art. 60 Abs. 3 Bst. c, Anhang 2 Ziffer 2 Bst. b und Anhang 3 Bst. b Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen; SR 641.711). Im Rahmen der laufenden Revision des CO₂-Gesetzes ist vorgesehen, dass für die Erhöhung der Senkenleistung nationale Bescheinigungen ausgestellt werden können, sofern die Anforderungen gemäss Verordnung erfüllt sind. Unter dem Übereinkommen von Paris wird die Schweiz ab 2021 sämtliche

⁶⁴ Looser, Pflanzenkohleeinsatz in der Landwirtschaft; Einsatzbereiche und Wirtschaftlichkeit von Pflanzenkohle als Klimamassnahme, S. 3 (https://agrocleantech.ch/images/Fachleute/Wissen/Pflanzenkohleeinsatz_in_der_Landwirtschaft_als_Klimamassnahme.pdf).

Quellen und Senken der Landnutzung, aus Landnutzungsänderungen und Waldbewirtschaftung anrechnen (siehe auch «Nationally determined contribution»). Entsprechend werden diese Emissionen oder Senkenleistungen gemäss Richtlinien der Klimarahmenkonvention im nationalen Treibhausgasinventar ausgewiesen.⁶⁵

77. Einige Fachleute sind der Ansicht, Pflanzenkohle könne nur dann einen grossen Beitrag zum Klimaschutz leisten, wenn ein stofflicher Verwertungszwang eingeführt wird, der organisches Material vor einer einfachen energetischen Verwertung schützt⁶⁶.
78. Im Übrigen gibt es auch ausgesprochen kritische Stimmen für eine C-Sequestrierung mit Pflanzenkohle und Anrechnung an die nationale Klimapolitik. So besteht die Befürchtung, dass die Verminderung von Treibhausgasen als Argument genommen würde, um im grossen Massstab einerseits zu pyrolysierende Biomasse allein zum Zweck der C-Sequestrierung anzubauen und andererseits ohne boden-ökologische Motivation und Wirkung, rein aus Klimaschutzgründen in den Boden einzubringen, wie dies bereits angedacht wurde. Eine solche Entwicklung würde durch die Einbindung von Pflanzenkohle in den Emissionshandel forciert⁶⁷. Dies hätte zur Folge, dass die Landwirtschaft noch mehr intensiviert wird; zu Lasten der Artenvielfalt, der Gewässerqualität, der Produktion von Lebensmitteln und des Selbstversorgungsgrads.
79. Möchte man in der Absicht einer C-Sequestrierung möglichst grosse Mengen an organischer Substanz pro Flächeneinheit erzeugen, ist die Zucht von Algen weit effizienter als der Anbau von Landpflanzen. So wachsen gewisse Mikroalgen ungefähr **10 Mal** schneller als terrestrische Nutzpflanzen wie Raps und haben pro Hektar

⁶⁵ Botschaft zur Totalrevision des CO₂-Gesetzes nach 2020, BBl 2018, S. 269 (<https://www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2018/247.pdf>).

⁶⁶ Interview mit Prof. Tertytze et al (<https://www.esv.info/aktuell/terytze-und-wagner-die-bisherigen-erfahrungen-bei-der-herstellung-von-biokohle-sind-vielversprechend/id/98374/meldung.html>).

⁶⁷ Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND), Terra Preta / Pyrolysekohle - BUND-Einschätzung ihrer Umweltrelevanz, S. 15, siehe: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/migrated/publications/150504_bund_sonstiges_bodenschutz_terra_preta_einschaetzung.pdf.

einen **30 Mal** höheren Fettanteil⁶⁸. Deutsche Forscher stellen aus Mikroalgenöl Kohlefasern her, die zunächst als Baustoff verwendet werden, bevor sie zwecks C-Sequestrierung im Boden abgelagert werden können⁶⁹.

2.6 Antwort auf Frage 5: „Existieren auf EU-Ebene Regelungen zu Pflanzenkohle, die für die genannten Länder (Deutschland, Österreich, Frankreich) in der «Schnittstelle Pflanzenkohle – Klimapolitik» einen Rahmen vorgeben (etwa ähnlich der «Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021-2030» [https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_sv?2nd-language=de], die den Mitgliedsländern gewisse Vorgaben macht)?“

80. Nach der EU-Verordnung über Landnutzung und Forstwirtschaft für 2021-2030 (nachfolgend "Verordnung W&F") kann die Einbringung von Pflanzenkohle in den Boden nicht an die nationale Klimapolitik angerechnet werden, weil "anorganischer Kohlenstoff" dort nicht als anrechenbare Komponente erwähnt wird (vgl. Art. 5 Abs. 4 sowie Anhänge 1 und 4).
81. Auch sonst bestehen im EU-Recht derzeit keine Regelungen in der Schnittstelle Pflanzenkohle/Biokohle – Klimapolitik.

2.7 Antwort auf Frage 6: „Welche umwelt-, insbesondere bodenschutzrechtlichen Regelungen sollte die Schweiz für die Verwendung/den Einsatz von Pflanzenkohle treffen?“

2.7.1 Regelungsziele

82. Einer Normierung des Einsatzes von Pflanzenkohle (**Ausbringung nur in landwirtschaftlich genutzte Böden**) sollten die folgenden Regelungsziele zugrunde gelegt werden:
1. Verwendung von Pflanzenkohle als Bodenverbesserungsmittel; nur aus unbehandeltem Pflanzenmaterial oder solchem, das mit für die Biologische Landwirtschaft zugelassenen Hilfsmitteln behandelt wurde.
→ Umsetzen im Düngerrecht (DüBV)

⁶⁸ Schirmacher, Kann man mithilfe von Algen die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre senken? <https://www.cleanenergy-project.de/energie/bioenergie/mit-algen-die-kohlendioxidkonzentration-in-der-atmosphaere-senken/>.

⁶⁹ Die Klima-Klempner, in: Focus Magazin, 42 (2019) (https://www.focus.de/wissen/klima/wissen-die-klima-klempner_id_11228989.html).

2. Qualitätsvorschrift mindestens 50% C Gehalt; keine weiteren Vorschriften wie etwa zum H/C-Verhältnis, da abgedeckt durch PAK-Grenzwert.
→ 1 und 2: Umsetzen im Düngerrecht (DüBV)
3. Begrenzung des Schadstoffgehalts von Pflanzenkohle auf die geltenden Werte der ChemRRV für organische Dünger und Recyclingdünger (oben Tab. 3);
→ Umsetzen in ChemRRV und mit Pkt. 1 hievor
4. Beschränkung der Anwendung von Pflanzenkohle auf den Biologischen Landbau (oben Ziffern 60 ff.).
→ Umsetzen in ChemRRV

2.7.2 Regelungsvorschlag

bisherige Bewilligung von Pflanzenkohle als Dünger der keinem Düngertyp entspricht:

83. In der Schweiz darf Pflanzenkohle mit einer Bewilligung des Bundesamts für Landwirtschaft als Dünger in Verkehr gebracht werden. Dazu müssen basierend auf Artikel 11 Abs. 2 DüV die Bedingungen laut Merkblatt «Voraussetzungen und Vorschriften für die Bewilligung von Biokohle⁷⁰» eingehalten werden, wodurch die kontinuierliche Qualitätskontrolle betreffend Herstellung und Schadstoffgehalten gewährleistet wird.
84. Im Folgenden wird geprüft, wie eine Regelung zur Zulassung von Pflanzenkohle als definierter Düngertyp aussehen könnte.

Pflanzenkohle als Bodenverbesserungsmittel, Regelung im DüBV:

85. Gemäss der DF-EU-Öko-Verordnung (vorne Kap. 2.1) gilt Pflanzenkohle als Bodenverbesserungsmittel. Es liegt auf der Hand, dies auch in der Schweiz so zu handhaben. Dadurch und mit einer Harmonisierung der Produkthanforderungen können allfällige Probleme beim grenzüberschreitenden Handel mit Pflanzenkohle am einfachsten vermieden oder zumindest gelöst werden.
86. Bodenverbesserungsmittel sind in der Schweiz in der DüV geregelt und gelten als "Dünger" (Art. 5 Abs. 2 Bst. h DüV⁷¹).

⁷⁰ Erhältlich bei der Zulassungsstelle für Dünger unter duenger@blw.admin.ch

⁷¹ Art. 5 Abs. 2 Bst h DüV: "Als Dünger im Sinne dieser Verordnung gelten: (...) h. h. Bodenverbesserungsmittel: Erzeugnisse, welche die Eigenschaften des Bodens verbessern."

87. Die Einreihung von Pflanzenkohle unter die "Dünger" hat zudem den Vorteil, dass das eingespielte Zulassungs- (und nötigenfalls Sanktions-)System der DüV zur Anwendung gelangt. Zudem gelten dann nach Art. 21a Abs. 1 DüV auch die Qualitätsanforderungen von Anhang 2.6 der ChemRRV (insbesondere die Grenzwerte für Schadstoffe). Die Zulassung von typisierten Düngern erfolgt durch das WBF in einer Düngerliste (Art. 7 Abs. 3 DüV).
88. Damit kann Pflanzenkohle vom WBF als "Düngertyp" in die **Düngerliste** der Düngerbuch-Verordnung WBF (DüBV) aufgenommen werden. Aufgrund des Umstands, dass bei Pflanzenkohle-Produkten je nach Herstellungsart (v.a. Temperatur) allenfalls zu hohe PAK-Werte auftreten, wird eine Aufnahme in die Kategorie der **anmeldepflichtigen Dünger** nach Art. 19 Abs. 1 DüV vorgeschlagen. Ausserdem muss eine periodische Analyse zum PAK-Gehalt erfolgen.

89. Dies kann mit folgender Regelung erreicht werden:

Ergänzung von Anhang 1, Teil 6 DüBV (Teil 6, Anmeldepflichtige Dünger, Hof- und Recyclingdünger sowie weitere Erzeugnisse, Anforderungen an die einzelnen Düngertypen):

	Typenbezeichnung	Mindestgehalte (in Gewichtsprozenten)	Typenbestimmende Bestandteile, Nährstoffformen und -löslichkeiten	Bewertung; weitere Erfordernisse	Zusammensetzung; Art der Herstellung	Besondere Bestimmungen
1	2	3	4	5	6	7
(...)						
2090	Pflanzenkohle, Pyrolyseprodukt aus einem breiten Spektrum von organischen Materialien pflanzlichen Ursprungs ①	60% C (elementar) ②	Gesamtkohlenstoffgehalt (elementar) ③		Nur aus pflanzlichen Stoffen, unbehandelt oder behandelt mit Pflanzenschutzmitteln oder Düngern nach Anhängen 1 und 2 Verordnung des WBF über die biologische Landwirtschaft ⁷² allenfalls (je nach Prüfungsergebnis): Ausschluss von Pflanzenmaterial, das mit Kupferfungiziden behandelt wurde. ④	Höchstwert von 4 mg polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) pro kg Trockenmasse. Dieser Wert muss vom Bewilligungsinhaber anhand von repräsentativen Stichproben regelmässig überprüft und den Behörden (BLW, BAFU, kantonale Bodenschutzfachstellen) offengelegt werden. ⑤

Tab. 5 Regelungsvorschlag für Pflanzenkohle im DüBV

⁷² SR 910.181.

90. Erläuterungen:

- zu ①: Der Begriff "Pflanzenkohle" wird in der DF-EU-Öko-Verordnung verwendet. Er bezeichnet das Produkt am besten (besser als "Biokohle, welche auch aus anderen, z.B. tierischen Ausgangsmaterialien hergestellt werden kann). Auch die weitere Produktbeschreibung entspricht der Regelung in der EU.
- zu ②: Pflanzenkohle hat einen Anteil von mindestens 60% elementarem Kohlenstoff. Diese Mindestanforderung soll Produktverfälschungen (Bsp. Verdünnen mit Kalk) vorbeugen.
- zu ③: Der Gehalt an elementarem Kohlenstoff ist zentral. Im Prinzip möglich wäre, zusätzlich Vorgaben für die Gehalte von Phosphor oder Kalium zu machen (beides wichtige Pflanzennährstoffe). Dies scheint aber bei Pflanzenkohle kein zentraler Aspekt, weshalb darauf verzichtet wurde.
- zu ④: Diese Vorgabe entspricht der EU-Vorschrift und dient der Produktharmonisierung. Sie bezweckt gleichzeitig, den Gehalt an hochgiftigen (chlorierten) Dioxinen und Furanen tief zu halten. Diese können aus Rückständen von chlorhaltigen Pflanzenschutzmitteln aus der konventionellen Landwirtschaft entstehen. Im Biologischen Landbau sind allerdings Wirkstoffe mit Kupfer und darunter sogar einer mit Chlor zugelassen⁷³. Deren Auswirkungen in der Pyrolyse sollten näher untersucht werden. Insbesondere Rebholz und Holz von Obstbäumen aus dem Biolandbau können mit solchen Stoffen behandelt sein.

Abklärungsbedarf betreffend die im Biolandbau zugelassenen Fungizide auf Kupferbasis, insbesondere Kupferoxychlorid:

Näher zu prüfen ist, ob die im Biologischen Landbau zugelassenen Fungizide auf Kupferbasis, insbesondere Kupferoxychlorid die Bildung von hochgiftigen Dioxinen oder Furanen bewirken. Kupferionen wirken als Katalysator bei der Bildung von Dioxinen und Furanen⁷⁴. Die Problematik ist bekannt aus der Kehrrichtverbrennung. Bei

⁷³ Anhang 1 Verordnung des WBF über die biologische Landwirtschaft (SR 910.181).

⁷⁴ Begünstigende Bedingungen für die Bildung von Dioxinen und Furanen sind: Anwesenheit von Chlorionen, Organisch gebundener Kohlenstoff, Temperaturen zwischen 250 und 450 °C und ausreichende Verweilzeit in diesem Temperaturbereich, Anwesenheit eines Katalysators, wie Kupfer, Anwesenheit von Sauerstoff (dazu Minimierung von Dioxin und Furan-Emissionen in Giessereien, in: Gute Praktiken-Leitfaden, S. 3; https://www.bdguss.de/fileadmin/content_bdguss/BDG-Service/Infothek/Sonderpublikationen/Diofur/DIOFUR-Gute-Praktiken-Leitfaden Teil1 und Teil 2 0.pdf).

Kupferoxychlorid kommt dazu, dass es beim Erhitzen ab 300 °C elementares Chlor freisetzt⁷⁵. Chlor kann mit den im Pyrolyseprozess gebildeten PAK Dioxine oder Furane bilden. Die übliche Pyrolysetemperatur von 350 – 600 °C ist dafür grundsätzlich geeignet. Einmal gebildete Dioxine und Furane sind bis 900 °C, also weit über der Pyrolysetemperatur, stabil⁷⁶.

Die Problematik ist ernst zu nehmen, weil die Grenzwerte nach Anhang 2.6 Ziffer 2.2.1 ChemRRV für Dioxine und Furane bei tiefen 20 Nanogramm I-TEQ pro Kilogramm Trockensubstanz liegen. Würde man z.B. davon ausgehen, dass in einer Tonne behandeltem Holz 1 Gramm Rückstände von Kupferoxychlorid vorliegen und davon auch nur 1% Dioxine bildet, erhielte man ca. 0.003 g Dioxin⁷⁷ bzw. eine Dioxin-Konzentration in der Pflanzenkohle von 6'000 Nanogramm/kg. Der Grenzwert der ChemRRV von 20 Nanogramm/kg wäre damit **300 Mal überschritten**.

Es sollten daher **vor einer Zulassung von Pflanzenkohle als Bodenverbesserungsmittel nähere Untersuchungen zu den Gehalten von Kupferfungiziden im Ausgangsmaterial erfolgen**. Weil die Chemie der Dioxin- und Furanbildung und die Reaktionsbedingungen im Pyrolyseraktor komplex ist, helfen nur Praxisversuche weiter.

Je nach Gefahr einer Dioxin- oder Furanbildung **müssten Massnahmen getroffen werden, damit kein mit Kupferverbindungen belastetes Pflanzenmaterial zu Pflanzenkohle verarbeitet wird**.

zu ⑤: Der Maximalgehalt von 4 mg/kg PAK ist zwar auch Gegenstand der ChemRRV (nachfolgend). Da aber der Bewilligungsinhaber regelmässig und anhand von repräsentativen Stichproben Kontrollanalysen durchführen soll, wird die entsprechende Pflicht sinnvollerweise in der DüBV erwähnt, wo die Marktzulassung geregelt ist. Die Details sind als Auflage in der Bewilligung zu formulieren (vgl. Kap. 2.7.3).

⁷⁵ [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/002470.xml?f=templates\\$fn=default-doc.htm\\$3.0#01211](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/002470.xml?f=templates$fn=default-doc.htm$3.0#01211). Dazu bedarf es zwar der Anwesenheit von Sauerstoff, was bei dieser Temperatur (300 – 600 °C) im Pyrolyseraktor aber noch in genügendem Umfang der Fall sein dürfte.

⁷⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/dioxine#was-sind-dioxine-und-dioxinahnliche-pcb>.

⁷⁷ Abschätzung: Kupferoxychlorid (KOx) enthält 1 Chloratom und hat etwa das halbe Molgewicht eines typischen Dioxins (213 versus 430 Gramm). Zur Bildung eines Dioxinmoleküls (mit sieben Cl-Atomen) sind 7 KOx-Einheiten nötig. Ein Gramm KOx (angenommener Gehalt in 1 Tonne Pflanzenmaterial) entspricht $(1/231 =) 4.7 \times 10^{-3}$ Mol. Ein Prozent davon sind 4.7×10^{-5} Mol. Damit könnten $4.7 \times 10^{-5}/7$ Mol Dioxin gebildet werden. Dies entspricht 0.003 Gramm Dioxin. Mit 0.003 Gramm Dioxin kann eine halbe Tonne Pflanzenkohle (= Ausbeute aus 1 Tonne Pflanzenmaterial) auf einen Wert von 0.000006 g/kg belastet werden. Dies entspricht 6'000 ng/kg Dioxin.

Begrenzung des Schadstoffgehalts und der Anwendung in der ChemRRV:

91. Nach Art. 21a Abs. 1 DüV richten sich die maximal zulässigen Schadstoffwerte von Dünger nach Anhang 2.6 ChemRRV. Diese Werte sind auch sinnvoll für Pflanzenkohle. Sie liegen in der Grössenordnung der untersuchten EU-Länder (D, AT, F).
92. Allerdings bedarf der Titel des Anhangs 2.6 und der Text im ersten Absatz noch einer Erweiterung, damit Pflanzenkohle erfasst wird (gelb markiert):

"2.2 Qualitätsanforderungen

2.2.1 Organische Dünger, Recyclingdünger, ausgenommen mineralische Recyclingdünger, sowie Hofdünger und Pflanzenkohle

¹ Der Schadstoffgehalt von organischen Düngern, Recyclingdüngern, ausgenommen mineralischen Recyclingdüngern, sowie Hofdüngern und Pflanzenkohle darf die folgenden Grenzwerte nicht übersteigen:

(....)

³ Für Kompost, Pflanzenkohle und Gärgut gelten die folgenden Richtwerte:

(...)"

93. Zur Vermeidung der Gefahr einer Anreicherung von Pflanzenschutzmitteln in Böden (oben Ziffer 61) bedarf es einer Verwendungsvorschrift, die ebenfalls in Anhang 2.6 ChemRRV eingefügt werden kann:

"3.2.2a Pflanzenkohle

Pflanzenkohle darf nur in Böden ausgebracht werden, auf denen keine Pflanzenschutzmittel verwendet werden, die nicht für den biologischen Landbau zugelassen sind.

Die Gefahr, dass auf solchen Flächen später Pflanzenschutzmittel für den konventionellen Landbau ausgebracht werden, lässt sich kaum sicher beschränken. Möglich wäre, eine bestimmte Dauer vorzugeben (z.B. 10 Jahre), während der dies nicht geschehen darf; in der Hoffnung (!), die Pflanzenkohle sei bis dann mit anderen organischen Stoffen beladen und ihre Sorptionskapazität für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe nur noch gering.

94. Ein besonderes Problem bildet die Herstellung von Pflanzenkohle in Gruben oder Metallgefässen durch Landwirte zum Eigengebrauch. Solche Pflanzenkohlen können im schlechten Fall (unvollständige Pyrolyse, feuchtes Ausgangsmaterial) sehr hohe Mengen von PAK enthalten. Da sie nicht an Dritte verkauft werden, fallen sie nicht in den Anwendungsbereich der DüV. Um eine Gefährdung der Böden durch solche Eigenprodukte zu vermeiden, könnte in der ChemRRV geregelt werden, dass nur nach DüV zugelassene Pflanzenkohlen in Böden eingebracht werden dürfen.

95. Um eine schädliche Anreicherung mit Schadstoffen im Sinne des umweltrechtlichen Vorsorgeprinzips zu vermeiden, sollte zudem eine Mengenbeschränkung in die ChemRRV aufgenommen werden, z.B. wie folgt:

"3.2.2a Pflanzenkohle

(...)

² Die maximal zulässige Menge an Pflanzenkohle, die über eine Dauer von 10 Jahren in den Boden ausgebracht werden darf, beträgt total 10 Tonnen pro Hektare."

Mit einer solchen Regelung können Erfahrungen gesammelt werden. Allenfalls kann diese Beschränkung dann nach 10 Jahren gelockert werden.

2.7.3 Zur Prüfung des PAK-Gehalts und weiterer Schadstoffe

96. Die den Gesuchsteller für die Anmeldung von Pflanzenkohle betreffende periodische Prüfpflicht zum PAK-Gehalt an repräsentativen Stichproben (z.B. in den ersten zwei Jahren jede 10. Charge; Lockerung des Kontrollregimes ab dem dritten Jahr, wenn PAK-Grenzwerte eingehalten wurden) und das Reporting an die Zulassungsbehörde (BLW) müssen in der **Bewilligung als Auflage im Sinne von Art. 4a DüV** formuliert werden. Die Behörde kommt nicht umhin, ein **Prüfsystem für Pflanzenkohle** einzuführen. Möglich wäre allenfalls, dies an eine private Kontrollstelle auszulagern. Die Kosten wären im Sinne des Verursacherprinzips von den Gesuchstellern zu tragen oder auf diese zu überwälzen.
97. Zudem sollte das BLW zumindest bei der erstmaligen Anmeldung und bei jeder Erneuerung (alle 10 Jahre, Art. 19 Abs. 1 DüV) vom Gesuchsteller eine umfassende Analyse zu allen möglichen Schadstoffen sowie zum Gehalt an elementarem Kohlenstoff einfordern.
98. Schliesslich sollten die Behörden zumindest in den ersten 10 Jahren der Zulassung Stichproben bei verschiedenen auf dem Markt erhältlichen Pflanzenkohlen ziehen und die möglichen Schadstoffe bestimmen, insbesondere auch Dioxin und Furan.

2.7.4 Schlusswort

99. Die Einbringung von Pflanzenkohle in Böden ist zwar vielversprechend. Allerdings sitzt der Teufel wie so oft im Detail und **verschiedene Fragen bedürfen noch einer genaueren Abklärung und Regulierung**, insbesondere mit Bezug auf stoffliche Belastungen und den langfristigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit gemäss Art. 2 VBBö.

100. Im Übrigen wird im Sinne des umweltrechtlichen Vorsorgeprinzips empfohlen, die Verwendung von Pflanzenkohle zur Einbringung in Böden **mit gedrosseltem Tempo anzugehen**. Bis auf weiteres sollten die Schadstoffgehalte in den damit behandelten Böden auf einer repräsentativen Zahl von Flächen gemessen werden, um eine Prognose über die Zukunft zu ermöglichen und allenfalls Vorkehrungen zu treffen.
101. Die Geschwindigkeit der Entwicklung kann auf regulatorischer Ebene in verschiedener Weise umgesetzt werden. Eine Art der Umsetzung ist im vorstehenden Kapitel beschrieben. Abgesehen davon spielen auch die Subventions- und Direktzahlungsordnung eine wichtige Rolle. Würde Pflanzenkohle vom Gesetzgeber (wie bislang) nur marginal gefördert, dürfte sie weiterhin ein Mauerblümchendasein fristen. Würden demgegenüber Pyrolyseanlagen oder die Verwertung von Pflanzenmaterial stark subventioniert, stiege der Marktumsatz rasch an. Es erscheint deshalb wichtig, dass eine **allfällige finanzielle Unterstützung vorgängig auf ihre Folgen abgeklärt wird**.



Dr. Hans Maurer