Aus Gras wird Kohle – die Nutzung von spätem Grasschnitt für die Bodenverbesserung

Gabriele Joanna Kowalski, Thomas Hoffmann, Thomas Heinrich & Benjamin Selge

1. GO-GRASS – Kreislaufwirtschaftsmodelle für dynamische ländliche Entwicklung auf der Basis von Gras

GO-GRASS war ein EU-gefördertes »Horizont 2020« Projekt, welches von 2019 bis 2024 umgesetzt wurde. Der Verein der Freunde des Deutsch-Polnischen Europa-Nationalparks Unteres Odertal e. V. (Nationalparkverein) war maßgeblich als Partner für den direkten Kontakt zu Landwirten und Lieferant vom Rohstoff Gras beteiligt. Der Nationalparkverein war zudem für die Öffentlichkeitsarbeit in der Region, aber auch überregional für die Organisation eines internationalen Symposiums verantwortlich.

Im GO-GRASS-Projekt wurden vier verschiedene Ansätze (sogenannte Demonstrationsvorhaben) entwickelt, um Gras unterschiedlicher Art, Herkunft und Qualität in eine Kreislaufwirtschaft zu integrieren. Im Deutschen Demonstrationsvorhaben wurde die Herstellung von Pflanzenkohle als Bodenverbesserer in Brandenburg verfolgt. Neben dem Verein war hier das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. als Forschungsinstitut maßgeblich beteiligt. Aber was ist Pflanzenkohle eigentlich und welche Rolle spielte Gras dabei?

2. Wertloses Gras?

Um die Auenlandschaften des Nationalparks Unteres Odertal weiterhin offen zu halten und der Sukzession entgegenzuwirken, werden Wiesen und Polderflächen aktiv gepflegt. Diese Pflege kann mit der Weidenhaltung von Rindern, Pferden, Ziegen, Schafen usw. oder mit der Mahd durchgeführt werden. Diese Praxis der Landschaftspflege wird in allen Schutzgebieten betrieben, wo eine Offenlandschaft erhalten bleiben soll. Da die Mahd ein Eingriff in die natürlichen Abläufe der Landschaft ist, gibt es strenge Regeln, zu welchem Zeitpunkten gemäht werden darf. Um bodenbrütende Vögel und anderen tierischen Nachwuchs zu schonen, darf frühestens am 1. Juli jeden Jahres gemäht werden. So kann es vorkommen, dass auf manchen Flächen erstmals im August oder gar September gemäht wird. Je später die Mahd vorgenommen wird, umso älter ist das Gras. Der sogenannte Spätschnitt zeichnet sich durch eine geringere Nährstoffqualität und einen hohen Verholzungsgrad aus. Mit diesen Eigenschaften kann dieses Gras natürlich auch weiter verfüttert werden, es ist aber proteinärmer als frisches Gras und wird von den Tieren schlechter angenommen und verdaut. So lange es ausreichend Gras mit besseren Eigenschaften gibt, bleibt das Gras vom Spätschnitt ungenutzt. Ist das Gras nun wertlos? Nein.

3. Pflanzenkohle: Was ist das?

Pflanzenkohle wird unter Temperaturen zumeist zwischen 400 °C und 700 °C hergestellt. Hierbei handelt es sich um die thermochemische Konversion von Gras, man spricht auch von einem Karbonisierungsprozess. Während dieses Prozesses kann Wärme freigesetzt werden, und es wird Pflanzenkohle (Abb. 1) produziert. Die bekannteste Pflanzenkohle wird aus Holz hergestellt, sie kann aber auch aus jeglicher Biomasse und organischen Abfällen entstehen, wie Gras (Heinrich et al. 2023) oder Kaffeesatz (Dang et al. 2023). Pflanzenkohle wird aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften in vielen Anwendungsgebieten eingesetzt: u.a. als Bodenverbesserer, zur Herstellung von Biokraftstoffen, als Aktiv-Kohlefilter, als Beigabe im Einstreu im Stall oder als Futtermittelzusatz. Dank seiner porösen Struktur hat die Pflanzenkohle eine große innere Oberfläche. Je nach Prozesstemperatur

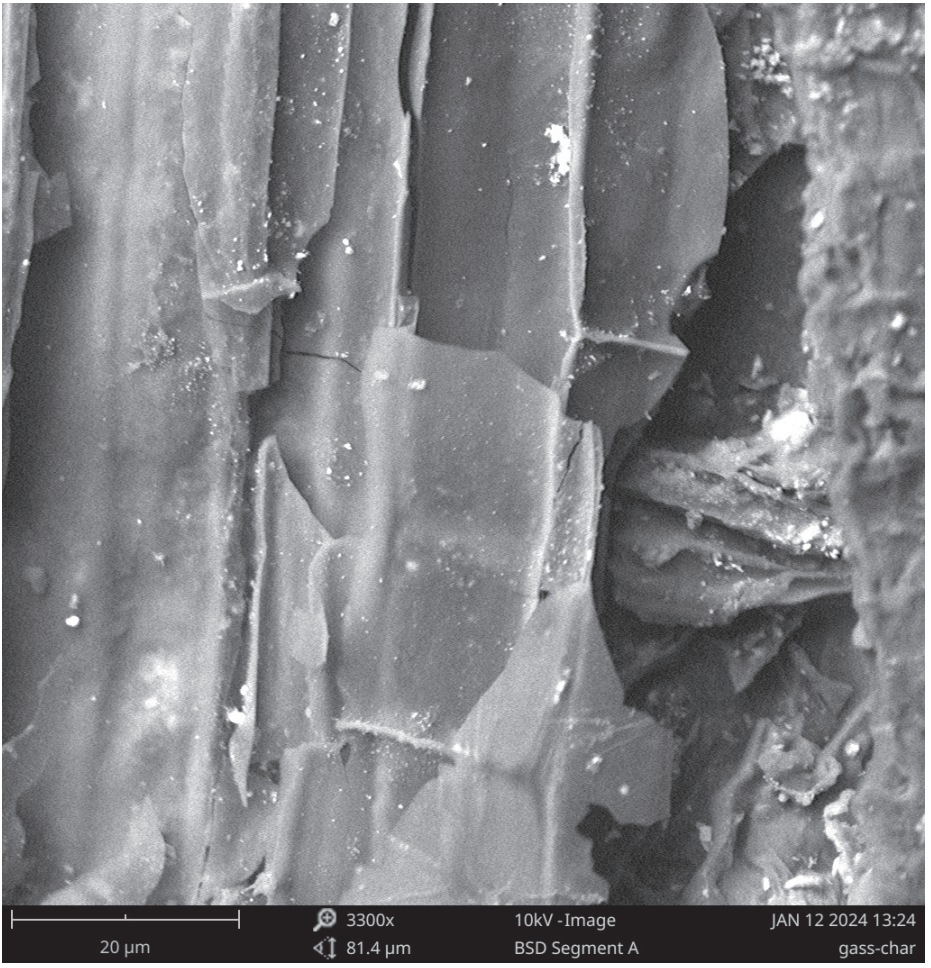

Abb. 1: SEM-Bild von Biokohle aus Gras aus dem Nationalpark Unteres Odertal (Foto: Gabriele J. Kowalski)

und Nachbehandlung liegen die Werte für die innere Oberfläche zwischen unter 10 m²/g und über 3.000 m²/g im Fall von Aktivkohle (Radloff 2016).

Pflanzenkohle eignet sich für die dauerhafte Entziehung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre und deren Verbringung im Boden oder auch zur Rückgewinnung von Nähstoffen aus Rest- und Abfallstoffen. Die Pflanzenkohle eingesetzt als Zuschlag ins Einstreu bindet Feuchtigkeit, aber auch organische und mineralische Stickstoffverbindungen in Ställen.

4. Verfahren zur Herstellung von Kohle

Für die Herstellung von Pflanzenkohle gibt es mehrere Verfahren und entsprechend unterschiedliche Anlagen. Im Rahmen von GO-GRASS wurden mehrere Verfahren und die dazugehörigen Anlagen untersucht und die Produkte dieser Verfahren verglichen. Es sollte ein geeignetes Verfahren zur Biokohleproduktion aus Gras identifiziert werden. Außerdem sollte die Qualität der hergestellten Pflanzenkohle den Anforderungen der vorgesehenen Nutzung entsprechen.

Pflanzenkohle wird über die folgenden Verfahren hergestellt:

- Pyrolyse unter Luftabschluss
- Pyrolyse bei kontrollierter geringer Luftzufuhr (Autotherme Pyrolyse) und
- Hydrothermale Karbonisierung (HTC) (Libra et al. 2011).

Die Pyrolyse nutzt trockenes Ausgangsmaterial bei Temperaturen von 500 bis 900°C bei Umgebungsdruck, was einen Kohlenstoffertrag von 30 bis 60 Prozent ermöglicht. Die hydrothermale Karbonisierung (HTC) verarbeitet feuchtes Ausgangsmaterial unter anaeroben Bedingungen bei 180 bis 250°C und einem temperaturabhängigen Druck von 40 – 70 bar, wobei der Kohlenstoffertrag über 90 Prozent liegt.

Um korrekt zu sein, sei angemerkt, dass in Fachkreisen immer nur dann von Pflanzenkohle gesprochen wird, wenn die Kohle durch Pyrolyse hergestellt wird. Mit dem HTC-Verfahren wird HTC-Kohle oder »hydro-char« hergestellt. Die genannten Verfahren wurden im Labor am ATB und bei Praxispartnern auf Betriebsebene untersucht (Tab. 1 & Abb. 2) (Heinrich et al. 2023).

Tab. 1: Übersicht der durchgeführten Versuche:

Ebene	*Reaktortyp*	*Konversionsprozess*	*Betriebsmodus*	*Eingesetztes Material [kg]*	*Pflanzenkohlen-Ausbeute [Masse-%]*	*Investition [€]*
Labor	18,4 Liter HTC-Reaktor (Parr USA)	HTC	Chargenweise	7,0	13 – 61	-
	TLUD (ATB)	Pyrolyse	Chargenweise	0,3	24 – 30	-
	Pyrolyse-Drehrohr (ATB)	Pyrolyse	Chargenweise	5,5	27 – 34	-

Ebene	Reaktortyp	Konversionsprozess	Betriebsmodus	Eingesetztes Material [kg]	Pflanzenkohlen-Ausbeute [Masse-%]	Investition [€]
Landwirtschaftsbetrieb	CarbonTwister©, Prodana	Pyrolyse	Chargenweise	165,0	13	200.000
	VarioL SPSC	Pyrolyse	Chargenweise	201,0	36	30.000
	C63-F Biomacon	Pyrolyse	kontinuierlich	2.705,0	21	120.000

Mit den vergleichenden Analysen sollten die optimalen Prozessparameter wie Temperatur, Prozessdauer und Luftzufuhr in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Materialeigenschaften der Biomasse ermittelt werden.

Abb. 2: Pyrolyse-Anlagen getestet auf der Ebene der Landwirtschaftsbetriebe, CarbonTwister, (o.), VarioL und C63-F des Herstellers BioMacon (u.).

Der CarbonTwister wurde mit losen Heuhalmen gefüllt. Zunächst erscheint die Nutzung von losen Halmen als Vorteil, weil energieintensives Pelletieren oder Brikettieren entfällt, aber das Material muss manuell eingebracht werden und die Materialdichte ist inhomogen, woraus eine ungleichmäßige Pyrolyse resultiert. Falls das Heu nicht ganz trocken ist, muss mit starker Rauchentwicklung gerechnet werden. Der CarbonTwister verfügt über keinen Wärmetauscher, so dass die während des Prozesses erzeugte Wärme ungenutzt in die Atmosphäre entweicht. Beim getesteten CarbonTwister handelte es sich um einen Prototypen. Spätere Anlagen können sicherlich optional einen Wärmetauscher erhalten.

Der Pyrolyseanlage VarioL SPSC muss das trockene Gras in Form von Briketts zugeführt werden. Der Konversionprozess verlief zwar störungsfrei, aber mit relativ geringer Prozesstemperatur. Ein Teil der Graspellets war nicht vollständig umgesetzt. Der getestete VarioL hatte keinen Wärmetauscher. Das Experiment mit dem C63-F, bei dem Gras-Pellets verwendet wurden, verlief ohne Komplikationen. Im Gegensatz zum CarbonTwister und zu VarioL arbeitet die C63-F-Anlage in einem kontinuierlichen Modus und hat einen Wärmetauscher.

Mit allen Anlagen konnte eine zufriedenstellende Menge an Pflanzenkohle auf Basis von trockenem Gras hergestellt werden. Eine Kostenrechnung zeigt, dass für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Pyrolyseanlage die Abwärme genutzt werden muss. Auch wenn davon

auszugehen ist, dass in naher Zukunft jede der getesteten Anlagen mit einem Wärmetauscher ausgestattet werden kann, so ist dennoch die Anlage C63-F vorzuziehen, weil sie durch den kontinuierlichen Betrieb auch kontinuierlich Wärme bereitstellen kann. Nach der Herstellung der Pflanzenkohle steht die chemische Analytik der Produkte der Karbonisierungsverfahren an.

Von besonderem Interesse sind: Zusammensetzung der Elemente (C, H, N, S), elektrische Leitfähigkeit, spezifische Oberfläche, pH-Wert und Heizwert sowie die Gehalte an Trockensubstanz, Asche, organischem Kohlenstoff, phenolischen Verbindungen, Metalle, Nährstoffen und flüchtigen Substanzen.

Die Ergebnisse werden gemäß dem Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikat (European Biochar Certificate = EBC) (Schmidt et al. 2019) bewertet, das auf europäischer Ebene als Standard für die Zulassung von Pflanzenkohle als landwirtschaftlichen Bodenverbesserer anerkannt ist.

Beim HTC-Verfahren wird der Rohstoff zusammen mit Wasser in einen Druckbehälter gefüllt. Nach dem Schließen des Behälters wird der Inhalt auf 220 – 260 °C hochgeheizt. Ab Temperaturen über 100°C baut sich im Behälter ein Druck auf. Die Wärmeenergie kommt von Heizwendeln, die sich außen am Behältermantel befinden. Das Wasser dient als Reaktionsmittel und als Wärmeübertragungsmedium. Das Endprodukt ist eine Art Schlamm, dessen Feststoffanteil neben den Elementen Stickstoff, Schwefel und Phospor auch die sogenannte HTC-Kohle enthält. Für einen Einsatz in der Landwirtschaft müsste das Konversionsprodukt getrocknet werden. Weil das HTC-Verfahren mit einem für die Landwirtschaft zu hohem technischen Aufwand verbunden ist und das Konversionspodukt getrocknet werden müsste, wurde das HTC-Verfahren von den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

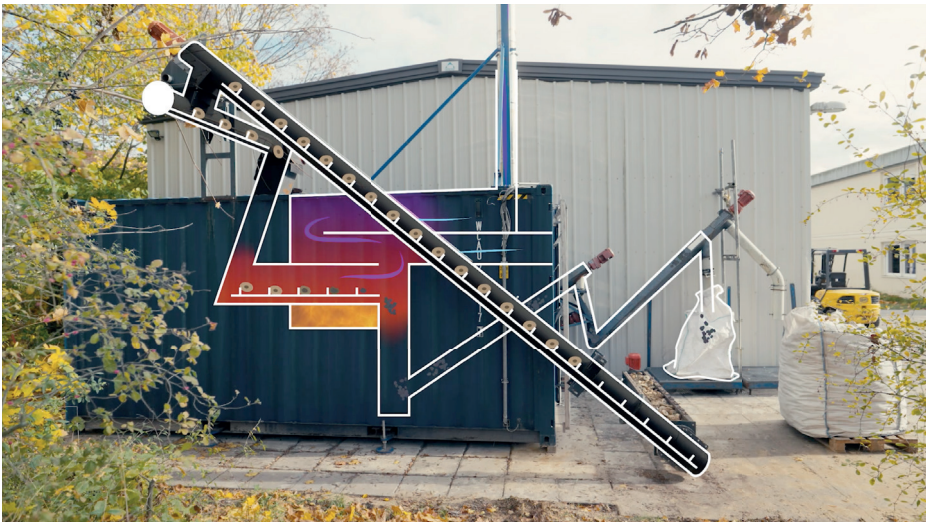

Abb. 3: Biomacon Anlage mit grafischer Darstellung ihrer Funktionsweise.

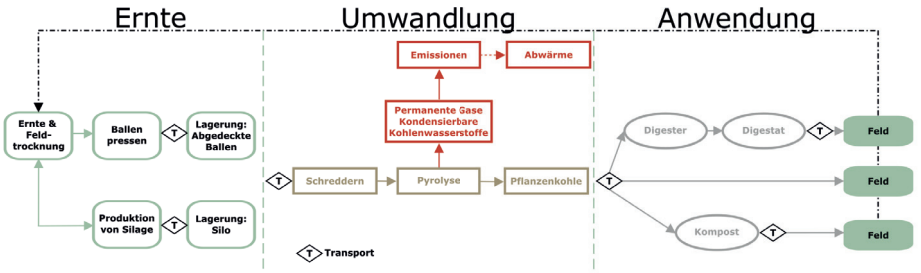

Abb. 4: Prozess-Flow für die vollständige Abfolge von Schritten für die Herstellung von Pflanzenkohle aus Gras.

Für die Pyrolyse hingegen gibt es bereits verschiedene Prozessdesigns auf dem Markt. Die technische Umsetzung des Pyrolyse-Verfahrens gestaltet sich insgesamt einfacher und schneller, wobei gleichzeitig die Einhaltung der EBC-Grenzwerte gewährleistet ist. Die im CarbonTwister produzierte Pflanzenkohle wies erhöhte Konzentrationen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) auf, lag jedoch noch innerhalb der Grenzwerte. Die Pflanzenkohle aus dem VarioL überschritt die EBC-Grenzwerte für PAK-Konzentrationen (Heinrich et al. 2023).

Als geeignete Anlage für Pflanzenkohleherstellung wurde die C63-F Biomacon identifiziert (Abb. 3). Die Anlage der Firma Biomacon ist eine kontinuierlich arbeitende Anlage: Sie benötigt lediglich einmalig Energie für den Start der exothermen Reaktion und ermöglicht dadurch stabile Prozessbedingungen sowie ein Endprodukt von gleichbleibend hoher Qualität. Somit wäre es auch möglich, die entstehende Abwärme fortlaufend in einem benachbarten Betrieb einzusetzen.

5. Verwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft

Zum besseren Verständnis der Wirkungsmöglichkeit von Pflanzenkohle aus Gras als Bodenverbesserer wurden Topfversuche mit dem Institut für agrar- und stadtökologische Projekte (IASP) an der Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät in Berge unternommen, und zusätzlich wurden am ATB Versuche zum Wasserhaltevermögen durchgeführt. Die Versuche werden ausführlich im Jahresbericht von 2021 beschrieben, daher gehen wir hier nur in Kürze auf die Ergebnisse ein. Für beide Untersuchungen wurden Töpfe mit verschiedener Erd-Kohlen-Zusammensetzungen aus Pyrolyse-Kohle und HTC-Kohle getestet: Die Pellets der beiden Kohlesorten wurden zusammen mit einer nährstoffarmen Versuchserde in Aufwandmengen von 0, 2, 4, 6 und 8 Masseprozent als Schicht in der Mitte des Topfes eingebracht. Jede dieser Zusammensetzungen wurde viermal wiederholt.

Bei den Pflanzversuchen ergab sich, dass Gras aus HTC-Pellets besser wächst: Es erzielt nicht nur einen signifikant höheren Ertrag als auf Pyrolyse-Pellets, sondern wirkt auch optisch kräftiger, dichter und dunkelgrün. Im Vergleich dazu wächst das Gras auf Pyrolyse-Pellets eher lang, dünn und hellgrün. Die Versuche zum Wasserhaltevermögen (nach DIN

13041) lassen den Schluss zu, dass selbst eine Einmischung von zwei Masseprozent Kohle ausreichend ist, um das Wasserhaltevermögen des Bodens deutlich zu verbessern.

Angaben zu Aufwandmengen von Pflanzenkohle schwanken zwischen 1 t/ha und über 80 t/ha (Jeffery et al. 2011, Dicke et al. 2015, Ding et al. 2016). Die in Versuchen eingesetzten Mengen werden dabei auf die gesamte Ackerfläche hochgerechnet. In der Landwirtschaft ist auf Grund der Praktikabilität von Aufwandmengen unter 15 t/ha auszugehen. Selbst das ist kaum umsetzbar: Für die Ausbringung von 15 t/ha Pflanzenkohle müssten je Hektar 92,3 Quaderballen mit je 650 kg pyrolysiert werden (Eingesetzte Ballen waren 650 kg schwer. Der Landwirt pflegt ca. 250 ha und erntet dort 5–8 tFM/ha. Bei der Konversion des Grases zu Kohle kann mit einem Erhalt von ca. 25 Prozent Pflanzenkohle, hier 162,5 kg/Ballen gerechnet werden.). Wegen des hohen Aufwandes sollte Pflanzenkohle vorrangig auf stark sandigen Teilflächen (niedrige Bodenwertzahl) oder auf sogenannten »Sandlinsen« ausgebracht werden, um mit vertretbaren Aufwandmengen den Boden signifikant aufzuwerten.

6. Vom Grashalm zur Pflanzenkohle, Heizung und CO_2-Senke

Zum Projektabschluss wurde eine vollständige Verarbeitungslinie (Abb. 4) installiert, beginnend mit der Vorbehandlung von Grasballen bis zur Produktion von Pflanzenkohle.

Nach der Mahd muss das frisch geschnittene Gras eine Zeit lang trocknen und später in Rund- oder Quaderballen gepresst werden. Anschließend erfolgt die Lagerung der Ballen, entweder von einer Plane abgedeckt oder überdacht. Als nächstes kann theoretisch jederzeit ein Ballen nach dem anderen zunächst in Briketts oder Pellets (Abb. 5) gepresst werden, um im nächsten Schritt pyrolysiert zu werden.

Je nach Anlage werden Pellets oder Briketts benötigt. Die im Projekt installierte Anlage C63-F Biomacon arbeitet mit Pellets. Vor dem Pelletieren oder Brikettieren müssen die Halme aus den Ballen herausgelöst und zerkleinert werden. Anschließend sind die Halm-

Abb. 5: Gepresste Brikettes links mit 80 mm Durchmesser, re. Tomahawk T505XL, Teagle UK.

partikel zu Pellets oder Briketts zu verdichten. Im Projekt wurden die Quader- und Rundballen mit einem Ballenauflöser (Abb. 5: Tomahawk T505XL, Teagle UK) aufgelöst. In der Regel sind die Ballen dem Ballenauflöser einzeln zuzuführen, was mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden ist.

Zum Pelletieren kam eine Ringmatrizen-Pelletpresse der Firma Nestro® mit 2 x 22 kW Antriebsleistung zum Einsatz. Für das Pressen von Brikettes hat sich die Anlage Biomasser® Duo briquetting machine der Firma ASKET (Polen) als geeignet bewährt. Bei der Herstellung von Pflanzenkohle auf dem eigenen Betrieb würde es sich als sinnvoll erweisen, die Herstellung von Briketts oder Pellets als Serviceauftrag auszulagern.

Für eine nachhaltige und wirtschaftliche Produktion von Pflanzenkohle muss, wie schon erwähnt, die produzierte Abwärme berücksichtigt werden. Die Menge der benötigten Wärme wird damit zu einem entscheidenden Faktor, ob ein landwirtschaftlicher Betrieb solch eine Pyrolyse-Anlage anschaffen sollte. Denkbar wäre es, dass der Wärmeversorger einer Gemeinde die Verkohlung im Rahmen der Wärmeproduktion betreibt. Ansonsten könnte die Menge der benötigten Wärme darüber entscheiden, wie viel Pflanzenkohle hergestellt wird. Das Experiment mit der C63-F-Anlage von Biomacon zeigt, dass pro Kilogramm Gras-Pellets eine nutzbare Wärme von etwa 1,7 kWh erzielt werden kann. Zusätzlich entstehen jedoch 1,8 kWh »Wärme«, die teilweise im Umwandlungsprozess »verbraucht«, als latente Wärme in der erzeugten Pflanzenkohle gespeichert oder größtenteils an die Atmosphäre abgegeben wird. Bei einer Weiterentwicklung der Anlage könnte die Wärme in einem zusätzlichen Schritt in Strom umgewandelt werden.

Zuletzt muss erwähnt werden, dass Pflanzenkohle als CO_2-Senke betrachtet werden sollte. Pflanzenkohle bindet Kohlenstoff auf sehr stabile und langlebige Weise und trägt damit zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei. Diese Eigenschaft sollte bei der Diskussion von CO_2-Zertifikanten berücksichtigt werden und könnte die Akzeptanz dieser neuen Technik in der breiten Bevölkerung erhöhen.

7. Die Hürden von Pflanzenkohle in Deutschland

Im Laufe von GO-GRASS gab es viele Bemühungen, Bekanntheit und Wertschätzung von Pflanzenkohle aus Gras in Deutschland und in der EU zu verbessern und dessen Potential den entscheidenden Verantwortlichen zu verdeutlichen. Obwohl die EU einen Einsatz von Pflanzenkohle aus Gras ermöglicht, ist deren Anwendung nach der deutschen Düngemittel-verordnung weiterhin nicht möglich, da dort nur Kohle aus unbehandeltem Holz aufgeführt wird. Somit bleibt der Zertifizierungsprozess für das Produkt weiterhin kompliziert und kostspielig.

Angenommen, in der Landwirtschaft zugelassene Pflanzenkohle soll ausgebracht werden, so sollte diese vor der Ausbringung mit Nähstoffen aufgeladen werden. Anderenfalls binden die Kohlepartikel im Boden vorhandene Nähstoffe und entziehen sie somit den Pflanzen. Zum Aufladen empfiehlt es sich, die Kohlepartikel mit Kompost, Stalldung (Einstreu) oder Gärrest der Biogasproduktion zu vermengen. Die Kohlepartikel werden dann zusammen mit den Stoffen als Mischung ausgebracht.

Spezifisch für das Gras aus dem Überflutungsgrünland des unteren Odertals musste festgestellt werden, dass sich Schwermetalle und Salze in der Kohle wiederfinden. Diese kommen durch die winterlichen Überflutungen mit dem Oderwasser auf die Flächen. Die Mengen lagen in unseren Versuchen unterhalb der Grenzwerte. Es ist zu empfehlen, den Gehalt an Schwermetallen und Salzen regelmäßig zu überprüfen.

8. Danksagung

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Forschungs- und Innovationsprogramms »Horizont 2020« der Europäischen Union im Rahmen der Finanzhilfevereinbarung Nr. 862674 gefördert.

9. Literatur

Dang, H., G. Farru, C. Glaser, M. Fischer & J. Libra (2023): *Enhancing the fuel properties of spent coffee grounds through hydrothermal carbonization: Output prediction and post-treatment approaches.* Sustainability, 16(1), 338. https://doi.org/10.3390/su16010338

Dicke, C., J. Andert, C. Ammon, J. Kern, A. Meyer-Aurich & M. Kaupenjohann (2015): *Effects of different biochars and digestate on N2O fluxes under field conditions.* Science of the Total Environment, 524–525, 310–318. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.005

Ding, Y., Y. Liu, S. Liu, Z. Li, X. Tan, X. Huang, G. Zeng, L. Zhou & B. Zheng (2016): *Biochar to improve soil fertility: A review.* Agronomy for Sustainable Development, 36, 36. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z

Heinrich, T., K. Kaetzl, J.A. Libra & T. Hoffmann (2023): *Influence of thermochemical conversion technologies on biochar characteristics from extensive grassland for safe soil application*. Energies, 16(4), 1896.

Jeffery, S., F.G.A. Verheijen, M. van der Velde & A.C. Bastos (2011): *A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis.* Agriculture, Ecosystems & Environment, 144(1), 175–187. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015

Libra, J., K.S. Ro, C. Kammann, A. Funke, N.D. Berge, Y. Neubauer, M.-M. Titrici, C. Fühner, O. Bens, J. Kern & K.-H. Emmerich (2011): *Hydrothermal carbonization of biomass residuals: A comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis.* Biofuels, 2(1), 89–124. https://doi.org/10.4155/bfs.10.81

Radloff, S. (2016): *Modellgestützte Bewertung der Nutzung von Biokohle als Bodenzusatz in der Landwirtschaft.* Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). 322 S.

Schmidt, H. P., T. Bucheli, C. Kammann, B. Glaser, S. Abiven & J. Leifeld (2019): *European Biochar Certificate – Guidelines for a sustainable production of biochar.* European Biochar Foundation. https://www.european-biochar.org/en

Gabriele Joanna Kowalski, Thomas Hoffmann, Thomas Heinrich & Benjamin Selge
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Abteilung Systemverfahrenstechnik