

Pflanzkohle

Autorinnen und Autoren: Daniel Bretscher, Nikolas Hagemann, Sonja Keel, Jens Leifeld
Version: 1 / November 2023

Pflanzkohle ist das Produkt der thermischen Behandlung von Biomasse unter Sauerstoff-limitierten Bedingungen (Pyrolyse, mindestens 450 °C) und wird in der Landwirtschaft als Viehfutterzusatz, Kompostzusatz und Bodenverbesserungsmittel sowie zur Hofdüngerbehandlung in Stall und Lager verwendet.

Tabelle 1: Eckdaten der Massnahme

Anwendungsgebiet	Ackerbau, Gemüsebau, (Grasland, Milchvieh) Landwirtschaft allgemein
Umsetzungsebene	Landwirte/-innen (Einsatz von Pflanzkohle), öffentliche Behörden (Regulierung)
Wirkungsebene	Feld, Stall, Hofdüngerlager, Tier
Wirtschaftlichkeit	Ungewiss/variabel, keine allgemeingültige Aussage möglich
Wirkungsziel	Kohlenstoff (C), Stickstoff (N)
Unterkategorie Wirkungsziel	Nitrat (NO ₃ ⁻), Lachgas (N ₂ O), Ammoniak (NH ₃), Kohlendioxid (CO ₂), evtl. Methan (CH ₄)
Wirkungszeitraum	Langfristig, da Forschungsbedarf besteht. Bei wirkungsvoller Umsetzung sollte der Effekt kurz- bis mittelfristig einsetzen.
Wirkung/Reduktionspotential	Ungewiss/variabel

Wirkungsprinzip

In diesem Merkblatt wird skizziert, wie unterschiedliche Anwendungen von Pflanzkohle zur Reduktion von Nährstoffverlusten beitragen. Das Verständnis der tatsächlichen biochemischen Prozesse ist aber noch begrenzt. In der Wissenschaft besteht derzeit noch relativ wenig Konsens hinsichtlich einer effektiven Reduktionswirkung auf die Gesamtnährstoffflüsse.

Durch die sehr grosse Oberfläche von Pflanzkohle können insbesondere mobile, stickstoffhaltige Nährstoffe gebunden werden. Im Idealfall würden die Nährstoffe den Kulturpflanzen in grösseren Mengen und über einen längerem Zeitraum bedarfsgerecht zur Verfügung stehen. Dadurch können unter Umständen Nährstoffverluste entlang der gesamte Hofdüngerkaskade reduziert werden und die Düngeneffizienz kann erhöht werden.

Grundsätzlich kann zwischen der Anwendung als (i) Futtermittelzusatz, als (ii) Einstreu im Stall, als (iii) Zusatz zur Gülle, Mist und Kompost sowie (iv) der direkten und indirekten (z. B. über Kultursubstrate) bodenbezogenen Anwendung unterschieden werden.

Neben der direkten Wirkung auf die Nährstoffverluste können sich allenfalls indirekte Effekte über eine verbesserte Tiergesundheit sowie über eine Steigerung der Ertragssicherheit und der Erträge ergeben.

Der Einsatz von Pflanzkohle kann mit positiven aber auch mit negativen Nebenwirkungen verbunden sein, welche bei einer eventuellen Anwendung beachtet werden müssen.



Pflanzkohle kann dank ihrer grossen Oberfläche Nährstoffe binden (Foto: Agroscope).



Vorteile/Synergien

- Ertragssteigernde Wirkungen sind vor allem aus tropischen Anbaugebieten bekannt und treten in den gemässigten Klimazonen mit jungen Böden weniger deutlich auf (Jeffery et al., 2017).
- Durch Einsatz von Pflanzenkohle kann der pH-Wert im Boden erhöht werden, was unter Umständen die Düngeneffizienz und die Erträge positiv beeinflusst.
- Durch die hohe Stabilität von Kohlenstoff in Pflanzenkohle wird Kohlenstoff langfristig im Boden gespeichert. Dadurch wird CO₂ langfristig der Atmosphäre entzogen und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet (Schmidt et al., 2019; Rodrigues et al., 2023).
- Die Verfütterung von Pflanzenkohle an Wiederkäuer reduziert möglicherweise Methanemissionen aus dem Verdauungsprozess im Tier und aus der Hofdüngerlagerung. Die wissenschaftliche Datengrundlage ist jedoch limitiert und lässt keine eindeutigen Schlüsse zu.
- Die Reduktion von Lachgasemissionen im Stall, bei der Hofdüngerlagerung und aus Böden kann einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die Langfristigkeit dieser Wirkung ist allerdings bisher unklar (Borchard et al., 2019)
- Durch die grosse Oberfläche sowie die Förderung der Aggregatbildung kann Wasser über längere Zeit gespeichert werden, was zu einem bessern Wasserhaushalt von Böden beitragen kann und somit die Klimaresilienz erhöht (Gao et al., 2020; Oduor Omondi et al., 2016).
- Die Pyrolyse ist ein Prozess, bei dem Energie freigesetzt wird, die in der Regel als Prozesswärme (z. B. zur Heizung oder Holzschnitzeltrocknung) und/oder zur Stromerzeugung genutzt werden kann.
- Geruchsemissionen aus Ställen sowie bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdüngern können reduziert werden.

Nachteile/Limitierungen/Zielkonflikte

- Nach wie vor bestehen grosse Unsicherheiten bezüglich der Wirkungsweise von Pflanzenkohle auf verschiedene Prozesse. Insbesondere langfristige Auswirkungen auf (Mikro-)Organismen im tierischen Verdauungstrakt, in den Hofdüngern und in Böden sind noch kaum untersucht.
- Bei hohen Konzentrationen von Schadstoffen (insbesondere polyaromatischen Kohlenwasserstoffen) darf Pflanzenkohle nicht eingesetzt werden. Schadstoffkonzentrationen sind abhängig von Prozessführung und Ausgangssubstrat. Es darf daher nur [European Biochar Certificate](#)-zertifizierte Pflanzenkohle ausgebracht werden (Stand: August 2023).
- Die Umwandlung zu Pflanzenkohle steht in Konkurrenz zu alternativen Nutzungsformen von Biomasse, z. B. als Energieträger in der direkten (z. B. Holzschnitzel) oder indirekten (Biogasproduktion) Nutzung.

Interaktionen

Düngeplanung: Interaktionen ergeben sich insbesondere in Zusammenhang mit allen Massnahmen der Düngeplanung, da die Verfügbarkeit von Nährstoffen massgeblich beeinflusst werden kann.

Verfügbarkeit von Biomasse: Biomasse ist generell limitiert und kann für sehr unterschiedliche Zwecke verwendet werden (Lebensmittel, Futtermittel, Energieträger, Baustoff, C-Sequestrierung). Das [European Biochar Certificate](#) schliesst Biomasse, welche in Konkurrenz zu Lebens- und Futtermitteln steht, als Ausgangssubstrat aus. Dennoch ist die Verwendung von Pflanzenkohle nicht in jedem Fall die beste Option und sollte daher immer kritisch mit alternativen Nutzungen verglichen werden.

Umsetzung: Aufwand/Ablauf/Anwendung/Durchführbarkeit

Aufgrund der teilweise bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten kann der Einsatz von Pflanzenkohle zur Reduktion von Nährstoffverlusten nur bedingt empfohlen werden. Eine Anwendung macht vor allem bei allgemein günstigen Voraussetzungen Sinn (Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse, grosses theoretisches Einsparpotential).

Grundsätzlich kann zwischen folgenden Anwendungen von Pflanzenkohle unterschieden werden:

- Verfütterung an Tiere mit dem Ziel, die Tiergesundheit und damit die Fütterungseffizienz zu erhöhen und gegebenenfalls «überschüssige» Nährstoffe bereits während der Verdauung zu binden
- Verfütterung an Wiederkäuer, um Methanemissionen aus der Verdauung zu senken
- Einstreu in Ställen, um Nährstoffe zu binden und insbesondere Ammoniak-Emissionen zu reduzieren
- Zusatz für Gülle, Mist und Kompost mit dem Ziel, Nährstoffe zu binden und insbesondere Verluste von Ammoniak und Nitrat zu reduzieren sowie Nährstoffe über längere Zeit den Pflanzen zur Verfügung zu stellen
- Eintrag in Böden, um Nährstoffe zu binden und Verluste von Nitrat und Lachgas zu reduzieren

Bei der Planung und dem Betrieb einer Pyrolyseanlage sollte auf eine möglichst effiziente Nutzung der Prozesswärme geachtet werden.

Generell sollte bei der Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft eine Kaskadennutzung verfolgt werden. Die Kaskade verläuft über die energetische Nutzung während des Pyrolyseprozesses und nachfolgender Nutzung über die Verfütterung an Tiere oder die Nutzung als Einstreu im Stall oder die Verwendung als Zusatz bei der Hofdüngerlagerung bis hin zur

Ausbringung auf dem Feld. Je früher man die Pflanzenkohle in die Kaskade einbringt und je mehr Prozesse man somit abdeckt, desto grösser ist die Gesamtwirkung. Bei einer Anwendung als Futtermittelzusatz sollten die Dosierungsempfehlungen eingehalten werden, und Auswirkungen auf die Leistung und Gesundheit der Tiere müssen genau beobachtet werden. Pflanzenkohle sollte vor dem Ausbringen immer mit Nährstoffen «aufgeladen» werden, da ansonsten freie Nährstoffe im Boden immobilisiert werden können.

Voraussetzungen/Bedingungen

- Genügend verfügbares Ausgangsmaterial (mögliche alternative Nutzungen von Biomasse beachten)
- Geringe Schadstoffbelastung (Zertifikat, Düngeverordnung)
- Möglichkeit zur Nutzung der Prozesswärme während der Pyrolyse

Bewertungen

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit wird im Folgenden qualitativ bewertet, weil die Datenlage zurzeit noch sehr schwach ist und die Erträge und Kosten (Vorleistungen, Arbeitskosten, Kapitalkosten) je nach Anwendungs- und Umsetzungsform und je nach Kontext sehr variabel sind.

- **Vorleistungen:** Der Zukauf von Pflanzenkohle ist derzeit noch sehr kostenintensiv (ca. CHF 1000.– pro Tonne).
- **Kapitalkosten:** Die Planung und Installation einer eigenen Pyrolyseanlage ist mit hohen Investitionen verbunden.
- **Arbeitskosten:** sehr variabel je nach Art der Anwendung und Umsetzung.
- **Erträge:** sehr variabel je nach Art der Anwendung und Umsetzung und je nach Wirkung im spezifischen Kontext. Zu beachten sind allfällige Mehreinnahmen durch Zusatznutzen (z. B. stabilere und gegebenenfalls höhere Erträge oder verbesserte Tiergesundheit). Beim Betrieb einer eigenen Pyrolyseanlage ist die Inwertsetzung der Energie ein wichtiger Faktor. Eventuell können Zusatzeinnahmen über Klimazertifikate generiert werden.

Rund um die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle gibt es derzeit zahlreiche Entwicklungen, welche die Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse sollte daher jeweils zum gegebenen Zeitpunkt und unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen erfolgen.

Reduktionspotential

Generell ist derzeit die wissenschaftliche Datengrundlage zu gering, um gesicherte Aussagen bezüglich des Reduktionspotentials von Nährstoffverlusten treffen zu können. Bei einer Mehrfachnutzung (Pyrolyse – Verfütterung an Tiere – Einstreu in Stall – Zusatz bei der Hofdüngerlagerung – Ausbringung auf dem Feld) können Nährstoffverluste unter Umständen deutlich reduziert werden. Das Potential ist jedoch stark von den spezifischen Rahmenbedingungen und der spezifischen Bewirtschaftung auf dem Einzelbetrieb abhängig. Aufgrund der limitierten Verfügbarkeit von Pflanzenkohle ist der Einsatz primär auf Betrieben mit grossen Reduktionspotentialen sinnvoll.

Die gesamte verfügbare Menge an Pflanzenkohle hängt sehr stark von der Verfügbarkeit von Biomasse ab, welche auf jeden Fall berücksichtigt werden muss. Die jüngste Studie geht für die Schweiz von 0.04 Mt Biomasse-Kohlenstoff pro Jahr aus Landschaftspflegeholz aus (Keel et al., 2023).

Erfolgs-/Qualitätskriterien

Die direkte Wirkung von Pflanzenkohle auf die einzelnen Stickstoffverlustpfade ist auf dem einzelnen Betrieb kaum messbar. Gegebenenfalls kann zukünftig mit Modellen eine Wirkungsabschätzung vorgenommen werden. Aufgrund der grossen Unsicherheiten und des noch grösstenteils mangelnden Prozessverständnisses können aber in der Regel nur sehr allgemeine und grobe Aussagen getroffen werden.

Eine Erhöhung der Produktionseffizienz (Leistung der Tiere, Felderträge, Düngeneffizienz) kann allenfalls abgeschätzt werden. Aufgrund von starken witterungsbedingten Ertragsschwankungen beim Pflanzenbau muss ein Wirkungsmonitoring über mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte erfolgen.

Eine Wirkung auf die OSPAR-Bilanz (OSPAR: Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks) kann einerseits durch Ertragssteigerungen erfolgen (vermutlich vernachlässigbar) oder durch eine Reduktion des Mineraldüngereinsatzes. Letztere wird durch die effizientere Nutzung der Hofdünger oder geringere Verluste aus dem Boden ermöglicht, müsste aber durch zusätzliche agrarpolitische Rahmenbedingungen sichergestellt werden, da nicht davon auszugehen ist, dass Landwirtinnen und Landwirte die Düngemengen immer automatisch reduzieren.

Stakeholder-Perspektiven

Derzeit deckt sich die Einschätzung vieler Akteure (landwirtschaftliche Praxis, Verbände, Unternehmen, Behörden) zur Wirksamkeit von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft bezüglich Nährstoffeffizienz nicht mit dem Grad des wissenschaftlichen Kenntnisstandes. Es muss davon ausgegangen werden, dass die teilweise optimistischen Erwartungen nicht erfüllt werden können.

Der Schweizer Fachverband für Pflanzenkohle [Charnet](#) vertritt eine wissenschaftsnahe und ausgewogene Gesamtsicht.

Fazit

Der Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft hat das Potential, Nährstoffüberschüsse auf verschiedene Weise zu reduzieren. Aus wissenschaftlicher Sicht besteht jedoch bei einigen Zielgrössen noch wenig Konsens über die Wirksamkeit und in vielerlei Hinsicht noch Forschungsbedarf. Allgemeine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Massnahme sind kaum möglich, da diese stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen abhängt. Der Einsatz von Pflanzenkohle kann vor allem unter günstigen Bedingungen in Form von Pilotprojekten empfohlen werden.

Weitere Informationen

Websites

[Agroscope - Pflanzenkohle](http://www.agroscope.ch) (www.agroscope.ch > Themen > Umwelt und Ressourcen > Klima und Luft > CO₂-Senken und -Quellen in landwirtschaftlichen Böden > Pflanzenkohle)

[FiBL - Kohle fürs Klima](http://www.fibl.org/de/infotek/meldung/kohle-fuers-klima) (www.fibl.org/de/infotek/meldung/kohle-fuers-klima)

[Ithaka-Institut for carbon strategies](http://www.ithaka-institut.org/de) (www.ithaka-institut.org/de)

[Charnet - Schweizer Fachverband für Pflanzenkohle](http://charnet.ch) (charnet.ch)

Literatur zu Pflanzenkohle allgemein

Beuttler C., Keel S. G., Leifeld J. et al. (2019). The Role of Atmospheric Carbon Dioxide Removal in Swiss Climate Policy: Fundamentals and Recommended Actions. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern; Stiftung Risiko-Dialog, Bern.

BAFU (2023). Pflanzenkohle in der Schweizer Landwirtschaft: Risiken und Chancen für Boden und Klima. Faktenblatt; Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung (AGIR) des Cercle Sol. Bern, Schweiz.

Jeffery S., Abalos D., Prodana M., Catarina Bastos A., van Groenigen J. W., Hungate B. A., Verheijen F. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. Environmental Research Letters 12, 053001.

Keel S. G., Bretscher D., Leifeld J., von Ow A., Wüst-Galley Ch. (2023). Soil carbon sequestration potential bounded by population growth, land availability, food production, and climate change. Soil Management, Band 14, Nr. 1.

Schmidt H.-P., Kammann C., Hagemann N. et al. (2021). Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. GCB Bioenergy 13 (11), 1708–1730.

Smith P. (2016). Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. Global Change Biology 22 (3), 1315–1324.

Literatur zur Verfütterung von Pflanzenkohle

Hegarty R. S., Passetti R. A. C., Dittmer K. M. et al. (2021). An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC), Global Research Alliance (GRA).

Schmidt H.-P., Hagemann N., Draper K., Kammann C. (2019). The use of biochar in animal feeding. PeerJ 7, e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>

Literatur zur Ausbringung von Pflanzenkohle auf Böden

Borchard N., Schirrmann M., Cayuela M. L., Kammann C., Wrage-Mönnig N., Estavillo J. M., Fuertes-Mendizábal T., Sigua G., Spokas K., Ippolito J. A., Novak J. (2019). Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. Science of The Total Environment 651, 2354–2364.

Camps Arbostain M., Saggat S., Leifeld J. (2014). Environmental benefits and risks of biochar application to soil. Agriculture, Ecosystems & Environment 191, 1–4.

Cayuela, M. L., van Zwieten, L., Singh, et al. 2014: Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 191, 5–16.

Gao Y., Shao G., Lu J., Zhang K., Wu S., Wang Z. (2020). Effects of biochar application on crop water use efficiency depend on experimental conditions: A meta-analysis. Field Crops Research 249, 107763.

Hagemann N., Joseph S., Schmidt H.-P. et al. (2017). Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. Nature Communications 8 (1), 1089.

Oduor Omondi M., Xia X., Nahayo A., Liu X., Khan Korai P., Pan G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. Geoderma 274, 28–34.

Rodrigues L., Budai A., Elsgaard L., Hardy B., Keel S. G., Mondini C., Plaza C., Leifeld J. (2023). The importance of biochar quality and pyrolysis yield for soil carbon sequestration in practice. European Journal of Soil Science 74, e13396.

Schmidt H.-P., Anca-Couce A., Hagemann N., Werner C., Gerten D., Lucht W., Kammann C. (2019). Pyrogenic carbon capture and storage. GCB Bioenergy 11, 573–591. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12553>

Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Series Editor	Frank Liebisch
Download	www.agroscope.ch/naehrstoffverluste
Copyright	© Agroscope 2023

Haftungsausschluss

Agroscope schliesst jede Haftung im Zusammenhang mit der Umsetzung der hier aufgeführten Informationen aus. Die aktuelle Schweizer Rechtsprechung ist anwendbar.