

Einsatz von Pflanzenkohle

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.

Pflanzenkohle wirkt als Kohlenstoffsenke, da die stabile Kohle nach der Pyrolyse über lange Zeiträume Kohlenstoff im Boden speichert und so der Atmosphäre CO₂ entzieht. Unter bestimmten Bedingungen kann zudem eine Reduktion der bodenbürtigen Lachgasemissionen (N₂O) auftreten, während andere postulierte Effekte auf Methan- oder Ammoniakemissionen bei Stall- oder Hofdüngerbewirtschaftung bisher nicht bestätigt sind.

Monitoring: Die Sequestrierungsleistung von Pflanzenkohle in Böden kann modellbasiert über die ausgebrachte Menge von Pflanzenkohle abgeschätzt werden, zum Beispiel nach Vorgaben der European Biochar Certification. Bezuglich der Methan- oder Lachgaswirkungen ist mit der derzeitigen Datenlage keine verlässliche Abschätzung möglich.

Empfehlungen: Die Herstellung und der Einsatz von Pflanzenkohle kann in Pilotprojekten unter günstigen Bedingungen sinnvoll sein, insbesondere bei verfügbarer Biomasse, Nutzung der Pyrolyseenergie, hohem Wertschöpfungspotential und wissenschaftlicher Begleitung. Eine generelle Förderung des Einsatzes von Pflanzenkohle wird derzeit nicht empfohlen. Im Hinblick auf eine mögliche Erweiterung des Klimaschutspotentials wird empfohlen die Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse und die Standorteignung von Pyrolyseanlagen weiter zu prüfen.

Vertrauen in die Wirksamkeit	Kohlenstoffsenke: Hohe Übereinstimmung & robuste Evidenz
Zeithorizont	Sofort wirksam
Technische Bereitschaft	Anwendungsbereit
Annahmen Skalierung Graubünden	1.) Sequestrierungsleistung von 2'000 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr basierend auf fünf bestehenden oder geplanten Pyrolyseanlagen im Kanton Graubünden 2.) Basierend auf Keel et al. (2023) jährliche Sequestrierungsraten von 0.1 bis 0.5 t C pro Hektar und Jahr auf den gesamten Acker- und Kunstmiesenflächen 3.) Kulturen mit hoher Wertschöpfung: Gemüse- und Weinbauflächen, pro Hektar und Jahr 1 Tonne Pflanzenkohle
Potenzial Graubünden	1.) 2.94 kt CO ₂ -Äq. pro Jahr 2.) 1.53 - 7.55 kt CO ₂ -Äq. pro Jahr 3.) 0.82 kt CO ₂ -Äq. pro Jahr



Inhalt

1	Emissions- und Sequestrierungsprozesse	1
2	Technisches Potenzial	1
2.1	Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme	1
2.2	Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme	5
2.3	Vertrauen in die Wirksamkeit	5
3	Systembetrachtung	6
3.1	Synergien	6
3.2	Limitierungen, Zielhierarchien	6
3.3	Kostenbetrachtungen	7
4	Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden	7
4.1	Erfahrungen aus den Pilotprojekten	9
5	Förderung und Überwachung	10
5.1	Monitoring, Reporting and Verification	10
5.2	Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente	10
6	Fazit und Empfehlung	10
7	Weitere Informationen / Literatur	12
7.1	Weitere Informationen	12
7.2	Literatur	12

Impressum

Copyright: Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Cazis 2025
Autor:innen: D. Bretscher, N. Hagemann und C. Zosso (Agroscope)
Fotos: Bilderarchiv Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden oder angegeben
Datum: November 2025

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope



In diesem Faktenblatt wird skizziert, wie unterschiedliche Anwendungen von Pflanzenkohle gegebenenfalls zur Reduktion von Treibhausgas (THG) - Emissionen und/oder zur langfristigen Speicherung von Kohlenstoff und somit zum Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre beitragen können. Grundsätzlich kann zwischen der Anwendung als (i) Futtermittelzusatz, als (ii) Einstreu im Stall, als (iii) Zusatz zu Gülle, Mist und Kompost sowie (iv) der direkten und indirekten (z. B. über Kultursubstrate) bodenbezogenen Anwendung unterschieden werden. Der Vollständigkeit halber werden auch Aspekte im Zusammenhang mit der Herstellung von Pflanzenkohle mitdiskutiert.

1 Emissions- und Sequestrierungsprozesse

Methanemissionen aus der Verdauung der Nutztiere (CH₄): Durch Verdauung und Fermentation von Futter entstehen insbesondere bei Wiederkäuern bedeutende Mengen von Methanemissionen. Diese Emissionen hängen direkt von der Zusammensetzung des Futters und vom Energiestoffwechsel der Tiere und den in ihnen lebenden Mikroorganismen ab. Letztere werden ebenfalls von der Futterqualität aber gegebenenfalls auch von spezifisch verabreichten Futtermittelzusätzen wie z.B. Pflanzenkohle beeinflusst.

Methan-, Lachgas, und Ammoniakemissionen von Hofdüngern (CH₄, N₂O, NH₃): Nutztiere scheiden nicht verdaute Substrate über Dung und Urin aus. Durch biochemische Umsetzungsprozesse können aus diesen Hofdüngern auf der Weide, im Stall, bei der Lagerung und bei der Ausbringung Methan-, Lachgas-, und Ammoniakemissionen entstehen. Relevant sind vor allem Methanemissionen bei der Güllelagerung, sowie Ammoniak- und Lachgasemissionen im Stall und bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdüngern. Neben der Menge und Verfügbarkeit an Ausgangssubstraten (Kohlenstoff und Stickstoff) sind speziell die Verfügbarkeit von Sauerstoff, die Temperatur und der pH wichtige Einflussgrößen, welche die Höhe der Emissionen beeinflussen.

Speicherung von Kohlenstoff und Entzug von atmosphärischem Kohlendioxid (CO₂): Kohlenstoff, der während der Photosynthese gebunden wurde, wird in der Regel in kurzer Zeit durch die Veratmung von Tieren und Mikroorganismen wieder als CO₂ freigesetzt. Er befindet sich in einem kurzfristigen Kreislauf und führt somit nicht zu einer Veränderung des THG-Effektes. Wird Kohlenstoff jedoch in eine besonders stabile Form umgewandelt (z.B. durch Umwandlung in Pflanzenkohle) kann es zu einer langfristigen Anreicherung zum Beispiel im Boden kommen. Auf diesem Wege kann CO₂ dauerhaft der Atmosphäre entzogen werden.

2 Technisches Potenzial

2.1 Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme

Tabelle 1 gibt einen Überblick über das Verständnis des Wirkungsmechanismus und über den Wirkungsnachweis der verschiedenen Anwendungen von Pflanzenkohle.

Pflanzenkohle ist das Produkt der thermischen Umwandlung von Biomasse unter Sauerstoff-limitierten Bedingungen. Durch die Pyrolyse (mindestens 500 °C für 10 Minuten (DüV, 2023)) wird ungefähr die Hälfte des Kohlenstoffs energetisch genutzt und verbrannt. Die andere Hälfte wird in die besonders stabile Form der Pflanzenkohle überführt. Neben der Stabilität ist die sehr grosse Oberfläche eine der herausragenden Eigenschaften von Pflanzenkohle. An dieser Oberfläche können unterschiedliche Verbindungen wie Nähr- und Schadstoffe, organische Moleküle sowie Wasser gebunden werden. Diverse Effekte hinsichtlich Emissionsminderung werden der Bindung von Stickstoffverbindungen (Ammonium, Nitrat, Harnstoff oder Harnsäure) an die grosse Oberfläche von Pflanzenkohle zugeschrieben oder der Förderung von mikrobiellen Prozessen, welche die Immobilisierung von Stickstoff erhöhen (Hagemann et al., 2017; Kupper et al., 2024). Auf diese Weise wird die Verfügbarkeit von Ausgangssubstraten für die verschiedenen Emissionsprozesse verringert. Die Stickstoffbindung bei Ammonium und Nitrat liegt jeweils in der Größenordnung



von 1 g Stickstoff je Kilogramm Pflanzenkohle (Grafmüller et al., 2025; Weldon et al., 2022). Dadurch sind die direkten Effekte im Stall oder im Hofdüngermanagement begrenzt. Im Boden sind diese gespeicherten Stickstoffverbindungen weiterhin pflanzenverfügbar. Weiterhin kann sich die Verwendung von Pflanzenkohle auf den pH in der Gülle oder im Boden auswirken, wodurch eine Beeinflussung der Emissionen denkbar wäre. Auf dieser Grundlage wird postuliert, dass Pflanzenkohle die verschiedenen biochemischen Prozesse, die zur Freisetzung von Treibhausgasen oder zur Sequestrierung von Kohlenstoff führen, beeinflussen kann.

i. Pflanzenkohle als Futtermittelzusatz für Kühe:

Futtermittelzusätze wie Öle und Fette, Tannine, ätherische Öle oder synthetische Verbindungen (z.B. 3-NOP) können unter Umständen die Aktivität und somit die Methanproduktion der Mikroorganismen im Pansen beeinflussen (siehe dazu Faktenblatt «Futtermittelzusätze und Futterzusatzstoffe»). Frühe Publikationen haben einen entsprechenden Effekt der Pflanzenkohle auf die Methanproduktion im Pansen vorgeschlagen. Allerdings konnte nie ein konkreter Wirkungsmechanismus identifiziert werden. Ebenso wenig wurde eine effektive Minderung der Methanemissionen experimentell nachgewiesen (Dittmann et al., 2024).

ii. Pflanzenkohle als Einstreu im Stall und/oder Laufhof:

Ziel ist es, flüchtige Nährstoffe möglichst rasch zu binden und somit gasförmige Emissionen und andere Verluste zu reduzieren. Zur Wirkung von Pflanzenkohle als Einstreu im Stall und/oder Laufhof gibt es bisher nur wenige Studien, insbesondere unter Praxisbedingungen. Derzeit gibt es weder für Methan noch für Ammoniak (Kupper et al., 2024) oder Lachgas einen allgemeinen experimentellen Nachweis einer emissionsmindernden Wirkung.

iii. Pflanzenkohle als Zusatz zu Gülle, Mist und Kompost:

Ebenso wie bei der Einstreu ist das Ziel der Massnahme, flüchtige Nährstoffe möglichst rasch zu binden und somit gasförmige Emissionen und andere Verluste zu reduzieren. Zudem schwimmt Pflanzenkohle nach dem Einbringen in die Gülle zumindest teilweise auf

der Oberfläche auf. Dies kann ähnlich wie eine Abdeckung wirken, bei welcher der Luftaustausch zwischen emittierender Oberfläche und Umgebung reduziert wird. Eine limitierte Anzahl von Studien bezüglich der entsprechenden Wirkung auf Ammoniak unter Laborbedingungen (Kupper et al., 2024) kommt jedoch zu keinen eindeutigen Resultaten. Falls sich durch Zugabe von Pflanzenkohle eine stabilere Schwimmschicht an der Gülleoberfläche ausbildet, wäre theoretisch auch eine methanoxidierende Wirkung denkbar. Die Umwandlung von Methan in CO₂ würde die Klimawirkung deutlich reduziert. Allerdings gibt es auch für diese Effekte keinen wissenschaftlichen Konsens bezüglich der Wirkung. Ebenso wie bei Gülle ist die Wirkung einer Zugabe von Pflanzenkohle zu Mist oder Kompost noch wenig untersucht. Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es somit weder für Methan noch für Ammoniak oder Lachgas einen allgemeingültigen experimentellen Nachweis einer emissionsmindernden Wirkung von Pflanzenkohle bei Zugabe zu Gülle, Mist oder Kompost.

iv. Direkte oder indirekte Ausbringung von Pflanzenkohle auf Böden:

Durch Bindung von Nährstoffen und durch Beeinflussung des Boden-pH kann die biochemische Umwandlung von Stickstoff beeinflusst werden. In den meisten Studien wird eine signifikante Reduktion der Lachgasemissionen aus Böden beobachtet (Cayuela et al., 2014, Schmidt et al., 2021b). Die Langfristigkeit dieser Wirkung ist allerdings bisher unklar (Borchard et al., 2019).

Durch die hohe Stabilität von Kohlenstoff in Pflanzenkohle wird Kohlenstoff langfristig im Boden gespeichert. Dadurch wird der Atmosphäre CO₂ entzogen und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet (Schmidt et al., 2019a; Keel et al., 2025; Rodrigues et al., 2023). Die Stabilität der Pflanzenkohle bleibt auch erhalten, wenn sie zuvor an Kühe verfüttert und dann ausgeschieden wurde (Walz et al., 2025).

Tabelle 1: Verständnis des Wirkungsmechanismus und experimenteller Wirkungsnachweis bei unterschiedlicher Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft.

	Prozess	Verständnis des Wirkungsmechanismus	Experimenteller Wirkungsnachweis „Labor“	Experimenteller Wirkungsnachweis „Praxis“
(i.a)	Methanhemmende Wirkung von Pflanzenkohle als Futtermittelzusatz	Kein Wirkungsmechanismus bekannt	Kein Nachweis (wenige Messungen, widersprüchliche Resultate)	Kein Nachweis (wenig Messungen, widersprüchliche Resultate)
(i.b)	Verbesserung der Tiergesundheit durch Verfütterung von Pflanzenkohle	Wirkungsmechanismus zumindest teilweise bekannt (Absorption von Toxinen, Wirkung auf Pathogene)		Mehrheitlich positive, wenn auch nicht statistisch signifikante Einflüsse auf die Tiergesundheit
(ii)	Pflanzenkohle als Einstreu im Stall und/oder Laufhof	Mögliche Wirkung über Bindung von Stickstoffverbindungen	Kein Nachweis (wenige Messungen, widersprüchliche Resultate)	Kein Nachweis (wenige Messungen, widersprüchliche Resultate)
(iii)	Pflanzenkohle als Zusatz zu Gülle, Mist und Kompost	Mögliche Wirkung über Bindung von Stickstoffverbindungen und/oder über Ausbildung einer „Schwimmschicht“	Kein Nachweis (wenige Messungen, widersprüchliche Resultate)	Kein Nachweis (wenige Messungen, widersprüchliche Resultate)
(iv.a)	Direkte oder indirekte Ausbringung von Pflanzenkohle auf Böden: Kohlenstoffsequestrierung	Kohlenstoff in Pflanzenkohle liegt in einer sehr stabilen Form vor	Robuster Nachweis von Kohlenstoffsequestrierung	Robuster Nachweis von Kohlenstoffsequestrierung, noch offene Fragen zur Dauerhaftigkeit der Senkenleistung
(iv.b)	Direkte oder indirekte Ausbringung von Pflanzenkohle auf Böden: Lachgasemissionen	Zumindest teilweises Prozessverständnis der reduzierenden Wirkung auf bodenbürtige Lachgasemissionen	Mittlerer Wirkungsnachweis	Mittlerer Wirkungsnachweis, noch offene Fragen zur Dauerhaftigkeit der Wirkung



Zusätzlich zur direkten Beeinflussung von Treibhausgasquellen und -Senken kann sich der Einsatz von Pflanzenkohle auf die Produktionseffizienz auswirken. Eine Übersichtsstudie fand Hinweise für mehrheitlich positive Effekte auf Tiergesundheit und -Leistung bei Verfütterung von Pflanzenkohle, wenn auch die Wirkungsnachweise meist nicht statistisch signifikant waren (Schmidt et al., 2019b). Weiterhin wird verschiedentlich angeführt, dass Ausbringung von Pflanzenkohle auf Böden zu höheren und stabileren Pflanzenerträgen führt. Mögliche Erklärungen dafür wären ein verbesserter Wasser- und Nährstoffhaushalt. Ertragssteigernde Wirkungen sind aber vor allem aus tropischen Anbaugebieten bekannt und treten in den gemäßigten Klimazonen mit jungen Böden weniger deutlich auf (Jeffery et al., 2017).

Bei sämtlichen postulierten Wirkungsmechanismen sind die Eigenschaften der spezifischen Pflanzenkohle von großer Bedeutung. Diese hängen in erster Linie von Ausgangsmaterial und von der Prozessführung während der Pyrolyse ab (Temperatur, Verweilzeit, Sauerstoffgehalt). Eine mögliche Wirkung ist daher von der spezifischen Anwendung einer spezifischen Pflanzenkohle abhängig und bedarf im Einzelfall noch weiterer Abklärungen.

2.2 Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme

Unter dem derzeitigen Stand der Wissenschaft lässt sich eine Klimaschutzwirkung von Pflanzenkohleanwendung nur durch C-Sequestrierung und durch eine Reduktion von N₂O-Emissionen bei der Ausbringung auf Böden belegen. Für alle übrigen Mechanismen gibt es bisher keine eindeutigen experimentellen Wirkungsnachweise. Eine Ökobilanzstudie von Roesch et al. (2025) zeigt jedoch, dass im gesamten Lebenszyklus der Pflanzenkohle (Produktion, Kaskadennutzung und Ausbringung) die C-Sequestrierung bei weitem den wichtigsten Klimaschutzfaktor darstellt. Der positive Effekt der C-Sequestrierung fällt in fast allen untersuchten Szenarien über 50-mal stärker ins Gewicht als die modellierten Änderungen der direkten Feld- und Tieremissionen im ersten Jahr nach der Anwendung.

Für die gesamte Schweiz fanden Keel et al. (2023) auf Basis von potentiell verfügbarer Biomasse eine mögliche Kohlenstoffsequestrierung durch Pflanzenkohle von 0.14 bis 0.77 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr, was ungefähr 2-13 Prozent der landwirtschaftlichen THG-Emissionen der Schweiz kompensieren würde. Roesch et al. (2025) berechneten auf Basis von Einsatzszenarien der Pflanzenkohle auf landwirtschaftlichen Betrieben ein maximales Treibhausgas-Einsparpotential in ähnlicher Höhe (0.41 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent). In einer optimistischeren Studie schätzen Schmidt et al. (2021a), dass jährlich bis zu 4 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent sequestriert werden könnten. Allerdings sind derart hohe Potentiale massgeblich von der Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse sowie von der maximal zulässigen landwirtschaftlichen Ausbringmenge beschränkt. So schätzen Schmidt et al. (2021a) das Potential unter Berücksichtigung der derzeit verfügbaren Biomassen wesentlich tiefer ein (1.5 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent). Schliesslich ist zu beachten, dass die Pyrolyse zu Pflanzenkohle und die Anwendung in der Landwirtschaft aus klimatischer Sicht nicht immer die wirkungsvollste Nutzung von Biomasse ist. Entsprechend ist das Potential für die Landwirtschaft zusätzlich durch alternative Nutzungsformen von Biomasse und Pflanzenkohle beschränkt.

In Bezug auf die Reduktion der bodenbürtigen Lachgasemissionen fand eine Übersichtsstudie bei Ausbringung von Pflanzenkohle eine Reduktion von bis zu 38%, wobei aber schon nach einem Jahr der Effekt vernachlässigbar war und nur wenige längerfristige Messungen vorliegen (Borchard et al., 2019). Selbst unter sehr optimistischen Annahmen ergäbe sich dadurch ein Gesamtpotential für die Schweiz von maximal 0.28 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent.

2.3 Vertrauen in die Wirksamkeit

Aus den Ausführungen zu Wirkungsmechanismen und dem technischen Potenzial ergeben sich folgende Einschätzungen bezüglich des Vertrauens in die Wirksamkeit (**Abbildung 1**).

In Bezug auf die langfristige Speicherung von Kohlenstoff kann das Verständnis des Wirkungsmechanismus als robust bezeichnet werden: **Hohe Übereinstimmung & Robuste Evidenz**.

Eine Reduktion der bodenbürtigen Lachgasemissionen konnte verschiedentlich nachgewiesen werden ist aber sehr variabel: **Mittlere Übereinstimmung & Mittlere Evidenz**.

Bei allen anderen Wirkungsmechanismen besteht noch kein allgemeiner experimenteller Wirkungsnachweis und wissenschaftlicher Konsens (**Geringe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz**), wobei zu mindest teilweise auch das Verständnis der möglichen biochemischen Wirkungsmechanismen noch begrenzt ist.

Vertrauen in die Wirksamkeit		
Bezüglich Übereinstimmung und Qualität der Evidenz in der akademischen Literatur		
5	4	3
Hohe Übereinstimmung & Robuste Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Robuste Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Robuste Evidenz
4	3	2
Hohe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz
3	2	1
Hohe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz

Abbildung 1: Einschätzung des Vertrauens in die Wirksamkeit für die C-Sequestrierung (rot), die Reduktion von N2O-Emissionen bei der Ausbringung auf Böden (orange) und alle weiteren vorgeschlagenen Anwendungen (gelb) nach Mastrandea et al. (2010).

3 Systembetrachtung

3.1 Synergien

Wie bereits erwähnt, kann der Einsatz von Pflanzenkohle möglicherweise produktionssteigernde Wirkungen haben (Tiergesundheit und -Leistung, Pflanzenreträte). Daneben gibt es weitere möglich Synergien:

- Die Pyrolyse ist ein Prozess, bei dem Energie freigesetzt wird, welche unter Umständen als Prozesswärme (z. B. zu Heizzwecken oder zur Holzschnitzeltrocknung) und/oder zur Stromerzeugung genutzt werden kann.

- In der Praxis werden teilweise deutlich tiefere Geruchsbelastungen im Stall sowie bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdüngern beobachtet.
- Durch Einsatz von Pflanzenkohle kann der pH-Wert im Boden erhöht werden, was unter Umständen die Düngeeffizienz positiv beeinflusst.
- Durch die grosse Oberfläche sowie die Förderung der Aggregatbildung kann Wasser über längere Zeit im Boden gespeichert werden, was zu einem besseren Wasserhaushalt beitragen kann und somit die Klimaresilienz erhöht (Gao et al., 2020; Oduor Omondi et al., 2016). Ob die potenziell verfügbare Menge an Pflanzenkohle für eine signifikante Wirkung ausreichend ist, ist jedoch nicht bekannt.

3.2 Limitierungen, Zielhierarchien

Neben den Synergien gilt es auch Limitierungen und Zielhierarchien zu betrachten:

- Nach wie vor bestehen grosse Unsicherheiten bezüglich der Wirkungsweise von Pflanzenkohle auf verschiedene Prozesse. Insbesondere langfristige, potenziell negative Auswirkungen auf (Mikro-) Organismen im tierischen Verdauungstrakt, in den Hofdüngern und in Böden sind noch kaum untersucht (siehe z.B. BAFU, 2023).
- Pflanzenkohle ist nur als CMC 14 (CMC – Component Material Category; durch Pyrolyse oder Vergasung gewonnene Materialien) für den Einsatz in der Landwirtschaft mit strengen Schadstoffgrenzwerten (insbesondere polycyclischen Kohlenwasserstoffen) zugelassen (DÜV, 2023, ChemRRV, 2025; siehe auch [Ithaka Journal 2025](#)). Schadstoffkonzentrationen sind primär abhängig von Prozessführung und Ausgangssubstrat.
- Die maximal zulässige Menge von Pflanzenkohle, die in der Landwirtschaft ausgebracht werden darf, ist auf eine Tonne pro Hektare und Jahr und 10 Tonnen pro Hektare über 20 Jahre beschränkt (ChemRRV, 2025).
- Es empfiehlt sich, Pflanzenkohle vor dem Ausbringen im Feld mit Nährstoffen «aufzuladen» (z.B. durch Ko-Kompostierung), um das Risiko zu vermeiden, dass freie Nährstoffe im Boden immobilisiert werden. Alternativ kann die Pflanzenkohle z.B. bei der Aussaat von Zwischen- oder Winterbegrünung eingesetzt werden.



- Die Umwandlung zu Pflanzenkohle steht in Konkurrenz zu alternativen Nutzungsformen von Biomasse (Lebensmittel, Futtermittel, Energieträger, Baustoff, C-Sequestrierung). Das European Biochar Certificate schliesst Biomasse, welche in Konkurrenz zu Lebens- und Futtermitteln steht, als Ausgangssubstrat generell aus. Auch aus Sicht des Klimaschutzes ist die Pyrolyse und Verwendung als Pflanzenkohle nicht in jedem Fall die beste Option.
- Bei der Herstellung mit einer offenen Retorte respektive mit dem Kon-Tiki Verfahren muss unter Umständen sichergestellt werden, dass gesetzliche Emissionsgrenzwerte eingehalten werden und die Pflanzenkohle den Schadstoffgrenzwerten entspricht. Zudem sollte für eine optimale Klimawirkung sichergestellt werden, dass die entstehende Prozessenergie optimal genutzt wird, was bei derartigen Anlagen nicht immer gegeben ist.

3.3 Kostenbetrachtungen

Derzeit sind keine allgemeingültigen Aussagen möglich. 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 teuer (ca. CHF 1000.– pro Tonne). Im Vergleich zu anderen Klimaschutzmassnahmen ist derzeit der Einsatz von Pflanzenkohle aus dieser Sicht in der Regel eine sehr teure und unrentable Klimaschutzmaßnahme.
- **Kapitalkosten:** Pflanzenkohle kann auch selbst hergestellt werden. Die Planung und Installation einer eigenen industriellen Pyrolyseanlage ist mit hohen Investitionen verbunden, da solche Anlagen mindestens 1000 t Biomasse pro Jahr verarbeiten. Demgegenüber sind Pyrolyseheizungen nur etwas teurer als eine herkömmliche Hackschnitzelheizung, haben aber einen höheren Brennstoffbedarf. Eigenherstellung von Pflanzenkohle im [Kon-Tiki-Verfahren](#) erfordert nur sehr geringe Kapitalkosten.
- **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 sind die Inwertsetzung der Energie sowie der Verkaufspreis der Pflanzenkohle wichtige Faktoren. 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.

4 Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden

Bei der Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle muss in der Regel eine Vielzahl von unterschiedlichen Aspekten beachtet werden. Größere Investitionen in Pyrolyseanlagen sollten daher im Einzelfall anhand der lokalen Gegebenheiten sorgfältig geplant werden und machen in der Regel nur bei allgemein günstigen Voraussetzungen Sinn (Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse, realistisches Wirkungspotential von Prozessenergie und Pflanzenkohle). Insbesondere die Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse ist ein zentraler Faktor und alternative Nutzungsformen sollten immer kritisch geprüft werden.

In der Literatur wird oft eine Kaskadennutzung vorgeschlagen. Die Kaskade verläuft über die energetische Nutzung der Biomasse während des Pyrolyseprozesses über die Verfütterung von Pflanzenkohle an Tiere oder die Verwendung derselben als Einstreu im Stall oder bei der Hofdüngerlagerung bis hin zur Ausbringung auf dem Feld. Die grundsätzliche Überlegung dabei ist, dass je früher die Pflanzenkohle in die Kaskade eingebracht wird und je mehr Prozesse somit abgedeckt werden, desto grösser ist potenziell die Gesamtwirkung. Dies gilt allerdings nur, wenn es entlang der Kaskade keine



wesentliche Verluste an Pflanzenkohle gibt. Neben der erwarteten direkten Klimaschutzwirkung von Pflanzenkohle (Reduktion von Emissionen, Speicherung von Kohlenstoff) sollte wie oben erwähnt auch die mögliche indirekte Wirkung über die Steigerung der Produktionseffizienz beachtet werden (Tiergesundheit und -Leistung, Pflanzenerträge).

Die geographischen Voraussetzungen von Graubünden als Bergkanton beeinflussen das spezifische Umsetzungspotential in verschiedener Hinsicht:

- **Verfügbarkeit von Biomasse:**
Die Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse im Kanton Graubünden (z.B. aus der Forst- und Landwirtschaft, aus Grünschnitt in Siedlungen usw.) wurde nach unserem Wissensstand bisher nicht systematisch untersucht. Eine derartige Abschätzung sollte speziell die alternativen Nutzungsmöglichkeiten im Kanton sowie die gegebenenfalls langen Transportwege in Betracht ziehen.
- **Dezentrale Besiedlung:**
Die kleinräumigen Besiedlungsstrukturen im Kanton sind vor allem bei der Planung von grösseren Pyrolyseanlagen von Bedeutung. Zum einen sollte die Prozessenergie und insbesondere die Abwärme lokal möglichst sinnvoll genutzt werden können, zum anderen sollten die Transportwege für das Ausgangsmaterials sowie für die Pflanzenkohle selbst so kurz wie möglich gehalten werden. Vor diesem Hintergrund ist der Einsatz von dezentrale Pyrolyseheizungen auf einzelnen Höfen prüfenswert.
- **Grosse Bedeutung der Tierproduktion und der Hofdünger:**
Aufgrund der topografischen Gegebenheiten wird in Graubünden die landwirtschaftliche Produktion von der graslandbasierten Haltung von Wiederkäuern dominiert. Dies führt zu einem entsprechend hohen Anfall von Hofdüngern. Falls tatsächlich Wege gefunden werden, durch Bindung von Nährstoffen an die Pflanzenkohle Lager- und Ausbringverluste zu reduzieren, könnte im Idealfall die Düngeeffizienz erhöht werden.
- **Landnutzung und Bodeneigenschaften:**
Die grossen Graslandflächen im Kanton sind für die direkte grossflächige Anwendung von Pflanzenkohle zur Bodenverbesserung eher weniger geeignet. Bezuglich der übrigen potenziellen

Anwendungsflächen gibt es noch keine systematischen Abklärungen auf Kantonsebene. Aufgrund der hohen Kosten macht der Einsatz vor allem in Kulturen mit grosser Wertschöpfung Sinn (z.B. Gemüse-, Wein-, oder Gartenbau) und/oder da, wo eine signifikante Verbesserung der Bodeneigenschaften zu erwarten ist. Die entsprechenden Kulturen sind im Kanton von eher untergeordneter Bedeutung (ungefähr 150 ha Freilandgemüse und 450 ha Weinbau). Dies könnte das Potential limitieren, da es gegebenenfalls zielführender wäre, die Pflanzenkohle auf Flächen in anderen Kantonen einzusetzen.

Derzeit sind im Kanton Graubünden zumindest zwei grössere industrielle Pyrolyseanlagen in Betrieb. Eine Anlage in Maienfeld wird von der [Inkoh AG](#) betrieben und eine weitere in Savognin vom [Sägewerk Resurses](#) (Kapazität rund 400 Tonnen Pflanzenkohle pro Jahr). Für 2026 plant die Inkoh AG drei neue Pyrolyseanlagen in Landquart. Ein erstes Szenario wird für die fünf oben genannten Anlagen, basierend auf Kohlenstoffgehalten (Annahme: 50%) und stabilem Kohlenstoff (Annahme: 80%) hergeleitet (Rodrigues et al., 2023).

Über den derzeitigen Einsatz von Pflanzenkohle in der Bündner Landwirtschaft gibt es keine genaueren Angaben. Auf diversen Betrieben wird Pflanzenkohle bereits als Einzelfuttermittel und/oder als Einstreu im Stall angewendet. Das Anwendungspotential ist durch die verfügbare Menge an Pflanzenkohle limitiert. Ein zweites Szenario wird deshalb basierend auf einer Biomassebegrenzung berechnet, welche für die Schweiz jährliche Sequestrierungsraten von 0.1 bis 0.5 t C pro Hektar und Jahr auf Acker- und Kunstmiesenflächen ergab (Keel et al. 2023).

Zuletzt kann in der Anwendung der hohe Preis der Pflanzenkohle ein limitierender Faktor sein, da dieser die Ausbringung von grösseren Mengen nur bei einem Produktionsmehrwert attraktiv macht. Ein drittes Szenario wurde deshalb unter der Annahme berechnet, dass Kulturen mit hoher Wertschöpfung (Gemüse- und Weinbauflächen) pro ha und Jahr eine Tonne Pflanzenkohle ausbringen.



4.1 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

Auf die gesamte Schweiz bezogen gab es im Jahre 2022 eine Umfrage bei 200 Landwirtschaftsbetrieben (Bühl 2023). Ein Grossteil der Anwenderinnen und Anwender zeigt sich mit der Qualität, Anwendbarkeit und Wirksamkeit zufrieden – nicht jedoch mit den Preisen. Personen, die Pflanzenkohle zwar ausprobiert haben, jetzt aber nicht mehr verwenden (8 Prozent), tun dies vor allem wegen des höheren Aufwands, wegen der Kosten, weil sie keine Wirksamkeit beobachtet haben oder weil die Langzeitwirkung von Pflanzenkohle als Futtermittel unklar ist.

In der Pilotphase des Projekts Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden gab es zwei Projektgesuche zur Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle mit einer offenen Retorte respektive mit dem [Kon-Tiki Verfahren](#). Vorgesehen war die anschliessende Verwendung der Pflanzenkohle als Einzelfuttermittel, als Einstreu im Stall sowie als Additiv zur Bodenverbesserung. Die entsprechenden Fördergesuche wurden jedoch nicht genehmigt. Grund dafür waren hauptsächlich Bedenken seitens der kantonalen Behörden bezüglich der Einhaltung von Emissionsgrenzwerten der Luftreinhalteverordnung, sowie der Umstand, dass bei diesen Verfahren die Prozessenergie nicht sinnvoll genutzt werden kann. Gegenstand der Abklärungen im Rahmen des Projektgesuches waren aber bereits die Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse im spezifischen Umfeld der beiden Pilotbetriebe sowie die Wirtschaftlichkeit dieser Form der Pflanzenkohleherstellung. Letztere war ohne substantielle Förderbeiträge seitens des Projektes nicht gegeben. Weiterhin wurden die erwarteten Wirkungen auf die Tiergesundheit, auf das Stallklima und die entsprechenden Emissionen und auf die Bodeneigenschaften (Bodenkohlenstoff, Ertragspotential, Wasserhaushalt) qualitativ beschrieben und erste Überlegungen zur Überprüfung dieser Effekte angestellt.

Trotz des negativen Entscheids zur eigenen Herstellung wurde Pflanzenkohle von diversen Betrieben eingesetzt. Die Ziele waren:

1. Durch die Verfütterung von Pflanzenkohle die Tiergesundheit und das Tierwohl zu verbessern,
2. Durch die Ausbringung von Pflanzenkohle in den Liegeboxen und Laufgängen das Stallklima und die Qualität der Hofdünger zu verbessern und,
3. Die Verbesserung der Bodeneigenschaften (Ertragspotential, Wasserhaushalt, C-Sequestrierung).

Die Erfahrungen aus diesen Pilotanwendungen wurden bisher nicht systematisch untersucht. Aufgrund von vereinzelten Rückmeldungen ergibt sich ein sehr diverses Bild von sehr positiver Wirkung auf die Kälbergesundheit bis hin zu Nullwirkung und hohen Mehrkosten. Entsprechend gibt es sowohl sehr überzeugte Landwirte:innen als auch solche, die nach einer Testphase die Massnahme wieder aufgegeben haben.

In einem Versuch am Plantahof wurde Pflanzenkohle an Kälber verfüttert. Dank dem Einsatz von Pflanzenkohle konnten positive Effekte in Bezug auf Antibiotika-, Grippe- und Durchfallbehandlungen festgestellt werden. Obschon die Anzahl der Behandlungen nicht signifikant tiefer lag, waren bei Kälbern mit Pflanzenkohle die Behandlungsdauer und die Behandlungskosten tiefer (Furger und Simonett-Sinz, 2024).



5 Förderung und Überwachung

5.1 Monitoring, Reporting and Verification

Die Speicherung von Kohlenstoff im Boden kann zuverlässig abgeschätzt werden. Für die Quantifizierung der Senkenleistung muss vor allem die Menge der ausgebrachten Pflanzenkohle erhoben werden. Davon ausgehend können erste Bodenkohlenstoffmodelle die Sequestrierungsleistung abschätzen (Keel, 2023, Rodrigues et al., 2023). Weiterhin gibt es zur Abschätzung und Zertifizierung von Senkenleistungen von Pflanzenkohle erste Richtlinien (siehe z.B. [European Biochar Certification](#)).

Im Gegensatz zur Sequestrierungsleistung ist die direkte Wirkung von Pflanzenkohle auf die einzelnen Emissionsprozesse von Methan, Lachgas oder Ammoniak auf dem Einzelbetrieb kaum nachweis- respektive messbar. Aufgrund der grossen Unsicherheiten und des zum Teil noch mangelhaft verstandenen Wirkungsmechanismus können, wenn überhaupt, nur sehr allgemeine und grobe Aussagen getroffen werden. Derzeit ist daher von einer entsprechenden Ausweisung der Wirkung in einer Klimabilanz klar abzuraten.

Eine Erhöhung der Produktionseffizienz (Leistung der Tiere, Felderträge) kann allenfalls ex-post abgeschätzt werden. Dies erfordert eine genaue und kontinuierliche Überwachung diverser Leistungsparameter (Milchproduktion, Tagesgewichtszuwachs, Gesundheit der Tiere und Pflanzen, Felderträge usw.) und einen Vergleich gegenüber einer Kontrolle ohne Massnahme.

Eine Wirkung auf die Düngereffizienz kann gegebenenfalls durch Ertragssteigerungen belegt werden oder durch konstante Erträge bei reduziertem Düngereinsatz. Aufgrund von starken witterungsbedingten Ertragsschwankungen muss ein entsprechendes Wirkungsmonitoring im Pflanzenbau kontinuierlich über mehrere Jahre oder sogar Jahrzehnte erfolgen.

5.2 Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente

Derzeit gibt es weder auf Bundes- noch auf Kantonebene konkrete Fördergelder für die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle. Mögliche finanzielle Beiträge könnten allenfalls bei Nutzung der Abwärme und entsprechendem Ersatz von fossilen Heizungen gewährt werden (siehe dazu [klik.ch](#)).

Theoretisch besteht die Möglichkeit beim Bundesamt für Umwelt einen Antrag für ein Kompensationsprogramm für die Herstellung und/oder Anwendung von Pflanzenkohle einzureichen. Bei einem positiven Entscheid könnten anschliessend CO₂-Zertifikate (im Kontext der CO₂-Verordnung auch «Bescheinigungen» genannt) gehandelt werden. CO₂-Senkenleistungen mittels Pflanzenkohle können unabhängig davon auch auf dem freiwilligen Markt gehandelt werden ohne offizielle Anerkennung der Kompensationsstelle des Bundes. Hierbei sollten jedoch ebenfalls klare Anforderungen an den Wirkungsnachweis und die Umweltintegrität gestellt werden (siehe z.B. [European Biochar Certification](#)). Zudem sollte im Allgemeinen eher davon abgesehen werden, Senkenleistungen von Pflanzenkohle gegen vermeidbare THG-Emissionen aus fossilen Brenn- und Treibstoffen abzutauschen.

6 Fazit und Empfehlung

Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es im Bereich der Anwendung von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft noch zahlreiche offene Fragen. Ein Arbeitsbericht von AGRIDEA von 2023 kommt zum gleichen Schluss und listet entsprechenden Handlungs- und Forschungsbedarf auf (Albiker et al., 2023). Weiterhin hängt das Potential von Pflanzenkohle stark von den spezifischen Eigenschaften der Kohle und von der individuellen Anwendung ab. Die Sinnhaftigkeit und gegebenenfalls die genaue Ausgestaltung eines Projektes muss daher jeweils für jeden einzelnen Fall geprüft werden.

Derzeit gibt es keine Belege für eine methanhemmende Wirkung von Pflanzenkohle als Futtermittelzusatz. Ähnliches gilt für den Einsatz von



Pflanzenkohle als Technik zur Emissionsminderung im Stall und bei der Hofdüngerlagerung (Einstreu im Stall, Güllezusatz). Allenfalls ergeben sich gewisse positive Effekte auf die Tiergesundheit. Unbestritten ist die Kohlenstoffspeicherung in der Pflanzenkohle (C-Senke), die durch die Ausbringung im Boden grösstenteils langfristig erhalten bleibt. Am vielversprechendsten ist hier der Einsatz von Pflanzenkohle in Spezialkulturen. Etwas weniger gut belegt ist eine Reduktion der bodenbürtigen Lachgasemissionen.

Allgemeine Aussagen zur Wirtschaftlichkeit sind nicht möglich, da letztere stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen abhängt. Eine allgemeine finanzielle Förderung der Herstellung und des Einsatzes von Pflanzenkohle kann derzeit nicht generell empfohlen werden.

Eine zentrale Frage rund um die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle ist die Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse, die nicht anderweitig mit besserer Klimawirkung genutzt werden kann. Es wird daher empfohlen, diesbezüglich und bezüglich der Standorteignung von Pyrolyseanlagen weitere Abklärungen vorzunehmen.

Zum jetzigen Zeitpunkt kann der Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft nicht allgemein empfohlen werden. Pilotprojekte können jedoch unter günstigen Bedingungen (Verfügbarkeit von geeigneter Biomasse, Nutzung der Energie, Wirkungspotential beim Einsatz in der Landwirtschaft) sinnvoll sein, insbesondere bei der Möglichkeit einer wissenschaftlichen Begleitung. Es wird daher empfohlen, das Potential von Pflanzenkohle in diesem Sinne weiter abzuklären.



7 Weitere Informationen / Literatur

7.1 Weitere Informationen

- [> Themen > Umwelt und Ressourcen > Klima und Luft > CO₂-Senken und -Quellen in landwirtschaftlichen Böden > Pflanzenkohle\)](http://www.agroscope.ch)
- [FiBL - Kohle fürs Klima \(www.fibl.org/de/infothek/meldung/kohle-fuers-klima\)](http://www.fibl.org/de/infothek/meldung/kohle-fuers-klima)
- [Ithaka-Institut for carbon strategies \(www.ithaka-institut.org/de\)](http://www.ithaka-institut.org/de)
- [Charnet - Schweizer Fachverband für Pflanzenkohle \(charnet.ch\)](http://charnet.ch)

7.2 Literatur

- Albiker, D., Nilles, L., Koster, B., Dakhel-Robert, N., Graf, S., Bänninger, A. 2023: Pflanzenkohle in der Landwirtschaft – eine Umfrage zum Handlungsbedarf. Arbeitsbericht, AGRIDEA. Lindau, Schweiz. [Link](#)
- 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. [Link](#)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.060>
- Bühl, V., Dittmann, M., Baumann, S. 2023: Praxiserfahrungen mit Pflanzenkohle. Bioaktuell 7/23. [Link](#)
- Cayuela, M.L., van Zwieten, L., Singh, B.P., Jeffery, S., Roig, A., Sánchez-Monedero, M.A. 2014: Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191: 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.009>
- ChemRRV, 2025: Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung). Der Schweizerische Bundesrat. Bern, Schweiz. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de> [01.10.2025]
- Dittmann, M. T., Baki, C., Terranova, M., Amelchanka, S. L., Dubois, S., Wiget, A., Leiber, F., Krause, H.-M., Baumann, S. 2024: The effect of biochar supplementation on feed utilization, milk production and methane emission in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116127>
- DÜV, 2023: Verordnung vom 1. November 2023 über das Inverkehrbringen von Düngern (Düngerverordnung, DÜV). Der Schweizerische Bundesrat. Bern, Schweiz. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2023/711/de>
- Furger, M., Simonett-Sinz, S., 2024: Pflanzenkohle. Bündner Bauer, Nr.: 49: 10-12.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107763>
- Grafmüller, J., Schmidt, H.-P., Kray, D., Bucheli, T.D., Mäurer, H., Möllmer, J., Peisert, H., Hagemann, N. 2025: Biochar acidification increased sorption and reduced leaching of nitrate. *Journal of Environmental Management*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127224>
- Hagemann, N., Joseph, S., Schmidt, H.-P., Kammann, C. I., Harter, J., Borch, T., Young, R. B., Varga, K., Taherymoosavi, S., Elliott, K. W., McKenna, A., Albu, M., Mayrhofer, C., Obst, M., Conte, P., Dieguez-Alonso, A., Orsetti, S., Subdiaga, E., Behrens, S., Kappler, A. 2017: Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nature Communications*, Vol: 8, Nr.: 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01123-0>



- 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. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa67bd>
- 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. *Carbon Management*, 14/1. <https://doi.org/10.1080/17583004.2023.2244456>
- Keel, S. 2023: "R Version of RothC model including two biochar and two exogenous organic matter pools." Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8218886>.
- Keel, S.G., Budai, A., Elsgaard, L., Hardy, B., Levavasseur, F., Zhi, L., Mondini, C., Plaza, C., Leifeld, J. 2025: Efficiency of Plant Biomass Processing Pathways for Long-Term Soil Carbon Storage. *European Journal of Soil Science. European Journal of Soil Science.* <https://doi.org/10.1111/ejss.70074>
- Kupper, T. 2024: Einsatz von Pflanzenkohle in der Hofdüngerkaskade zur Reduktion von Ammoniakemissionen. Nationale Drehscheibe Ammoniak; Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL). Zollikofen, Schweiz. [Link](#)
- Mastrandrea, M.D., Field, C.B., Stocker, T.F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D.J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K.J., Matschoss, P.R., Plattner, G.-K., Yohe, G.W., Zwiers, F.W. (2010). Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. <http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/CGCs/index.html#UR>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.029>
- 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. <https://doi.org/10.1111/ejss.13396>
- Roesch, A., Vaucher, N., Mantonanaki, A., Stüssi, M., Lansche, J., Hagemann, N. 2025: Life cycle assessment of different biochar application scenarios in Swiss agriculture. *Agroscope Science | No. 210*, Commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN). Posieux, Switzerland.
- Schmidt, H.-P., Anca-Couce, A., Hagemann, N., Werner, C., Gerten, D., Lucht, W., Kammann, C. 2019a: Pyrogenic carbon capture and storage. *Global Change Biology, Bioenergy*, 11: 573–591. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12553>
- Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Draper, K., Kammann, C. 2019b: The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*, 7. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
- Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Abächerli, F., Leifeld, J., Bucheli, T. 2021a: Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Hintergründe zur Düngerzulassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. *Agroscope Science*, Nr.: 112. Agroscope. Zürich Schweiz. [Link](#)
- Schmidt, H.-P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, L., Bucheli, T.D., Sánchez Monedero, M.A., Cayuela, M.L. 2021b: Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *Global Change Biology, Bioenergy*, 13: 1708-1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>
- Walz, I., Dittmann, M., Leifeld, J., 2025: Recovery and composition of biochar after feeding to cattle. *Biochar*, accepted.
- Weldon, S., van der Veen, B., Farkas, E., Kocatürk-Schumacher, N. P., Dieguez-Alonso, A., Budai, A., & Rasse, D. 2022: A re-analysis of NH_4^+ sorption on biochar: Have expectations been too high? *Chemosphere*, 301. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134662>