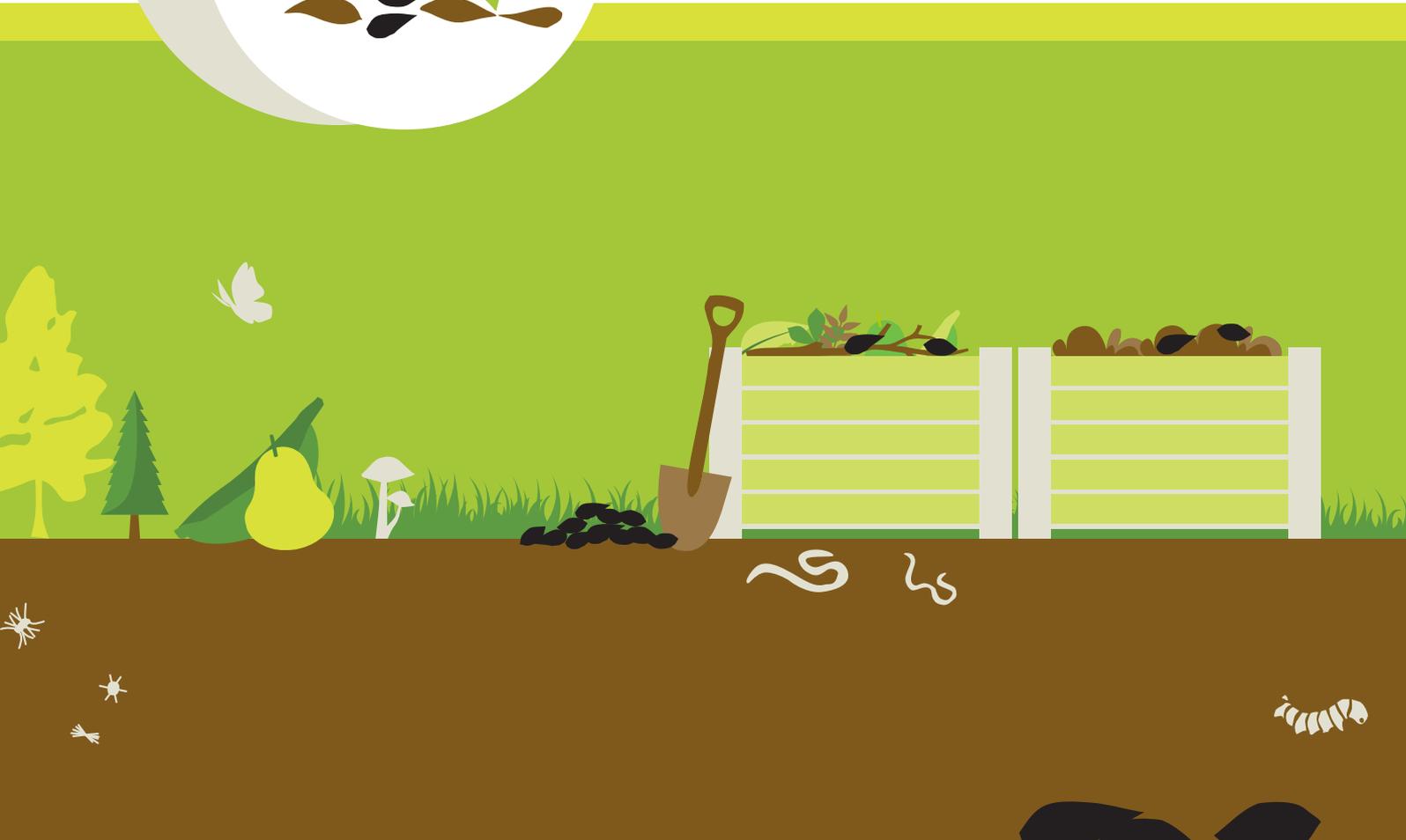


Boden
Berufs
Bildung



PFLANZENKOHLE

Module für die berufliche und schulische Bildung

Impressum

Herausgeberin:

Freie Universität Berlin

Fachbereich Geowissenschaften

AG Geoökologie

Prof. Dr. mult. Dr. h.c. Konstantin Tertytze

Malteser Str. 74-100, Haus G

12249 Berlin

Web: bodenberufsbildung.com



Autorin:

Dr. Bianca Schemel

unter der Mitarbeit der AG Geoökologie: Lina Geiges-Erzgräber, Dr. Robert Wagner, René Schatten, Dr. Ines Vogel, Dr. Ursula Weiß, Prof. Dr. mult. Dr. h.c. Konstantin Tertytze

Illustrationen: Heide Kolling, <https://neonfisch.de/>

ISBN: 978-3-96110-245-7

Die Bildungsmaterialien entstanden im Rahmen des Projektes:

Antragstitel: Verwertung von Gemüse- und Grünschnittabfällen zur

Herstellung von Pflanzenkohlesubstrat für ein klimafreundliches Gärtnern –

Modellprojekte in der Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung

Bewilligungsempfänger: Arbeitsgruppe Geoökologie an der Freien Universität Berlin

Projektzeitraum: 01.04.2017 – 30.06.2020

Projektnummer: 32783/01

Das Projekt wurde

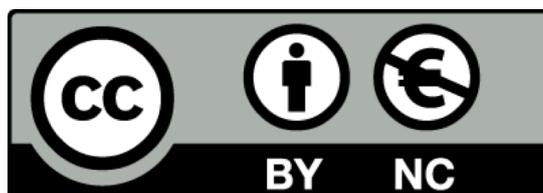
gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Die Nutzung des Materials steht unter creativ commons. Die Namen der Urheber*innen und Förderer müssen genannt werden. Es darf für nicht kommerzielle Zwecke verwendet und bearbeitet werden.



Inhaltsverzeichnis

„Pflanzenkohle als Retter?“ – eine Einleitung	5
Aufbau des Bildungsmaterials.....	6
1 Forschungsstand.....	7
2. Übersicht über die Module.....	9
3 Zielgruppen und Bezug zu Rahmenlehrplänen	11
4 Modulbeschreibungen	17
5 Exemplarische Ablaufpläne	30
6 Materialien für den Unterricht.....	32
Der Stoffkreislauf in Ökosystemen	34
Der Kohlenstoffkreislauf.....	35
Der Stickstoffkreislauf.....	37
Linearwirtschaft und Kreislaufwirtschaft	40
Pflanzenkohle:Vortrag	42
Pflanzenkohle: Handout.....	53
Die Herstellung von Pflanzenkohle - Vortrag	57
Bauanleitung für einfachen Mikrovergaser	63
Versuchsanleitung zur Herstellung von Pflanzenkohle	64
Karbonisierung von Laub: Ergebnisse aus der Forschung	65
Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle (EBC)	68
Die Qualität von Pflanzenkohle: Einfache Tests	70
Laboruntersuchungen.....	71
Die Herstellung von Pflanzenkohle	84
Was ist ein Kompost?	85
Was kommt in den Kompost?	89
Bildmaterial Kompost	90
Kompostieren nach dem Terra-Preta-Prinzip: Vortrag.....	98
Kompostieren nach dem Terra-Preta-Prinzip: Handout.....	108
Kompost mit Pflanzenkohle.....	112
Kompostkonzept.....	114
Der Kompostversuch	118

Anleitung für die Kompostierung nach dem Terra-Preta-Prinzip	119
Die drei Phasen der Kompostierung	123
Kompost-Check	124
Die Qualität der Komposte: Tests	129
Die Qualitätssicherung von Komposten.....	132
Die Potentiale von Pflanzenkohlekomposten: Forschungsergebnisse	133
Gärten und Landwirtschaft mit der Terra- Preta-Technik	134
Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten.....	135
Pflanzenkohle: Pro und Contra	138
Pflanzenkohle: Test	139
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	144
Glossar	146

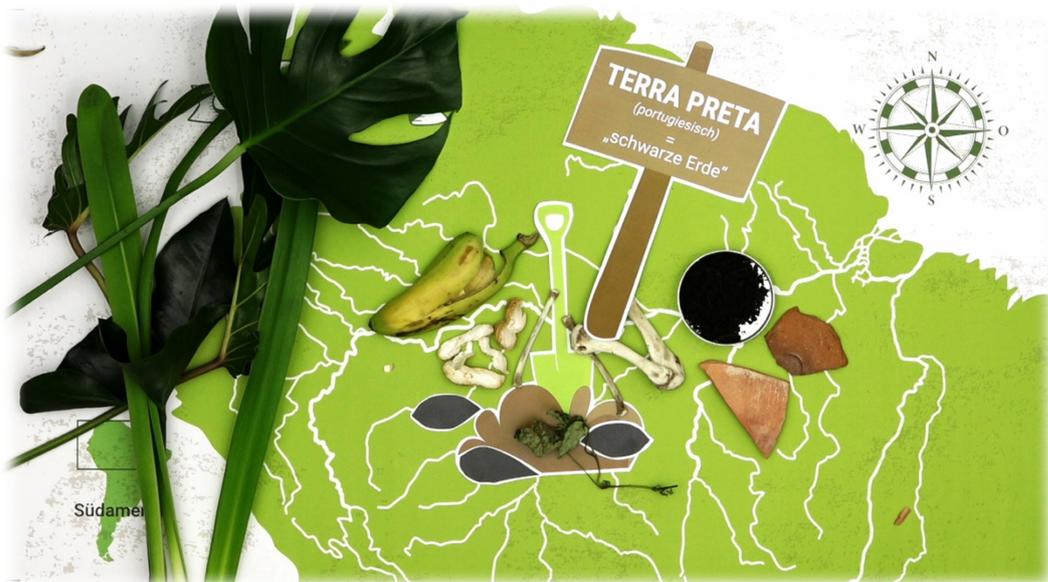


Abb.: Terra Preta und ihre Bestandteile am Amazonas, eigene Darstellung

„Pflanzenkohle als Retter?“ – eine Einleitung

Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) hat in seinem letzten Gutachten die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle als eine vielsprechende Technologie zur Speicherung von Kohlenstoff benannt, die zudem noch die Fruchtbarkeit von Böden verbessert und damit die Ernährungssicherheit erhöht. Demnach kann Gärtnern und Landwirtschaft nach dem Terra Preta Prinzip sowohl einen Beitrag zum Klimaschutz durch die Bindung von Kohlenstoff und die Vermeidung von Torf leisten, als auch den Humusgehalt des Bodens erhöhen, zur nachhaltigen Nutzung von Ressourcen beitragen und der Nitratbelastung der Böden und Gewässer durch Nährstoffspeicherung und Reduzierung von synthetischen Düngern entgegenwirken. Mit der Pflanzenkohle und dem Gärtnern nach dem Terra-Preta-Prinzip steht uns eine alte Kulturtechnik zur Verfügung, die einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leistet.

Im vorliegenden Material für die berufliche Bildung wird das Thema Pflanzenkohle und ihre Anwendung im gärtnerischen und landwirtschaftlichen Bereich behandelt. In den Blick gelangt dabei die Geschichte



und Wiederentdeckung der Terra Preta im Zuge archäologischer und anthropologischer Forschungen sowie die gegenwärtige Herstellung von Pflanzenkohle und Terra-Preta ähnlichen Substraten durch die Kompostierung und die Anwendung der Substrate. Zudem wird der Beitrag der Terra-Preta-Technik zum Klima- und Bodenschutz und zur nachhaltigen Ressourcennutzung vermittelt.

Das Bildungsmaterial möchte einen Beitrag zur Verankerung von beruflicher Bildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE) leisten. Mit den vorliegenden Modulen soll BBNE konkret, sichtbar und erlebbar und die nachhaltigkeitsorientierten Kompetenzen an konkrete berufliche Handlungs- und Tätigkeitsfelder geknüpft werden. Ziel ist sowohl die vertiefte kognitive Auseinandersetzung mit dem Thema Pflanzenkohle, als auch die Aneignung praktischer Kompetenzen zur Pyrolyse und Kompostierung sowie der Transfer des Erlernten in eigene Kompostkonzepte oder Pflanzversuche. Die Auszubildenden sollen zudem Pflanzenkohle vor dem Horizont nachhaltiger Entwicklung kritisch diskutieren und bewerten.

Wir möchten Sie als Lehrkräfte ermutigen, gemeinsam mit den Schüler*innen und Auszubildenden die Terra-Preta-Technik zu erproben und anzuwenden. Nutzen Sie die Schule oder den Betrieb als Lernort für nachhaltige Entwicklung. Schließen Sie Stoffkreisläufe, indem sie aus holzigen Pflanzenresten Pflanzenkohle herstellen und mit organischen Abfall kompostieren. Untersuchen Sie mit den Auszubildenden, welche Auswirkungen die Pflanzen-

kohlesubstrate auf das Wachstum und den Ertrag von Pflanzen haben. Diskutieren Sie gemeinsam, welchen Beitrag die Terra-Preta-Technik zum Klima- und Bodenschutz leistet. Das Bildungsmaterial liefert Ihnen hierfür Handreichungen und Unterstützung.

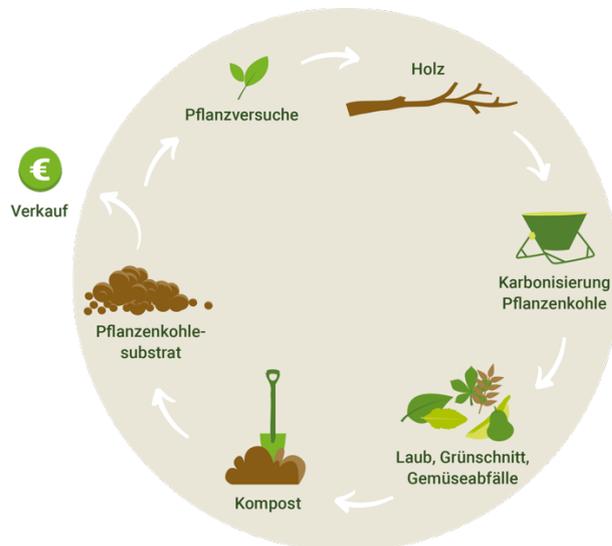


Abb.: Schließung von Stoffkreisläufen mit Terra-Preta-Technik, eigene Darstellung

Aufbau des Bildungsmaterials

Das Bildungsmaterial gliedert sich in sechs Kapitel. Zunächst wird Ihnen in aller Kürze der gegenwärtige **Forschungsstand** zum Thema dargelegt. Darauf folgt eine **Übersicht**, die alle Module vorstellt, die Lernziele, die Methoden und Aktivitäten sowie die benötigte Zeit beschreibt. Im Folgenden werden Ihnen die **Bezüge zu den Rahmenlehrplänen** erläutert und welche Anknüpfungsmöglichkeiten in den Lerngebieten, bei den Lernthemen und Inhalten in den jeweiligen Ausbildungen bestehen. Im Anschluss finden Sie alle **Module** ausführlich mit Methoden, Vorgehensweise und benötigten Materialien und Vorbereitungen beschrieben. Auf die entsprechenden Arbeitsblätter, Vorträge usw. wird am Ende jedes Modul in Form dieses Symbols hingewiesen. Exemplarisch wird Ihnen ein **Ablauf** für ein Projekttag und ein sechsmonatiges Unterrichtsprojekt vorgestellt. Daran schließen sich die **Materialien für den Unterricht** an, die Arbeitsblätter, Präsentationen, Handouts u.ä. enthalten.

Die Materialien für den Unterricht, d.h. Präsentationen, Videos, Texte, Arbeitsblätter etc. können Sie auf der Webseite herunterladen: <https://bodenberufsbildung.com/bildungsmaterialien/>. Sie liegen im Wordformat vor, so dass Sie Anpassungen vornehmen können.

Wir wünschen Ihnen Erkenntnisgewinn und viel Spaß beim gemeinsamen Pyrolysieren, Kompostieren und Gärtnern nach dem Terra-Preta-Prinzip und viel Erfolg bei der handlungsorientierten Umsetzung von beruflicher Bildung für nachhaltige Entwicklung.

1 Forschungsstand



Was ist Pflanzenkohle?

Das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat definiert Pflanzenkohlen als „ein heterogenes Material, das durch Pyrolyse aus nachhaltig gewonnenen Biomassen hergestellt wird und vorwiegend aus polyaromatischen Kohlenstoffen und Mineralien besteht. Die Anwendung von Pflanzenkohle führt zu Kohlenstoffsinken, ihre Verbrennung zur Energiegewinnung wird ausgeschlossen“ (EBC 2012: 6).

Die Wiederentdeckung der Terra Preta

Im Zuge von archäologischen und anthropologischen Forschungen im Amazonasbecken vor knapp drei Jahrzehnten wurde bei Grabungen die Terra Preta de indio (portugiesisch für „schwarze Erde“) entdeckt. Sie ist ein sehr nährstoffreicher schwarzer Boden, der neben den ansonsten gelben und sehr unfruchtbaren Verwitterungsböden, auch »Ferralsole« genannt, am Ufer des Amazonas gefunden wurde. Schlüsselmerkmal der schwarzen Erde ist ein hoher Gehalt an Holzkohle, die hier wahrscheinlich durch Holzfeuer zum Kochen entstand. Die Funde lassen den Schluss zu, dass die fruchtbare Erde menschengemacht ist und durch die Verrottung organischer Abfälle mit Holzkohle entstand. Die Fundorte verweisen zudem auf eine dichte Besiedlung und Bewirtschaftung durch Hochkulturen der Ureinwohner*innen, die das Recycling von organischen Abfällen in einer Kreislaufwirtschaft betrieben.

Pflanzenkohle gelangte durch die Wiederentdeckung der Terra Preta in den Fokus. Im Zuge dessen wurden technische Anlagen zur Herstellung von Pflanzenkohle und Substrate mit Pflanzenkohle zu marktfähigen Produkten entwickelt. Viele Forschungsprojekte zu Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von sowohl Pflanzenkohle als auch Substraten mit Pflanzenkohle wurden realisiert. Die Anwendung in Gärten und der Landwirtschaft wurde erprobt und eine europäische Zertifizierung der Pflanzenkohle etabliert.

Die Eigenschaften der Pflanzenkohle

Pflanzenkohle ist äußerst porös ist und hat eine große innere und äußere Oberfläche, wodurch eine große Speicherung von Wasser möglich wird. Die Pflanzenkohle weist dem zu Folge eine erhöhte Adsorptionskapazität auf. Diese Eigenschaft kommt auch bei der Kompostierung zum Tragen. Bei der Verwendung feuchter und stickstoffreicher Materialien im Kompost, wie Rasenschnitt, Obst- und Gemüseabfälle, bindet die Kohle deren Nährstoffe und Wasser.

Pflanzenkohle besteht aus kondensierten Aromaten, d.h. sehr stabilen chemischen Verbindungen, und fungiert somit als langfristige Kohlenstoffsinke. Durch die Nutzung der Ab-

wärme bei der Pyrolyse wird die Emission von Treibhausgasen vermindert, da fossile Brennstoffe ersetzt werden. Bei der Kompostierung werden durch die Pflanzenkohle Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen reduziert. Auch Kohlenstoffdioxid scheint weniger an die Atmosphäre abgegeben zu werden, was neueste Forschungsergebnisse zeigen. Pflanzenkohle weist eine erhöhte Kationenaustauschkapazität auf. Das bedeutet, dass positiv geladene Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche der Pflanzenkohle binden, nicht ausgewaschen werden und somit für die Pflanze und Mikroorganismen sehr gut verfügbar sind. Die labilen organischen Verbindungen der Pflanzenkohle sind Nahrung für Mikroorganismen. Auf der Oberfläche der Pflanzenkohle siedeln sich auch gern nützliche Bodenorganismen an und durch die vermehrte Bodenaktivität ist die Pflanze besser vor Erkrankungen geschützt.

Pflanzenkohle muss von Holzkohle unterschieden werden. Zwar werden beide im pyrolytischen Verfahren gewonnen und sind chemisch identisch. Allerdings wird die Pflanzenkohle auch aus anderen Reststoffen als aus Holz gewonnen und hauptsächlich in der Tierhaltung und zur Bodenverbesserung eingesetzt. Hingegen die Holzkohle wird zur Energiegewinnung beispielsweise beim Grillen verwendet.

Ergebnisse aus Metastudien zu Pflanzenkohle

Die Forschung zu Pflanzenkohle und Pflanzenkohlesubstraten ist zahlreich. Zum Ende des Jahres 2018 gab es 26 Metaanalysen zum Thema Pflanzenkohle. Aus diesen lassen sich folgende gesicherte Forschungsergebnisse ableiten (Vgl. Glaser 2018).

Pflanzenkohle:

-  erhöht im Durchschnitt das Pflanzenwachstum um 10%,
-  fördert das Wachstum von Bäumen (stärker bei Laubbäumen und in tropischen und borealen Klimazonen),
-  führt zur Kohlenstoffsequestrierung, d.h. Kohlenstoffspeicherung im Boden und steigert langfristig den Humusgehalt,
-  erhöht die mikrobielle Biomasse,
-  führt zu signifikant geringeren N₂O Emissionen des Bodens,
-  reduziert signifikant die Nitrat-Auswaschung,
-  erhöht signifikant die Verfügbarkeit von Phosphor im Boden, dementsprechend muss weniger Phosphordünger eingesetzt werden,
-  vermindert die Bodenverdichtung,
-  erhöht Wasserspeicherfähigkeit des Bodens.

Kaskadennutzung der Pflanzenkohle

Pflanzenkohle kann vielseitig genutzt werden. Sie dient der Bodenverbesserung, führt zu Ertragssteigerungen und zum verminderten Einsatz von synthetischem Dünger und von

Torf. Bei der Produktion von Pflanzenkohle werden pflanzliche Reststoffe verwertet und die Abwärme der Pyrolyse energetisch genutzt und damit Treibhausgase reduziert. Darüber hinaus wird Pflanzenkohle auch in der Tierhaltung, Biogasproduktion, Gebäudekonstruktion und als Schadstofffilter eingesetzt. Die Kaskadennutzung von Pflanzenkohle und die damit verbundene Schließung von Stoffkreisläufen ist ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung, da durch den Einsatz der Pflanzenkohle vielfältige positive Umwelteffekte entstehen.

Die nachhaltige Produktion und Qualitätssicherung der Pflanzenkohle stellt das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat sicher, ein in Deutschland freiwilliger Standard. Im Fachverband Pflanzenkohle werden Praxis und Forschung zu Pflanzenkohle diskutiert und für den verbreiteten Einsatz von Pflanzenkohle geworben.



Weiterführende Literatur und Links

Ute Scheub, Haiko Piepelow, Hans-Peter Schmidt (2018): Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald.

Andrea Preißler-Abou El Fadil (2018): Gärtnern nach dem Terra-Preta-Prinzip. Praxiswissen für dauerhaft fruchtbare Erde.

Konstantin Terytze, Robert Wagner (Hrsg.) (2016): Handlungsanleitung. Verwertung von organischen Reststoffen zur Erzeugung fruchtbarer Pflanzenkohlesubstrate und deren Nutzung im Gartenbau.

Bruno Glaser (2018): Stand der Pflanzenkohleforschung. Vortrag. Link: https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geooekologie/medien/download/Vortraege_Workshop_CarboTIP_2018/7_Stand_Pflanzenkohleforschung_GLASER.pdf

Bezug von Pflanzenkohlepulver und –streu

www.triaterra.de (Mecklenburg)

www.em-chiemgau.de (Bayern)

www.sonnenerde.at (Österreich)

www.multikraft.com (Österreich)

www.swiss-biochar.com (Schweiz)

Hersteller von Pyrolyseanlagen

www.biomacon.com (Niedersachsen)

www.pyreg.de

www.blackcarbon.dk (Dänemark)

Pyrokocher

www.chantico-terassenofen.de (Niedersachsen)

wendelborecho.wordpress.com/products/ (Norwegen)

www.kaskad-e.ch (Schweiz)

Pyrokochermodelle zum Selbermachen

www.drtilud.com/category/publications-and-multimedia/

www.biochar-international.org/technology/stoves

www.goodstove.com

Herstellung eines KonTikis

<http://www.ithaka-institut.org/en/ct/111-Dig-your-own-soil-Kon-Tiki-->

Weitere Informationen rund ums Thema

<http://www.ithaka-journal.net/>

<http://www.ithaka-institut.org/en/home>

<http://charnet.ch>

<http://www.biochar-international.org/>

<https://www.transition-initiativen.org/herzlich-willkommen-auf-unserer-website>

www.european-biochar.org

<https://fachverbandpflanzenkohle.org/>

2. Übersicht über die Module

Modul	Methoden & Aktivitäten	Zeit in min	Lernziele Die Schüler*innen oder Auszubildenden:
Einstieg			
Was fällt dir zum Kompost ein?	Brainstorming	variabel	<ul style="list-style-type: none">  erschließen ihr Vorwissen  diskutieren Umgang mit Abfällen  üben spielerisch Kooperation
Kompostierst du und kennst du Pflanzenkohle?	Positionierungsspiel	10-15	
Bamboleo	Ein Spiel zu den Planetaren Grenzen	10-15	
Wissenschaftlicher Hintergrund			
Stoffkreisläufe	Textlektüre und Plakate	20-30	<ul style="list-style-type: none">  erläutern die Funktionsweise von Stoffkreisläufen
„Die Natur kennt keine Abfälle“ – Der Stoffkreislauf in Ökosystemen	Textlektüre und Plakate	20-30	<ul style="list-style-type: none">  beschreiben Terra-Preta-Technik und Rolle von Pflanzenkohle  diskutieren den Bezug der Technik zu den planetaren Grenzen und Stoffkreisläufen
Pflanzenkohle: Klimaschutz, Bodenverbesserung und nachhaltige Ressourcennutzung mit der Terra-Preta-Technik	Vortrag mit Videos und Folien	30	
Pflanzenkohle – Herstellung und Qualitätskontrolle			
Pflanzenkohle selbst herstellen	Bau eines einfachen Mikrovergasers oder Laborversuche zur Herstellung von Pflanzenkohle	20 + 30	<ul style="list-style-type: none">  erläutern am Model die Herstellung von Pflanzenkohle  vergleichen technische Anlagen zur Pyrolyse  wenden Testverfahren bzw. Laborverfahren zur Qualitätssicherung der Pflanzenkohle an
Die Herstellung von Pflanzenkohle	Vertiefender Vortrag mit Video und Folien	20	
Die Qualität von Pflanzenkohle	Einfache Tests	15	
Laboruntersuchungen	verschiedene chemische und physikalische Untersuchungen	variabel	
Die Herstellung von Pflanzenkohle	selbstständige Recherchen	45	

Kompostieren mit Pflanzenkohle

Einführung			
Was ist ein Kompost?	Textlektüre und Mind-map	20-30	<ul style="list-style-type: none">  führen Kenntnisse zur Kompostierung aus (Inputstoffe, Verfahren, Systeme, Mischungsverhältnisse, Zuschlagstoffe)  untersuchen Stoffströme, geeignete Systeme und erstellen Kompostkonzept für Schule  beobachten und beschreiben Kompostvorgang am Minikomposter
Was kommt alles in den Kompost?	Bilderrätsel	15	
Kompost	Vortrag mit Videos und Folien	20	
Welcher Kompost ist für uns geeignet?	Recherche und Konzept	variabel	
Kompostversuch	Bau eines kleinen Komposters und Versuche	20	
Komposte selber bauen			
Bau eines Kammerkomposts	Recherche und Bau	variabel	 bauen selbständig Kompost auf
Komposte ansetzen & pflegen			
Aufsetzen eines Komposts	Aufbau eines Komposts	variabel	<ul style="list-style-type: none">  setzen Kompost auf und um  wenden verschiedene Untersuchungsverfahren zum Kompostverlauf und zur Qualität an  werten Daten aus und leiten Verbesserungsmaßnahmen ab und setzen diese um
Die drei Phasen der Kompostierung	Erstellen Diagramm	20	
Kompost-Check	Messungen, Tests, Protokollierung	20-30 variabel	
Kompost umsetzen	Umsetzen und Neuaufsetzen des Kompostes	30	
Anwendung der Pflanzenkohlekomposte			
Aufbereitung des fertigen Komposts	Sieben, Substratmischungen	30	<ul style="list-style-type: none">  wenden Testverfahren an und bewerten Qualität  werten Forschungsergebnisse aus  stellen Projekte zu Pflanzenkohle dar  diskutieren Potential hinsichtlich Einhaltung der planetaren Grenzen/ Nachhaltigkeit  entwickeln eigene Versuche  erstellen Substratmischungen
Die Qualität der Pflanzenkohlekomposte	Tests	30	
Die Potentiale der Pflanzenkohlekomposte: Forschungsergebnisse	Auswertung und Diskussion	20	
Gärten und Landwirtschaft mit der Terra-Preta-Technik	Porträts von Projekten und Initiativen	45	
Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten: Eigene Versuche	Entwickeln Versuchsdesign, Daten erheben, Ergebnisse interpretieren	variabel	

Exkursionen			
Pflanzkohle und Terra-Preta-Technik entdecken	Exkursion	variabel	<ul style="list-style-type: none"> dokumentieren und diskutieren Anwendungen hinsichtlich Nachhaltigkeit
Reflektion			
Pflanzkohle: Pro und Contra	Mündliche oder schriftliche Diskussion	20	<ul style="list-style-type: none"> erläutern und begründen, was für und gegen den Einsatz von Pflanzkohle spricht
Pflanzkohle	Flyer oder andere kreative Beiträge	45	<ul style="list-style-type: none"> reflektieren Inhalte, Ergebnisse
Bewertung und Test			
Ergebnisse		variabel	<ul style="list-style-type: none"> überprüfen erworbenes Wissen
Test			



Abb.: Die Herstellung von Pflanzkohle im Kon-Tiki, eigene Darstellung

3 Zielgruppen und Bezug zu Rahmenlehrplänen

Das Bildungsmaterial kann sowohl in der gymnasialen Oberstufe als auch in der beruflichen Bildung eingesetzt werden. Der Unterricht zu Pflanzenkohle und der Terra-Preta Technik knüpft zudem an bestehende Rahmenlehrpläne an und greift Lerninhalte und Lerngebiete, Themenfelder und die damit verbundenen Lernziele und Kompetenzen der Ausbildungsberufe Gärtner/ -in, Umweltschutztechnische Assistenten/-in, Florist/-in, Koch/ Köchin, Agrarwirtschaft auf.

Gärtner/-in¹

1. Ausbildungsjahr

Lerngebiet 1: Standortaufnahme, Informationsbeschaffung und -auswertung

Lernziele: Bereitschaft und Fähigkeit zur Beobachtung von Pflanzenbeständen entwickeln

Lerninhalte: Beobachten, Wahrnehmen, Dokumentieren, Problematisieren

Lernziele: Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und ihrer belebten Umwelt ergründen

Lerninhalte: natürliche Ökosysteme

Lerngebiet 4: Umweltbewusste Kulturführung, Pflege, Baumaßnahmen

Lernziele: Bodenverbesserungsmaßnahmen und Bodenbearbeitungstechniken hinsichtlich ihrer bodenbiologischen und pflanzenbaulichen Eignung bewerten

Lerninhalte: Humuswirtschaft und Kompostierung, Bodenschutz

Lernziele: Ökologische Anbaumethoden

Lerninhalte: Ökologische Zielsetzungen verschiedener Anbau- und Kulturverfahren/ Landschaft- bzw. Gartenplanungen erläutern.

Agrarwirtschaft²

Fachoberschule/ Berufsoberschule, Jahrgangsstufe 12

Pflichtthemenfeld: Ökologie und Nachhaltigkeit I und II

Grundlagen der Ökologie: Stoffkreisläufe

Eingriffe in Ökosysteme und Gefährdungen

Nachhaltige Nutzung von Ressourcen

Gefährdung und Schutz von Ökosystemen, insbesondere durch Landwirtschaft

Wahlthemenfeld: Erneuerbare Energien I

Problematik fossiler Energien: Klimawandel

¹ Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Gärtner/ Gärtnerin (Beschluß der Kulturministerkonferenz vom 8. Dezember 1995)

² Rahmenlehrplan Agrarwirtschaft, Berufsoberschule (BOS) Jahrgangsstufen 12 und 13 Fachrichtung: Agrarwirtschaft Fachoberschule (FOS) Jahrgangsstufe 12 Fachrichtung: Agrarwirtschaft, gültig ab 2015/2016 (Hrsg.: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Wissenschaft, Berlin)

Energie aus Biomasse, weitere regenerative Energien

Fachoberschule/ Berufsoberschule, Jahrgangsstufe 13

Pflichtthemenfeld: Klimawandel und Klimaschutz

Klimaschutz durch Erneuerbare Energie, Ökobilanzierung

Wahlthemenfeld: Erneuerbare Energien II

Energie aus Biomasse, weitere regenerative Energien

Wahlthemenfeld: Nachhaltige Ernährungssicherung

Boden als begrenzte Ressource

Umweltschutztechnische Assistent/ -in³ 

Erstellen von Abfallwirtschaftskonzepten für Siedlungsabfälle, Gewerbeabfälle und Sonderabfälle; Durchführen und Auswerten instrumenteller Analysen

Florist/-in⁴ 

1. Ausbildungsjahr

Lerninhalte: Die Pflanzen und ihr umweltschonende Behandlung: Substrate und ihre Verwendung, Behandlungsmethoden zur Regulierung der Wasserversorgung, Düngung von Topfpflanzen,

Lernziele: Maßnahmen zur Optimierung der Lebensvorgänge von Pflanzen und Pflanzenteilen begründen; umweltschonende Kulturmaßnahmen für die Kundenberatung bewerten

Hotelfachfrau / Hotelfachmann⁵, Gastgewerbe⁶, Koch/ Köchin⁷ 

Themen-/ Lernfeld: Umweltschutz, z.B. in Arbeiten in der Küche

Fachoberschule & Berufsoberschule⁸ 

Biologie: Wie zukunftsfähig ist unsere Welt? Pflichtthemenfeld: Ökologie

³ Rahmenvereinbarung über die Ausbildung und Prüfung zum Staatlich geprüften technischen Assistenten/ zur Staatlich geprüften technischen Assistentin an Berufsfachschulen (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.06.1992 i.d.F. vom 01.02.2007)

⁴ Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Florist/ Floristin (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 21. November 1996)

⁵ Sachliche und zeitliche Gliederung der Berufsausbildung Hotelfachmann / Hotelfachfrau (IHK Berlin)

⁶ Rahmenlehrplan für die Berufsausbildung im Gastgewerbe (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 28.03.2014)

⁷ Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Koch / Köchin, (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 05.12.1997)

⁸ Rahmenlehrplan für Unterricht und Erziehung. Fachoberschule (FOS) Jahrgangsstufe 12, Berufsoberschule (BOS) Jahrgangsstufe 12 und 13, Fach: Biologie (Hrsg.: Senatsverwaltung für Bildung, Jugend, Wissenschaft, 2014)

4 Modulbeschreibungen

Die einzelnen Module für den Unterricht sind im Folgenden mit Methoden, Inhalt und Ablauf beschrieben und die benötigte Zeit und Materialien aufgelistet. Auf die entsprechenden Arbeitsblätter, Vorträge usw. wird am Ende jedes Modul in Form dieses Symbols  hingewiesen. Diese finden sie unter dem entsprechenden Titel im Anschluss.

Einstieg

Was fällt dir zum Kompost ein?

Brainstorming

In 3 bis 5 Minuten notieren die Auszubildenden ihre Assoziationen oder malen ein Bild, was ihnen zum Thema Kompost einfällt. Die Bilder und Stichworte können anschließend an einer Pinnwand oder an der Tafel geordnet werden. Der Einstieg kann zugleich dafür genutzt werden, dass die Auszubildenden sich gegenseitig mit Namen und ihren Stichworten bzw. ihrem Bild vorstellen.

Zeit: variiert nach Anzahl der Auszubildenden

Materialien: Karten, Stifte

Kompostierst du und kennst du Pflanzenkohle?

Positionierungsspiel

Die Auszubildenden positionieren sich entlang einer Linie (ja, weiß nicht, nein) zu folgenden Fragen.

-  Ich trenne zu Hause die Bioabfälle.
-  Ich kompostiere zu Hause.
-  In meinem Lehrbetrieb wird kostenpflichtig entsorgt.
-  Gibt es Abfall?
-  Ich habe schon mal von Pflanzenkohle und/ oder Terra Preta gehört.
-  Ich habe bereits Erfahrungen mit der Terra-Preta-Technik gesammelt.

Während des Positionierungsspiels kann ergänzend diskutiert werden: Was passiert mit den Abfällen, wenn sie nicht kompostiert werden? Werden die Abfälle sinnvoll verwertet? Was ist reguläre Praxis im Betrieben oder Schule? Was ist wirtschaftlich für einen Betrieb? Ist das auch unter ökologischen Gesichtspunkten gut?

Zeit: 10- 15 min

Vorbereitung: Zeichnen Sie auf den Boden eine Linie, beschreiben Sie die Enden mit ja und nein.

Materialien: Klebeband oder Kreide

Bamboleo

Ein Spiel zu den Planetaren Grenzen

Das Spiel Bamboleo ist vordergründig ein Geschicklichkeitsspiel, bei dem die Spielenden unterschiedlich große und schwere Holzklötze auf eine Platte legen, die wiederum auf einem Sockel mit einer Korkkugel platziert ist und deswegen sehr instabil ist. Das Spiel ist ein guter thematischer Einstieg, da mit ihm die systemischen Grenzen unseres Planeten und die Auswirkungen unseres Handelns spielerisch erfahrbar werden. Im anschließenden Vortrag wird auf das Konzept der Planetaren Grenzen eingegangen und der Bezug zur Pflanzkohle hergestellt.

Zeit: 10- 15 min

Vorbereitung: Spiel leihen oder kaufen

Link zum Produkt: https://shop.zoch-verlag.de/zoch_de/spiele/geschicklichkeits-spiele/bamboleo-601120100-de.html

Materialien: Spiel, Tisch

Wissenschaftlicher Hintergrund

Stoffkreisläufe

Textlektüre und Plakate

Stoffkreisläufe sind die Grundlage unseres Ökosystems. Vier Texte informieren über Stoffkreisläufe (im Ökosystem, Kohlenstoff- und Stickstoffkreislauf sowie über die Linear- und Kreislaufwirtschaft).

Teilen Sie die Auszubildenden in vier Arbeitsgruppen ein. In den Gruppen wird jeweils einer der Texte gelesen und die Fragen diskutiert. Wesentliche Inhalte des Textes und der Diskussion stellen die Auszubildenden dann bildlich auf Plakaten dar. Anschließend präsentieren die Gruppen ihre Plakate und erläutern mit deren Hilfe die Funktionsweise.

Zeit: 20-30 min

Vorbereitung: Kopieren Text

Materialien: Flipchartpapier, farbige Stifte

 „Stoffkreisläufe“

„Die Natur kennt keine Abfälle“ – Der Stoffkreislauf in Ökosystemen

Textlektüre und Plakate

Die Auszubildenden erforschen in der Umgebung (Wald, Park, Hof), wie die Abfallverwertung und der Stoffkreislauf im Ökosystem exemplarisch funktioniert. Sie heben mit einer Schaufel mehrere Zentimeter Waldboden/ Parkboden/ Wiesenboden auf und breiten diesen

auf einem weißen Laken aus. Sie untersuchen die verschiedenen Stadien von der Verrottung bis zur Humusbildung und welche Bodenlebewesen an der Zersetzung beteiligt sind. Zur Untersuchung und Bestimmung der Bodenlebewesen können Becherlupen und Bestimmungskarten (z.B. Becherlupen-Kartei) verwendet werden.

Zur Vertiefung lesen sie dann den Text und stellen grafisch den Stoffkreislauf im Ökosystem und die beteiligten Bodenlebewesen dar.

Zeit: 20-30 min

Vorbereitung: Kopieren Text, Becherlupen und Karteikarten besorgen

Materialien: Becherlupen-Kartei: Tiere im Kompost, Boden und morschen Bäumen (ca. 21,99 Euro), Becherlupen, Schaufel, weißes Tuch, Papier, farbige Stifte

 **Stoffkreisläufe**

Pflanzenkohle: Klimaschutz, Bodenverbesserung und nachhaltige Ressourcennutzung mit der Terra-Preta-Technologie

Vortrag mit Videos und Folien sowie ein Comic

In der Präsentation wird die Geschichte und Wiederentdeckung der Terra Preta erzählt, die zentrale Rolle der Pflanzenkohle in der Terra Preta erläutert und wie und woraus Pflanzenkohle hergestellt wird. Die Potentiale der Pflanzenkohle werden diskutiert und der Bezug zu Klimaschutz und planetaren Grenzen hergestellt. Alternativ kann das Thema auch über den Comic erschlossen werden.

Zeit: 30 min

Vorbereitung: Kopieren Arbeitsblatt, Download Präsentation und Video, Video in Präsentation einfügen

<https://bodenberufsbildung.com/bildungsmaterialien/> oder <https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geoökologie/forschung/Pflanzenkohle-BBNE/index.html>

Materialien: Computer, Beamer & Lautsprecher bzw. Smartboard

 Pflanzenkohle: Präsentation

 Pflanzenkohle: Vortrag

 Pflanzenkohle: Handout

 Comic: Das wahre Gold des Amazonas

Pflanzenkohle – Herstellung und Qualitätskontrolle

Pflanzenkohle selbst herstellen I

Versuche zur Herstellung von Pflanzenkohle

Die Auszubildenden führen Versuche zur Herstellung von Pflanzenkohle durch. Dabei variieren sie Pyrolysetemperatur und –zeit oder Ausgangsstoffe.

Zeit: 60 -90 min

Vorbereitung: Kopieren der Versuchsanleitung, benötigte Materialien besorgen

Materialien:

Bunsenbrenner, großes Reagenzglas, großes Reagenzglas als Kühlfalle, Glasrohr als Verbindungsstück, Gasableitungsrohr mit Düse, Stativ

Muffelofen, Thermometer

Verschiedene Ausgangsstoffe für Pyrolyse (Pellets, Holt, Laub, Nusskerne,- schalen etc.)

 **Versuchsanleitung**

Pflanzenkohle selbst herstellen II

Bau eines einfachen Mikrovergasers und die Herstellung von Pflanzenkohle

Die Auszubildenden bauen in Gruppen von 3-4 Personen aus Konservendosen einen einfachen Pyrolyseofen. Sie stellen aus Reststoffen, wie Holzhackschnitzeln, Nussschalen u. ä. selbst Pflanzenkohle her.

Zeit: 20 min Bau, Pyrolyse mindestens 30 min

Vorbereitung: Kopieren der Bauanleitung, benötigte Materialien besorgen

Hinweis: Die Pyrolyse dauert mindestens 30 Minuten. Achten Sie darauf, dass die Dose nicht bis zum Rand gefüllt ist und nur trockenes Material verwendet wird. Die Pyrolyse sollte unbedingt dafür genutzt werden, gleichzeitig Tee o.ä. zu kochen und kann zu Beginn einer Pause gestartet werden.

Materialien:

Pyrolyseofen: 1 leere Konservendose Ø 7 cm, 1 leere Konservendose Ø 8,5 cm

2 Kuchenauskühler als Untersetzer und Aufsetzer zum Kochen, Kochutensilien: z.B. Topf, Espressokanne, Tee, Kaffee

Werkzeug: 1 Hammer, Nagel 3-4 mm, 1 Metallschere oder scharfes Messer, Handschuhe

Pyrolyse: Trockenes Pyrolysematerial: z.B. Holzreste, Äste, Pellets, Feuerzeug, Kohlenanzünder, Gießkanne mit Wasser zum Löschen oder Feuerlöscher, Zange zum Herausheben der heißen Dose

 **Bauanleitung einfacher Pyrolyseofen**

 Links zu weiteren Bauanleitungen anderer Pyrolyseöfen:

<http://www.ayumi-matsuzaka.com/sites/default/files/all-my-cycle-5-497.pdf>

https://youtu.be/o_dhXhBRnVI <https://mollesnejta.wordpress.com/2018/02/14/erd-kon-tiki-bau/> <https://mollesnejta.wordpress.com/2015/10/24/kon-tiki-quechua/>

Die Herstellung von Pflanzenkohle

Vertiefender Vortrag mit Video und Folien

Die vertiefende Präsentation erläutert die Herstellung von Pflanzenkohle, insbesondere den chemischen Prozess, technische Anlagen, Produkte des Prozesses und die Qualitätskontrolle der hergestellten Pflanzenkohle.

Zeit: 20 min

Vorbereitung: Download Präsentation und Video, Video in Präsentation einfügen

<https://bodenberufsbildung.com/bildungsmaterialien/> oder <https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geoökologie/forschung/Pflanzenkohle-BBNE/index.html>

Materialien: Computer, Beamer & Lautsprecher bzw. Smartboard

- 📌 Präsentation: Die Herstellung von Pflanzenkohle
- 📌 Vortrag: Die Herstellung von Pflanzenkohle:
- 📌 Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Die Qualität von Pflanzenkohle

Einfache Tests

Die Auszubildenden untersuchen mit einfachen Tests die Qualität der hergestellten Pflanzenkohle. Zum Vergleich kann auch durch Firmen hergestellte Pflanzenkohle herangezogen werden. Die Lehrkraft erläutert die Kriterien für die Vergabe des „Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC), mit dem sowohl die Qualität der Pflanzenkohle und der nachhaltige Herstellungsprozess sichergestellt werden.

Zeit: 15 min

Vorbereitung: Kopieren Arbeitsblatt, Richtlinien, selbst hergestellte Pflanzenkohle, ggf. andere Pflanzenkohle besorgen (siehe Liste im Anhang).

Materialien:

- 📌 Die Qualität der Pflanzenkohle: Einfache Tests
- 📌 Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Laboruntersuchungen

Chemische und physikalische Untersuchungen

Die Qualität von Pflanzenkohle wird im Labor überprüft. Es wird untersucht, welche Leitfähigkeit, welchen pH-Wert, Wasser-, Asche-, Kohlenstoff-, Sauerstoff und Stickstoffgehalt die Pflanzenkohle hat sowie welche Spurenmetalle (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As) und welche polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe und Hauptelemente (P, Mg, Ca, K,

Na, Fe, Si, S) in ihr enthalten sind. Die Analytik entspricht den Methoden zur Vergabe des „Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC)“.

Zeit: variabel

Vorbereitung: Kopieren Arbeitsblatt, Auswahl Untersuchungsverfahren entsprechend der Laborausstattung

Materialien:

📌 Laboruntersuchungen

📌 Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Die Herstellung von Pflanzenkohle

Wiederholung und Recherche

Die Auszubildenden überprüfen und vertiefen ihr Wissen zu diesem Modul, in dem Sie selbstständig die Fragen auf dem Arbeitsblatt beantworten und ihre Rechercheergebnisse darstellen.

Zeit: 45 min

Vorbereitung: Kopieren Arbeitsblatt

Materialien:

📌 Die Herstellung von Pflanzenkohle: AB

Kompostieren mit Pflanzenkohle

Was ist ein Kompost?

Textlektüre und Mindmap

Ein Text führt in das Thema Kompostierung ein und erläutert die vielfältigen Vorteile von Kompostierung. Die Auszubildenden erschließen sich in Arbeitsgruppen (3 Personen) den Text und stellen in einer Mindmap das Thema Kompost dar. Die Mindmaps werden im Raum aufgehängt und durch die Lehrkraft und Auszubildende kommentiert, korrigiert und verglichen.

Variation: Die Auszubildenden können zunächst auch selbst eine Mindmap zum Thema Kompost erstellen und diese dann durch die Information aus dem Text ergänzen.

Zeit: 20-30 min

Vorbereitung: Kopieren Text

Materialien: Flipchartpapier, farbige Stifte

📌 Was ist ein Kompost?

Was kommt alles in den Kompost?

Bilderrätsel

Die Auszubildenden ziehen jeweils ein bis zwei Bilder, die verdeckt auf einem Tisch ausgebreitet sind. Gemeinsam sortieren sie an der Tafel, welche Materialien in den Kompost kommen und welche nicht. Die Zuordnungen werden durch Lehrkraft ggf. korrigiert. Anschließend wird erläutert, warum bestimmte Materialien nicht kompostiert werden dürfen (z.B. kranke Pflanzen, Schadstoffbelastungen, langsame Rotte). Die Auszubildenden notieren sich auf dem Arbeitsblatt die Ergebnisse.

Zeit: 15 min

Vorbereitung: Bilder und Arbeitsblatt kopieren, Bilder ggf. laminieren

Materialien: Magnete oder Pinnadeln

📌 Was kommt in den Kompost?

Kompostieren nach dem Terra-Preta-Prinzip

Vortrag mit Videos und Folien

In einer Präsentation werden die aerobe Kompostierung und die anaerobe Fermentation als mögliche Vorstufe mit Pflanzenkohle erläutert, Kompostsysteme und der geeignete Kompostplatz vorgestellt, Zuschlagstoffe erläutert und auf die Besonderheiten bei der betrieblichen Kompostierung eingegangen. Im Anschluss bearbeiten die Auszubildenden selbstständig zur Vertiefung einige Aufgaben.

Zeit: 20 min + 20 min

Vorbereitung: Kopieren Arbeitsblatt, Download Präsentation und Video, Video in Präsentation einfügen

<https://bodenberufsbildung.com/bildungsmaterialien/> oder <https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geoökologie/forschung/Pflanzenkohle-BBNE/index.html>

Materialien: Computer, Beamer & Lautsprecher bzw. Smartboard

Link: Präsentation „Kompost“ <https://bodenberufsbildung.com/bildungsmaterialien/>

📌 Kompostieren TPP: Vortrag

📌 Kompostieren TPP: Handout

📌 Kompost mit Pflanzenkohle

Welcher Kompost ist für uns geeignet?

Recherche und Konzept

Die Auszubildenden recherchieren in der Schule oder im Betrieb, welche Abfallmengen anfallen, welche Kompostierung und welcher Platz geeignet ist. Sie recherchieren die benötigten Betriebsmittel für die Kompostierung und kalkulieren anfallende Beschaffungskosten und mögliche Einsparpotentiale. Sie erstellen aus ihren Rechercheergebnissen ein Kompostkonzept. Die Recherche kann auf drei Gruppen aufgeteilt werden: Abfallmenge + C/N-Check, Kompostsystem + Kompost selber bauen, Kompostplatz

Zeit: variabel

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien: Computer mit Internetzugang, Telefon

📌 Kompostkonzept

Kompostversuch

Kompostieren mit einem Minikomposter

Die Auszubildenden bauen aus einer Plastikflasche einen Minikomposter und beobachten die Kompostierung. Die Kompostversuche können variiert werden. So kann beispielsweise erforscht werden, ob sich kompostierbare Tüten zersetzen, Bananenschalen, grobe Holzstücke etc.

Zeit: 20 min + variabel

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien: 1,5 Liter PET-Flasche, 1 farbiges A4-Blatt, 1 kleines Stofftuch, Bohrmaschine/Akkuschrauber mit 5-6 mm Bohrer, Cutter-Messer, Gummi, Abfälle für die Kompostierung

📌 Kompostversuch

Bau eines Kammerkomposts

Recherche und Bau

Die Auszubildenden recherchieren im Internet nach einer geeigneten Bauanleitung für einen Kammerkompost aus Paletten. Sie organisieren die benötigten Materialien und Werkzeuge und bauen den Kompost am zuvor ausgewählten Platz. Sie richten darüber hinaus den Kompostplatz ein.

Zeit: variabel

Links: <https://www.urban-growing.net/komposter-selbst-bauen/>

<https://www.kompost.biz/anleitungen/kompostierer-aus-euro-paletten-selber-bauen>

Materialien: Computer mit Internetzugang, Akkuschauber, Stichsäge, Schrauben und entsprechender Bit, Bauholz, z.B. aus Paletten

Aufsetzen eines Komposts

Aufbau eines Komposts

Zunächst werden gemeinsam alle Materialien für die Kompostierung aufbereitet. Der Astschnitt wird mit einem Häcksler zerkleinert. Beachten Sie dabei den Arbeitsschutz. Der Kompost wird schichtweise angelegt (siehe Anleitung). Während der Arbeiten wird das Wissen zur Kompostierung, z.B., optimale Größe und Form des Komposts, C/N Verhältnis, Heißrotte im Gespräch wiederholt und vertieft und praktisch umgesetzt.

Zeit: abhängig von Kompostmengen, ca. 30-45 min

Vorbereitung: Materialien für den Kompost sammeln (insgesamt mindestens 1m³ Masse nötig): Rasenschnitt, Küchenabfälle, Äste. Küchenabfälle können auch in einem Thermokomposter „vorkompostiert“ werden. Kauf von Gesteinsmehl und Pflanzenkohle (siehe Adressen im Anhang).

Materialien: Häcksler, Schutzbrillen, Handschuhe, Schippen

 [Anleitung für Kompostierung nach TPP](#)

Die drei Phasen der Kompostierung

Erstellen eines Diagramms

Die Auszubildenden erschließen sich die Phasen der Kompostierung und die drei Kompostprodukte durch die selbständige Bearbeitung des Arbeitsblatts. Sie erstellen ein Diagramm zu den Phasen der Kompostierung, das anschließend exemplarisch vorgestellt und besprochen wird.

Zeit: 20 min

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien:

 [Die drei Phasen der Kompostierung](#)

Kompost-Check

Messungen, Tests, Protokollierung

Die Auszubildenden erlernen einfache Test, mit denen sie überprüfen, ob die Kompostierung optimal verläuft. Die Tests werden zunächst durch die Lehrkraft einzeln erläutert und jeweils durch die Auszubildenden durchgeführt.



Temperaturmessung



CO₂-Messung



Geruchsprobe



Feuchtigkeit: Faustprobe

Anschließend erläutert die Lehrkraft, was bei einem negativen Verlauf der Kompostierung getan werden kann. Sie stellt dar, welche Probleme auftreten können, welche Ursachen es dafür gibt und welche Abhilfen. Mit den Auszubildenden wird nun abgesprochen, wer wann die Tests ausführt und bei Problemen den Kompost betreut. Die Verantwortlichen werden im Protokoll festgehalten. Es wird ein Termin vereinbart, wann der Kompost gemeinsam umgesetzt wird (nach 2-3 Monaten, abhängig vom Untersuchungsergebnissen, siehe „Kompost-Check“).

Zeit: 20-30 min + variabel

Vorbereitung: Materialien besorgen, Arbeitsblatt kopieren

Materialien: Kompostthermometer, CO₂-Messgerät

 **Kompost-Check**

Kompost umsetzen

Nach 2-3 Monaten kann zum ersten Mal der Kompost umgesetzt werden. Die Auszubildenden werten gemeinsam ihre Tests und ihre Optimierungsversuche aus. Im Anschluss wird der Kompost gemeinsam umgesetzt.

Zeit: 45 min

Materialien: Handschuhe, Schippen, Schubkarre

Anwendung der Komposte

Aufbereitung des fertigen Komposts

Der fertige Kompost wird gesiebt. Nicht verrottetes und grobes Material wird so aussortiert und einem neuen Kompost hinzugefügt. Das Kompostsieb kann selbst gebaut werden. Die Auszubildenden recherchieren im Internet nach einer geeigneten Bauanleitung und organisieren die benötigten Materialien und Werkzeuge und bauen das Sieb.

Zeit: 30 min bzw. variabel

Materialien: Sieb, Schippen, Handschuhe

Die Qualität der Pflanzenkohlekomposte: Tests

Tests zur Qualität

Die Auszubildenden informieren sich über die Qualitätssicherung und überprüfen den Kompost auf seine Qualität mit verschiedenen Tests.

Zeit: 30 min

Vorbereitung: Materialien besorgen, Arbeitsblatt kopieren

Materialien: Regenwurmvermeidungstest: Pflanzenkohlekompost, flaches Gefäß, Standardboden oder zu verwendender Boden, Kompostwürmer (*Eisenia foetida*)

Pflanzentest in Töpfen: Standardboden (LUFA 2.2) oder zu verwendender Boden, Pflanzenkohlekompost, zwei Blumentöpfe, Kressesamen

Pflanzentest im geschlossenen Glas: Standardboden (LUFA 2.2) oder zu verwendender Boden, Pflanzenkohlekompost, zwei luftdichtverschießbare Gläser, Kressesamen

📌 Die Qualitätssicherung von Komposten

📌 Die Qualität der Pflanzenkohlekomposte: Tests

Die Potentiale der Pflanzenkohlekomposte: Forschungsergebnisse

Interpretation und Diskussion von Forschungsergebnissen

Die Auszubildenden interpretieren und diskutieren das Potential von Pflanzkohlekomposten hinsichtlich der Einsparung von Dünger und Torf und des Ertrags.

Zeit: 20 min

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien:

📌 Die Potentiale von Pflanzenkohlekomposten

Gärten und Landwirtschaft mit der Terra-Preta-Technik

Porträts von Projekten und Initiativen

Die Auszubildenden recherchieren in Kleingruppen zu bestehenden Projekten, die mit der Terra-Preta-Technik arbeiten und stellen anschließend die Projekte in Form eines Porträts als Präsentation oder auf einem Plakat dar.

Zeit: 45 min

Materialien:

📌 Gärten und Landwirtschaft mit der Terra-Preta-Technik

Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten: Eigene Versuche

Entwicklung und Umsetzung von eigenen Versuchen

Die Auszubildenden informieren sich über die Einsatzmöglichkeiten der Komposte. Sie entwickeln einen eigenen Pflanzversuch, beschreiben die Fragestellung, den Versuchsaufbau und die zu untersuchenden Parameter. Die Konzepte werden gemeinsam diskutiert und anschließend umgesetzt. Die Auszubildenden erfassen laufend die zu untersuchenden Parameter und dokumentieren die Ergebnisse. Abschließend werten sie die Ergebnisse aus und stellen diese grafisch und schriftlich dar.

Zeit: variabel

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien:

📌 Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten

Exkursionen

Wie wird Pflanzenkohle industriell hergestellt? Wie wendet der urbane Garten die Terra-Preta-Technik an? Welche Erfahrung haben Gärtner*innen mit der Terra Preta gesammelt? Wie wird Pflanzenkohle eingesetzt? Auf einer Exkursion erkunden die Auszubildenden praktische Anwendungen der Pflanzenkohle und Terra-Preta-Technik. Sie dokumentieren ihren Besuch und diskutieren die Anwendungen.

Zeit: variabel

Vorbereitung: Exkursionsziel recherchieren, Termin zur Besichtigung vereinbaren

Reflektion

Pflanzenkohle: Pro und Contra

Mündliche oder schriftliche Diskussion

Die Auszubildenden diskutieren, was ihrer Meinung nach für und gegen die Herstellung und Verwendung von Pflanzenkohle spricht. Sie beziehen die drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökologisch, sozial und ökonomisch) in ihre Argumentation mit ein. Zur Vorbereitung der Diskussion sammeln sie ihre Argumente auf einem Arbeitsblatt. Die Diskussion kann im Klassenverband/ der Gruppe oder in schriftlicher Form erfolgen.

Vorbereitung: Arbeitsblatt kopieren

Materialien: Arbeitsblatt

Zeit: 20 min

📌 Pflanzenkohle: Pro und Contra

Pflanzenkohle

Flyer oder andere kreative Beiträge

Die Auszubildenden reflektieren und fassen wichtigste Inhalte, Ergebnisse, Pro und Contra Argumente aus dem Workshops bzw. Unterricht zusammen. Sie arbeiten in Kleingruppen von 3 - 4 Personen. Sie erstellen entweder einen Flyer, der Schulen und/ oder Betriebe über die Kompostierung mit Pflanzenkohle informiert und für diese Form der Kompostierung wirbt.

Alternativ können sie ihr Wissen und ihre Reflektion zum Thema Pflanzenkohle auch in einem Beitrag für einen Blog, eine Zeitung, eine Nachrichtensendung zusammenfassen. Die Formate können divers sein, z.B. Interviews, Kommentare, Reportagen etc. und verschiedene Medien verwendet werden, wie Flipchart, Grafiken, (Whiteboard, PC).

Materialien: Computer, Drucker, Whiteboard, Kamera, Mikrofon (abhängig vom Format)

Zeit: 45 min

Bewertung & Tests

Ergebnisse aus dem Unterricht

Die Auszubildenden erstellen im Rahmen des Unterrichts zur Pflanzenkohle Plakate, Mind-maps, präsentieren mündlich Ergebnisse, erstellen ein Kompostkonzept, bauen einen Kompost, untersuchen und dokumentieren den Kompostverlauf, entwickeln eigene Pflanzversuche mit den Komposten oder diskutieren kritisch den Einsatz von Pflanzenkohle. Sowohl die mündlichen als auch die schriftlichen Ergebnisse aus den einzelnen Unterrichtsmodulen können in eine Bewertung einbezogen werden.

Test

Die Auszubildenden überprüfen ihr erworbenes Wissen zum Thema in einem Multiple Choice Test. Der Test kann auch als Quiz im Klassenverband durchgeführt werden.

Vorbereitung: Test kopieren

Materialien: Test und Lösungsblätter

Zeit: 20 min

 Test

Exemplarische Ablaufpläne

Die Module ermöglicht verschiedene Schwerpunktsetzungen, je nach Zielgruppe, Interesse und zur Verfügung stehender Zeit. Im Folgenden finden Sie Vorschläge für einen Projekttag zum Thema Pflanzenkohle und für ein 6-monatiges Unterrichtsprojekt „Kompost mit Pflanzenkohle“.

Projekttag „Pflanzenkohle“

Für den Projekttag benötigen Sie insgesamt 180 min (3 x 90 min). Der Tag eröffnet eine vertiefte Beschäftigung mit dem Thema Pflanzenkohle und ihrer Anwendung im Garten und in der Landwirtschaft und kombiniert verschiedene Methoden, wie Spiele, Vorträge, Bau, Versuche und Diskussion. Der Projekttag kann mit einer Exkursion verbunden werden.

Zeit/ Thema	Modul	Material
Einstieg		
10-15 min	Bamboleo: Ein Spiel zu den Planetaren Grenzen	
Pflanzenkohle		
30 min	Pflanzenkohle: Klimaschutz, Bodenverbesserung und nachhaltige Ressourcennutzung mit der Terra-Preta-Technologie Vortrag	<ul style="list-style-type: none"> 📌 Pflanzenkohle: Vortrag 📌 Pflanzenkohle: Vortrag: Handout
20 min	Pflanzenkohle selbst herstellen: Bau eines einfachen Mikrovergasers oder Versuche zur Herstellung von Pflanzenkohle	<ul style="list-style-type: none"> 📌 Bauanleitung einfacher Pyrolyseofen 📌 Versuchsanleitung
Pause mit Pyrolyse und Kaffee & Tee kochen		
20 min	Die Qualität von Pflanzenkohle I: Einfache Tests + Fortsetzung Vortrag Pflanzenkohle	<ul style="list-style-type: none"> 📌 Die Qualität der Pflanzenkohle: Einfache Tests 📌 Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle
Die Anwendung von Pflanzenkohle in Gärten und Landwirtschaft		
20 min	Kompostversuch: Kompostieren mit einem Minikomposter *	📌 Kompostversuch
60 min	Gärten und Landwirtschaft mit der Terra-Preta-Technik: Porträts von Projekten und Initiativen	📌 Gärten und Landwirtschaft mit TPT
Reflektion		
20 min	Pflanzenkohle: Pro und Contra	📌 Pflanzenkohle: Pro und Contra
20 min	Test	📌 Test

*Die Beobachtungen und die Auswertung des Kompostversuches sollten regelmäßig in den folgenden Unterricht eingebunden werden.

Unterrichtsprojekt „Kompost nach der Terra-Preta-Technik“

Der hier vorgestellte Ablaufplan sieht den Aufbau eines Kompostes und die Stoffkreislaufschließung an der Schule bzw. Bildungseinrichtung vor und verteilt sich durch die Dauer der Kompostierung über ca. 6 Monate.

1. Block á 90 min		
Einstieg		
15 min	Einstieg: Was fällt Ihnen zum Thema Kompost ein?	
Kompost nach dem Terra Preta Prinzip		
20 – 30 min	Was ist ein Kompost?	👉 Was ist ein Kompost?
15 min	Was kommt alles in den Kompost?	👉 Was kommt in den Kompost? 👉 Bilder
20 min	Kompost nach dem Terra-Preta-Prinzip	👉 Präsentation: Kompost 👉 Kompost: Vortrag 👉 Kompost: Handout
20 min	Kompost nach dem Terra-Preta-Prinzip	👉 Kompost: AB
2. Block á 90 min		
Kompostkonzept		
90 min	Welcher Kompost ist für uns geeignet?	👉 Kompostkonzept
3. Block á 120 min		
Aufbau eines Komposts		
60 min	Aufbau eines Kompostplatzes	
parallel	Aufsetzen eines Komposts	👉 Aufsetzen eines Komposts
Was passiert bei der Kompostierung?		
30 min	Kompost-Check	👉 Kompost-Check
20 min	Phasen der Kompostierung	👉 Die drei Phasen der Kompostierung
4. Block á 45 min (nach 2-3 Monaten)		
Umsetzen Kompost		
45 min	Auswertung Kompost-Check und Umsetzen Kompost	
5. Block á 90 min (nach 2-3 Monaten)		
Anwendung der Pflanzenkohlekomposte		
20 min	Aufbereitung des fertigen Komposts	
20 min	Die Qualität der Pflanzenkohlekomposte	👉 Die Qualitätssicherung von Komposten 👉 Die Qualität der Pflanzenkohlekomposte: Tests
20 min	Die Potentiale der Pflanzenkohlekomposte: Forschungsergebnisse	👉 Die Potentiale der Pflanzenkohlekomposte: Forschungsergebnisse
30 min	Eigene Versuche	👉 Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten
6. Block á 45 min (Abstand abhängig von Ergebnissen zu Pflanzversuchen)		
45 min	Vorstellung der Versuchsergebnisse	
7. Block á 90 min (Abstand abhängig von Ergebnissen zu Pflanzversuchen)		
Reflektion & Diskussion		
90 min	Flyer oder andere kreative Beiträge	

5 Materialien für den Unterricht



Der Stoffkreislauf in Ökosystemen

Vor ca. 4.600.000.000 Jahren entstand die Erde. Was in der belebten und unbelebten Natur auf der Erde geschieht ist ein permanentes Up- und Recycling. Mit Hilfe der Sonnenenergie wird vorhandenes Material abgebaut, umgewandelt und wieder genutzt. Müll gibt es im Ökokreislauf nicht und auch keine Belastung von Böden, Luft, Wasser. Im Herbst fallende Blätter, Ausscheidungen von Lebewesen und ihre Kadaver dienen anderen Lebewesen als Existenzgrundlage. So funktioniert unser Ökosystem in Stoffkreisläufen. In einem Stoffkreislauf werden zyklisch und sich immer wiederholend organische und anorganische Stoffe umgewandelt. Die bekanntesten drei Stoffkreisläufe des Ökosystems sind der Kohlenstoffzyklus, der Phosphorzyklus und der Stickstoffzyklus. In einem Stoffkreislauf wirken einzelne Organismen zusammen. Es lassen sich drei am Stoffkreislauf beteiligte Organismengruppen unterscheiden, die Erzeuger (Produzenten), die Verbraucher (Konsumenten) und die Zersetzer (Destruenten).

Die Erzeuger

Sie sind die Basis jedes Ökosystems, da sie enorme Mengen an Biomasse produzieren. Zu den Erzeugern in einem Ökosystem zählen Pflanzen und das Phytoplankton im Meer. Wesentliches Merkmal beider ist die Fähigkeit zur Selbsternährung (Autotrophie: auto = selbst, trophe= Nahrung). Allein Sonnenlicht und anorganische Nährsalze genügen den Erzeugern für ihr Wachstum, ohne dabei auf weitere Nahrung angewiesen zu sein. Die Pflanzen und das Phytoplankton sind die Nahrungsgrundlage für die Verbraucher. Sie bilden die kleinste Einheit der Nahrungskette.

Die Verbraucher

Sie ernähren sich, im Gegensatz zu den autotrophen Erzeugern, von anderen Organismen. Deswegen werden sie auch Heterotrophe genannt. Die Verbraucher lassen sich in drei Gruppen unterscheiden:

1. Pflanzenfresser (Primärkonsumenten), die sich von Pflanzen ernähren, z.B. Raupen;
2. Fleischfresser (Sekundärkonsumenten), die sich von Pflanzenfressern ernähren, z.B. Vogel;
3. höhere Fleischfresser (Tertiärkonsumenten), die sich von anderen Fleischfressern ernähren, z.B. Fuchs.

Die Zersetzer

Diese zersetzen das tote, organische Material der Erzeuger, beispielsweise Blätter, oder der Verbraucher, wie Kadaver und Ausscheidungen zu anorganischen Nährsalzen. Zu den Destruenten zählen Bakterien, Würmer und Pilze.

Die Erzeuger, also Pflanzen und Phytoplankton entziehen der Umgebung laufend Nährstoffe, die anorganischen Nährsalze, um zu wachsen. Damit es aber auf Dauer nicht zu einem Nährstoffmangel kommt, müssen die von den Erzeugern und Verbrauchern aufgenommenen anorganischen Nährstoffe wieder zurück in ihren verwertbaren Ausgangszustand. Diese Aufgabe kommt den Destruenten, wie Bakterien, Würmern und Pilzen zu. Sie wandeln totes organisches Material in anorganische Nährsalze um. Damit stehen den Erzeugern wieder anorganische Nährsalze für ihr Wachstum zu Verfügung. Der Vorgang wird auch Remineralisierung genannt.

Aufgaben:

1. Diskutieren und besprechen Sie in der Gruppe, welche Rolle der Mensch im Stoffkreislauf spielt.
2. Zeichnen Sie den Stoffkreislauf im Ökosystem.
3. Erläutern Sie Ihren Mitschüler*innen die Funktionsweise des Stoffkreislaufs in 5 Minuten, nennen Sie Beispiele für die am Stoffkreislauf beteiligten Organismenarten und beschreiben Sie welche Rolle der Mensch im Stoffkreislauf spielt.

Der Kohlenstoffkreislauf

Kohlenstoff ist in festen Stoffen, wie in Graphit oder in Diamanten enthalten, aber auch Bestandteil der Atmosphäre als Kohlendioxid mit einem geringen Anteil von 0,04 Prozent. Auf der Erde wird Kohlenstoff in einem Kreislauf ständig aufgebaut, abgebaut und umgebaut. Unter natürlichen Bedingungen ist der Kohlenstoffkreislauf geschlossen, und die Gewinn-Verlust-Bilanz ausgeglichen. Der Kohlenstoffzyklus ist neben dem Phosphorzyklus und der Stickstoffzyklus der bekannteste Stoffkreislauf des Ökosystems. In einem Stoffkreislauf wirken einzelne Organismen zusammen. Es lassen sich drei am Stoffkreislauf beteiligte Organismenarten unterscheiden, die Erzeuger (Produzenten), die Verbraucher (Konsumenten) und die Zersetzer (Destruenten).

Der Kohlenstoffkreislauf kann in vier Teilschritten unterschieden werden: die Photosynthese, die Ernährung und Verdauung in den Pflanzen, die Zellatmung der Verbraucher und die Mineralisierung. Wie der Kohlenstoffkreislauf funktioniert wird im Folgenden erklärt.

Die Photosynthese

Die Pflanzen, die Produzenten von Biomasse, nehmen Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf und wandeln es mithilfe von Sonnenlicht und Chlorophyll in mehreren Schritten in energiereiche Glukose (Traubenzucker) und Sauerstoff um.

In einer Formel ausgedrückt: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Licht und Chlorophyll} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$

Die Ernährung und Verdauung in den Pflanzen

Die während der Photosynthese gebildete Glukose ist die Grundlage für weitere organische Stoffe in den Pflanzenzellen. Sie wird durch biochemische Reaktionen in andere Kohlenhydrate, Fette und in Eiweiße umgewandelt.

Die Zellatmung bei den Verbrauchern

Lebewesen gewinnen ihre Energie durch die Verbrennung energiereicher Stoffe. So sind die Pflanzen Nahrungsgrundlage für die Verbraucher im Ökosystem. Sie werden also von Tieren und Menschen gegessen. Während der Verdauung werden die Pflanzen in verschiedene organische Verbindungen durch Zellatmung zersetzt. Die Glukose aus den Pflanzen wird zusammen mit Sauerstoff in Kohlendioxid und Wasser umgewandelt und dabei gewinnen die Zellen Energie in Form von ATP. Das bei der Zellatmung entstandene CO_2 wird von den Tieren und Menschen ausgeatmet und so gelangt der Kohlenstoff zurück in den Kreislauf. Die Zellatmung ist also genau das Gegenteil der Photosynthese.

In einer Formel ausgedrückt: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 = 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Energie ATP}$

Mineralisierung durch Destruenten

Tiere und Menschen scheiden die nicht verwertbaren organischen Verbindungen wieder aus. Diese Fäkalien und abgestorbene Pflanzen und Kadaver sind wiederum für Pilze, Würmer und Bakterien Nahrung. Diese sogenannten Zersetzer im Ökosystem nehmen die durch Tiere und Menschen nicht verwertbaren organischen Verbindungen, um Energie zu gewinnen. Sie bauen die organischen Verbindungen vollständig zu anorganischen Verbindungen, wie Kohlenstoffdioxid, Ammoniak oder Wasser ab.

Kohlenstoffsinken

Kohlenstoff wird in Wäldern, Gewässern und im Boden gespeichert. Das sind dynamische Speicher, die beispielsweise durch Aufforstung oder durch die Einbringung von Pflanzenkohlekompost in den Boden vergrößert werden kann. Neben der Vermeidung von CO₂-Emissionen ist das eine Strategie für den Klimaschutz.

Der Einfluss des Menschen auf den Kohlenstoffkreislauf

In den Kohlenstoffkreislauf haben wir Menschen seit der Industrialisierung stark eingegriffen. Viel Kohlenstoff ist in Erdöl, Erdgas und Kohle gebunden. Während der Industrialisierung wurden diese Stoffe als Energielieferanten entdeckt und im großen Maßstab gefördert und weiterverarbeitet. Bei der **Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle** wird der Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid wieder freigesetzt.

Dies gilt unter Wissenschaftlern und Forschern als Grund dafür, dass die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre der Erde zunehmend steigt. Die Zunahme der Kohlenstoffkonzentration in der Atmosphäre führt zu Erhöhung der durchschnittlichen globalen Temperatur und hat einen Klimawandel zur Folge. Laut eines Berichts des UN-Umweltprogramms bleiben der Menschheit noch 12 Jahre in denen die globalen CO₂-Emissionen um 20 Prozent sinken müssen, damit wir die Erderwärmung auf nur 2 Grad beschränken und eine Klimakatastrophe verhindern.

Aufgaben:

1. Diskutieren und besprechen Sie folgende Fragen in der Gruppe: Wodurch gerät der Kohlenstoffkreislauf aus dem Gleichgewicht? Welche Maßnahmen fallen Ihnen ein, um die globalen Emissionen sinken zu lassen?
2. Zeichnen Sie den Kohlenstoffkreislauf.
3. Erläutern Sie ihren Mitschüler*innen in 5 Minuten die Funktionsweise des Kohlenstoffkreislaufs und welche Rolle der Mensch im Kohlenstoffkreislauf spielt und welche Auswirkungen auf das Klima damit entstehen.

Der Stickstoffkreislauf

Überblick über die verwendeten chemischen Abkürzungen

N:	Elementarer Stickstoff
N ₂ :	„natürliche“ Form des Stickstoffs
N ₂ O:	Distickstoffmonoxid
NH ₃ :	Ammoniak
NH ₄ ⁺ :	Ammonium
NO ₂ ⁻ :	Nitrit
NO ₃ ⁻ :	Nitrat

Stickstoff ist in jedem lebenden Wesen enthalten, ob in Bakterien, Pflanzen, Pilzen oder Tieren, denn er ist ein wichtiger Baustoff sowohl in Proteinen, Aminosäuren und der DNA bzw. RNA. Auch die Atmosphäre besteht aus ca. 78 % Stickstoff (N₂). Auf der Erde wird Stickstoff in einem Kreislauf ständig aufgebaut, abgebaut und umgebaut. Unter natürlichen Bedingungen ist der Stickstoffkreislauf geschlossen, und die Gewinn-Verlust-Bilanz ausgeglichen. Neben dem Stickstoffzyklus gibt es noch Kohlenstoffzyklus und den Phosphorzyklus im Ökosystem.

In einem Stoffkreislauf wirken einzelne Organismen zusammen. Es lassen sich drei am Stoffkreislauf beteiligte Organismenarten unterscheiden, die Erzeuger (Produzenten), die Verbraucher (Konsumenten) und die Zersetzer (Destruenten). Pflanzen sind die Erzeuger, Tiere die Verbraucher und Pilze sowie abbauende Mikroorganismen die Zersetzer. Der mit den Lebewesen verknüpfte Kreislauf des Stickstoffs lässt sich in vier Abschnitte unterteilen: Fixierung des Luftstickstoffs, Assimilation von Stickstoff in Pflanzen, Umwandlung von organischen in anorganische Stickstoffverbindungen.

Fixierung des Luftstickstoffs

Die Pflanzen als Erzeuger können den Luftstickstoff nicht direkt nutzen, denn die starke Bindung im Stickstoffmolekül können sie nicht aufbrechen. Pflanzen können Stickstoff nur in Form von gelösten Mineralstoffen aufnehmen.

Da kommen die Destruenten bzw. Zersetzer des Ökosystems ins Spiel. Die Pilze und Mikroorganismen sind für die Fäulnis und Verwesung abgestorbener Lebewesen zuständig, d.h. sie zersetzen abgestorbene Pflanzen und Tiere. In dem Prozess der Zersetzung entstehen im Boden Ammoniak (NH₃) und Ammonium-Ionen (NH₄⁺). Der Prozess wird auch als Mineralisierung bezeichnet.

Assimilation von Stickstoff in Pflanzen

Ammonium (NH_4^+) wird durch Bakterien in andere stickstoffhaltige Verbindungen wie Nitrite (NO_2^-) und Nitrate (NO_3^-) umgewandelt. Das wird als Nitrifikation bezeichnet. Die Nitrate stehen dann den Pflanzen - im Boden als Nährstoffe in Wasser gelöst - wieder zur Verfügung. Viele Pflanzen können sowohl Ammonium als auch Nitrat aufnehmen. Die Stickstoffhaltigen Nährsalze sind mengenmäßig gesehen der wichtigste Pflanzennährstoff.

Umwandlung von organischen in anorganische Stickstoffverbindungen

Ein Teil der Nitrate wird von anderen Bakterien im Boden über Stickoxide wieder bis zu molekularem Stickstoff (N_2) umgewandelt, der in die Luft zurückkehrt.

Eine weitere Rolle im Stickstoffkreislauf spielen Luftstickstoffbindende Bakterien und Blaualgen. Sie wandeln den Luftstickstoff ebenfalls in Ammoniak und Ammonium-Ionen um, so dass die Pflanzen, die in Symbiose mit ihnen leben, z. B. Leguminosen wie Lupinen und Klee, diese Stoffe als Nährstoffe nutzen.

Im Stickstoffkreislauf spielen also Mikroorganismen eine entscheidende Rolle. Von den Pflanzen (**Produzenten**) gelangt der Stickstoff in die Verbraucher (**Konsumenten**), indem sich z. B. die Tiere von den Pflanzen ernähren. Sterben die Verbraucher, erfolgt abermals die Bildung von Ammonium und Nitraten durch die Mikroorganismen (**Destruenten**). Diese stehen den Pflanzen wiederum zur Verfügung. Der Kreislauf beginnt von Neuem.

Der Einfluss des Menschen auf den Stickstoffkreislauf

In den 1950er Jahren begann in der DDR und der Bundesrepublik Deutschland ein Wandel der landwirtschaftlichen Produktion hin zu einer hochtechnisierten, industriellen Produktionsweise. Eine landwirtschaftliche Massenproduktion in Großbetrieben entstand, Arbeitsplätze und Höfe schwanden, die Erträge stiegen, die körperliche Arbeit wurde durch den Einsatz von Maschinen erleichtert.

Die industrialisierte Landwirtschaft veränderte dabei auch den natürlichen Stickstoffkreislauf durch den Einsatz großer Mengen an industriell produzierten Dünger und die Ausbringung von Gülle, beides mit dem Ziel die Erträge zu steigern.

Ein großer Teil des in der Landwirtschaft eingesetzten Stickstoffs entweicht jedoch ungenutzt in die Atmosphäre oder wird in Gewässer ausgewaschen. Das hat weitreichende ökologischen Konsequenzen. Die ungebremste Stickstofffreisetzung in die Atmosphäre und Verlagerung in das Grundwasser zählt neben dem Klimawandel und dem Verlust biologischer Vielfalt zu den weltweiten Umweltproblemen, bei denen die Menschheit schon heute die Belastbarkeit der Erde deutlich überschritten hat. Sichtbar wird das unter anderem an einer

gesundheitsgefährdenden Belastung des Trinkwassers, gekippter Gewässer voller Algen und Cyanobakterien, dem Anstieg der Treibhausgasemissionen durch Lachgas und damit einer Verstärkung des Klimawandels.

Aufgaben:

1. Diskutieren und besprechen Sie folgende Fragen in der Gruppe: Wodurch gerät der Stickstoffkreislauf aus dem Gleichgewicht? Welche Maßnahmen gibt es, um die Stickstoffemissionen sinken zu lassen?
2. Zeichnen Sie den Stickstoffkreislauf.
3. Erläutern Sie ihren Mitschüler*innen schrittweise die Funktionsweise des Stickstoffkreislaufs in 5 Minuten und welche Rolle der Mensch im Kreislauf spielt und welche Auswirkungen damit entstehen.

Linearwirtschaft und Kreislaufwirtschaft

„Wir leben herkömmlich in einer Linearwirtschaft, in der Rohstoffe genutzt, Produkte gebraucht bzw. verbraucht und am Ende Abfälle entsorgt werden.“⁹

Vor ca. 4.600.000.000 Jahren entstand die Erde. Was in der belebten und unbelebten Natur auf der Erde geschieht ist ein permanentes Up- und Recycling. Mit Hilfe der Sonnenenergie wird vorhandenes Material abgebaut, umgewandelt und wieder genutzt. Müll gibt es im Ökokreislauf nicht und auch keine Belastung von Böden, Luft, Wasser. Im Herbst fallende Blätter, Ausscheidungen von Lebewesen und ihre Kadaver dienen anderen Lebewesen als Existenzgrundlage. So funktioniert unser Ökosystem in Stoffkreisläufen. In einem Stoffkreislauf werden zyklisch und sich immer wiederholend organische und anorganische Stoffe umgewandelt. Die bekanntesten drei Stoffkreisläufe des Ökosystems sind der Kohlenstoffzyklus, der Phosphorzyklus und der Stickstoffzyklus.

Linearwirtschaft

Die seit ca. 200 Jahren existierende Linearwirtschaft hingegen funktioniert wie eine Einbahnstraße. Es werden natürliche Rohstoffe entnommen und anschließend mit hohem Energieaufwand und Arbeitsleistungen zu Produkten umgewandelt. Der Handel kauft die Produkte vom Produzenten und verkauft sie weiter an die Verbraucher. Wenn die Verbraucher das Produkt nicht mehr benötigen oder die Produkte verbraucht sind, werden die Produkte oder ihre Reste als Müll auf der Deponie entsorgt. Demzufolge wird ein Großteil der eingesetzten Rohstoffe nach der jeweiligen Nutzungsphase eines Produktes dem Wirtschaftskreislauf entzogen. Diese Form der auf Wachstum basierenden Wirtschaft wird Linearwirtschaft genannt.

Kreislaufwirtschaft

Das Wirtschaften in Kreisläufen verfolgt das Ziel, die eingesetzten Rohstoffe eines Produktes nach der Nutzung wieder vollständig in den Produktionsprozess zurückzuführen. Viele genutzte Ressourcen sind endlich, so zum Beispiel Metalle wie Kupfer, oder fossile Energierohstoffe wie Erdöl. Diese nicht erneuerbaren Quellen werden in Jahrzehnten oder Jahrhunderten aufgebraucht sein. Neben der Endlichkeit der Ressourcen stoßen die Abfall- und Emissionsmengen und die Verschmutzungen, die durch die Ressourcengewinnung und -verarbeitung für industrielle Prozesse entstehen, vielfach an die Belastungsgrenzen des Planeten und gefährden unsere Lebensgrundlage. Aus diesen zwei Problemen leitet sich das Prinzip

⁹<https://www.umweltakademie-fresenius.de/unternehmen/aktuelles-rund-um-die-umweltakademie-fresenius/meldungen-detail/von-der-linearwirtschaft-zur-kreislaufwirtschaft/>, abgerufen 27.10.2017

der Kreislaufwirtschaft ab. Diese nimmt den Stoffkreislauf der Natur zum Vorbild und versucht eine stufenförmige (kaskadische) Nutzungen von Rohstoffen zu erreichen, ohne Abfälle und Emissionen und Umweltverschmutzungen.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden in den letzten zwei Jahrzehnten Rahmenbedingungen für die effizientere Nutzung von Rohstoffen, deren Recycling und zur Abfallverwertung und -vermeidung geschaffen, wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz von 2012.¹⁰ Die Verwertungsrate der meisten Abfälle ist hoch. Sie lag im Jahr 2013 bei 79 Prozent. Das heißt jedoch nicht, dass damit das Müllaufkommen gesunken ist. Ganz im Gegenteil, es ist gestiegen.

Die Abfälle werden entweder zur Energieerzeugung verbrannt, recycelt, kompostiert, wiederverwendet oder auf Deponien entsorgt. Für viele Materialien ist das Recycling und die Wiederverwendung mittlerweile der Normalfall. So wurden 2015 Glas zu 100 Prozent wiederverwertet. Doch nicht nur in den Haushalten auch in der industriellen Produktion wird recycelt. Von den 42,6 Millionen Tonnen Stahl, die 2013 in Deutschland hergestellt wurden, waren 45,5 Prozent aus recyceltem Stahl.¹¹ Jedoch nicht alle Produkte lassen sich gut recyceln. Für Produkte mit vielen Verbundstoffen, beispielsweise Handys, ist der Aufwand nicht wirtschaftlich, da die Rohstoffpreise niedriger sind als der Arbeitsaufwand. Hier gilt es ein neues Design und neue Verfahren zur Aufbereitung zu entwickeln.

Aufgaben:

1. Diskutieren und besprechen Sie folgende Fragen in der Gruppe:
Welche Produkte kennen Sie, die in einer Kreislaufwirtschaft bewirtschaftet werden? Kennen Sie Produkte, die nach dem Prinzip der Linearwirtschaft hergestellt und entsorgt werden? Beschreiben Sie jeweils ein Beispiel aus dem Berufsleben oder Alltag.
Welche Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcen hat die jeweilige Wirtschaftsweise? Überlegen Sie gemeinsam, welche Argumente aus ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Sicht für oder gegen die Kreislaufwirtschaft und Linearwirtschaft sprechen.
2. Stellen Sie beide Wirtschaftssysteme zeichnerisch dar.
3. Erläutern Sie ihren Mitschüler*innen eure Darstellung in 5 Minuten. Beschreiben Sie die Funktionsweise der Linear- und Kreislaufwirtschaft, nennen Sie Produkte und stellen Sie jeweils die Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcen dar.

¹⁰ <http://www.gesetze-im-internet.de/krwg/index.html>, aufgerufen 27.10.2017

¹¹ UBA (2017): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016, S. 42

Pflanzenkohle:

Klimaschutz, Bodenverbesserung und nachhaltige Ressourcennutzung mit der Terra-Preta-Technologie

1. Folie

Unser heutiges Thema ist die Pflanzenkohle und wie mit Pflanzenkohle Klimaschutz, Verbesserung der Bodenqualität und nachhaltige Ressourcennutzung umgesetzt werden kann. Dazu beschäftigen wir uns mit den Fragen: Was ist Pflanzenkohle? Welche Eigenschaften hat sie und wie kann sie verwendet werden?

2. Folie: Video „Die Geschichte der Terra Preta“

3. Folie

Die Herstellung und die Anwendung von Pflanzenkohle ist eine sehr alte Kulturtechnik. Wiederentdeckt wurde sie im Zuge von archäologischen und anthropologischen Forschungen im Amazonasbecken vor knapp drei Jahrzehnten. Bei den Grabungen wurde die Terra Preta de indio (portugiesisch für „schwarze Erde“) gefunden, deren Schlüsselmerkmal die Pflanzenkohle ist.

Die Terra Preta de indio ist ein sehr nährstoffreicher schwarzer Boden, der neben den ansonsten gelben und wenig fruchtbaren, nährstoffarmen Verwitterungsböden, auch »Ferralsole« genannt, am Ufer des Amazonas gefunden wurde. Beide Böden - die Ferralsole und den Terra Preta de indio Boden – sehen sie in der ersten Abbildung im Vergleich.

Die Funde lassen den Schluss zu, dass die fruchtbare Erde menschengemacht ist und durch Kompostierung entstand. Die Fundorte verweisen zudem auf eine dichte Besiedlung und Bewirtschaftung durch Hochkulturen der Ureinwohner, die das Recycling von organischen Abfällen in einer Kreislaufwirtschaft betrieben.

4. Folie

Erste Hinweise auf die Terra Preta in Europa lieferten bereits die Beschreibungen des Geistlichen Gaspar de Carvajal, ein Begleiter Francisco Orellanas, die als erste Europäer den Amazonas 1541 bis 1542 von Westen nach Osten befuhren. Carvajal beschrieb fruchtbares Land, Waldgärten und große Städte der Ureinwohner*innen am Amazonas.

„An Land, ungefähr in 6 Meilen Distanz vom Fluss, konnte man große, gleißend weiße Städte sehen. Das Land ist so gut und fruchtbar und normal wie es in unserem Spanien erscheint“

(Taylor 2010). Lange wurden diese Beschreibungen als Flunkereien und Übertreibungen abgetan, nicht zuletzt, weil Carvajal auch von der Begegnung mit bewaffneten Amazonen schrieb. Doch mit den jüngsten, zuvor erläuterten Forschungen wurde seine Aussagen rehabilitiert.

Vom deutschen Jesuitenmissionar Johann Phillip Bettendorf ist die früheste Verwendung des Begriffs Terra Preta in Europa im Jahr 1670 bekannt. Doch die Terra Preta ist viel älter als die ersten europäische Kolonialisatoren davon Zeugnis gaben. Mit der Radiokarbonmethode wurde die schwarze Erde des Amazonas untersucht und es wurde herausgefunden, dass die älteste Erde bereits 8.000 Jahre alt ist. (Die Radiokarbonmethode ist ein Verfahren, um das Alter eines Stoffes mit Hilfe des Zerfalls von Radiocarbon (^{14}C) zu bestimmen.)

5. Folie

Im Video wurde erwähnt, woraus die Terra Preta de Indio besteht. Können Sie die Bestandteile nennen?

Die Terra Preta ist ein anthropogener bzw. von Menschen gemachter Boden, der aus einer Mischung von Holz- bzw. Pflanzenkohle und organischer Materialien entstand, dazu gehörten u. a. menschliche Fäkalien, Dung, pflanzliche Rückstände sowie Tonscherben und gelegentlich auch Knochen sowie Fischgräten.

Die Holzkohle und der hohe Gehalt an organischer Substanz gibt der Erde ihre charakteristische dunkle Farbe. Aufgrund der Farbe wird sie Terra Preta genannt. Das entstammt dem Portugiesischen und heißt übersetzt „schwarze Erde“. Terra-Preta-Böden sind in einem jahrhundertelangen Prozess entstanden. Die Kompostierung und Fermentierung von Abfällen zusammen mit Holz- bzw. Pflanzenkohle führte zu einer bis heute beeindruckenden Fruchtbarkeit des Bodens.

6. Folie

Warum sollten Ressourcen nachhaltig genutzt werden? Welche Gründe sprechen Ihrer Meinung dafür?

Die Antwort auf die Frage nach der nachhaltigen Ressourcennutzung lässt sich unter anderem in dieser Abbildung finden, die die ökologischen Belastungsgrenzen des Planeten darstellt. Das Konzept der „**Planetaren Grenzen**“ wurde von einem Wissenschaftlerteam unter Leitung von Johan Rockström vom Stockholmer Resilience Centre entwickelt und 2009 publiziert. Die Autor*innen haben für die Erde neun grundsätzliche ökologische Dimensionen mit ihren globalen Grenzwerten definiert. Die neun ökologischen Dimensionen sind: der Klimawandel, die Versauerung der Ozeane, der stratosphärische Ozonabbau (bekannt unter dem Namen Ozonloch), die biogeochemischen Kreisläufe (Phosphor- und Stickstoffkreislauf), der Süßwasserverbrauch, die Landnutzung, der Verlust der Artenvielfalt (hier als Artensterben benannt) sowie die Belastung durch Chemikalien und die Partikelverschmutzung der Atmosphäre (atmosphärische Aerosole).

Wird eine der Grenzen überschritten, besteht die Gefahr unumkehrbarer und plötzlicher Umweltveränderungen, so dass für uns Menschen ein Leben auf der Erde eingeschränkt wird. Sieben der ökologischen Dimensionen konnten die Autoren quantifizieren.

Vier haben bereits die Belastungsgrenze überschritten:

- **der Klimawandel**, d.h. die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre vor allem durch das Verbrennen fossiler Energieträger, wie Benzin und Diesel
- **das Artensterben**, d.h. die Aussterberate (Anzahl Arten pro Million Arten pro Jahr)
- **der Stickstoffkreislauf**, d.h. der Eintrag von industriell hergestelltem Stickstoff in die Atmosphäre durch Düngen, Massentierhaltung und Verkehr (Millionen Tonnen/Jahr)
- **die Landnutzung**, d.h. die Landfläche umgewandelt in Ackerland (%) und Degradation von Böden durch intensive landwirtschaftliche Nutzung.

Was aber hat die Überschreitung von ökologischen Belastungsgrenzen mit der Ressourcennutzung zu tun? Verschiedene Studien untersuchten die Umwelt-Fußabdrücke (zur näheren Erläuterung siehe Definition unten) von Schweden, der Schweiz, und der wichtigsten Volkswirtschaften der Erde, gestützt auf die Belastbarkeitsgrenzen des Planeten. Als gemeinsames Resultat zeichnet sich ab, dass der Ressourcenkonsum der wohlhabenden Länder – hochgerechnet auf die Weltbevölkerung – nicht vereinbar ist mit mehreren Belastbarkeitsgrenzen des Planeten.

Der Bereich der Landwirtschaft und Ernährung ist zudem global für die Überschreitung von vier der insgesamt neun betrachteten Belastungsgrenzen verantwortlich. Ursächlich sind dafür die übermäßigen Nährstoffeinträge durch Gülle und Dünger in terrestrische und aquatische Ökosysteme (Stickstoff- und Phosphorkreislauf). Dazu zählen ebenfalls die Brandrodung von Wäldern und die Trockenlegung von Mooren für die landwirtschaftliche Nutzung, die Zerstörung dieser Lebensräume führt zudem zum Verlust von Arten.

Kennen Sie konkrete Beispiele aus der Landwirtschaft, in der die genannten ökologischen Belastungsgrenzen überschritten werden?

Beispiele wären die Eutrophierung von Gewässern durch den Eintrag von Phosphor und Nitraten aus Düngemitteln und Gülle aus der Massentierhaltung, Methanausstoß durch die Rinderhaltung, (Vgl.: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2017:105ff), Insektensterben durch intensiven Einsatz von Pestiziden (Halmann et al. 2017)

7. Folie

Die Bundesrepublik Deutschland bzw. die Bundesregierung hat sich dazu verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80-95% zu reduzieren. Die gegenwärtigen Pro-Kopf-

Emissionen liegen in Deutschland bei 8,43 Tonnen CO₂ im Jahr. Sie müssten dem entsprechend auf maximal 2 Tonnen im Jahr sinken. Im Oktober 2018 veröffentlichte der Weltklimarat einen Sonderbericht, demnach es immer noch möglich ist, die Erderwärmung auf 1,5° C zu begrenzen. Diese Marke ist seit dem Klimaschutzabkommen von Paris im Jahr 2015 ausgegeben, in dem sich völkerrechtlich verbindlich 195 Staaten auf die Beschränkung des Klimawandels einigten. Laut dem Sonderbericht des Weltklimarats sind beispiellose, weitreichende und nie dagewesene Veränderungen in unserer Gesellschaft nötig, um das 1,5 ° C Ziel zu erreichen: eine radikale Transformation der Stromerzeugung, Landwirtschaft, Mobilität und Industrieproduktion.

8. Folie

Zur Umsetzung des Ziels wird es nicht reichen, CO₂-Emissionen zu vermeiden (z.B. durch den Ausstieg aus der Kohleverstromung), sondern CO₂-Emissionen müssen gezielt aus der Atmosphäre entfernt werden. Das wird auch als negative Emissionen bezeichnet.

9. Folie

Negative Emissionen lassen sich durch verschiedene Maßnahmen und Technologien erzielen. Doch es gilt Vorsicht beim Einsatz, mit jeder verbinden sich Risiken und Problematiken. Wissenschaftlich erforscht und diskutiert werden u.a. folgende sechs Maßnahmen:

- **Aufforstung:** Im natürlichen Kohlenstoffkreislauf binden u.a. Bäume CO₂. Durch Aufforstung besteht das Potential zwei Drittel der bislang verursachten Emissionen zu binden, laut einer Studie der ETH Zürich von 2019. Dafür müssten bis zu einer Milliarde Hektar Land mit Bäumen bepflanzt werden, einer Fläche 25 Mal so groß wie Deutschland. Laut Studie gibt es dafür genug Fläche, neben den bestehenden Flächen. Jedoch sollte schnell begonnen werden und vor allem die Rodungen von Wäldern gestoppt werden.
- **Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und Speicherung:** Biomasse wird in Kraftwerken verbrannt und damit Energie gewonnen. Das CO₂ wird abgeschieden und unterirdisch gespeichert. Hier bestehen die Problematiken, dass die Investitionskosten hoch sind, eine enorme Flächenkonkurrenz zum Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln besteht sowie die Akzeptanz für der CO₂-Speicherung seitens der Bevölkerung gering ist.
- **Ozeandüngung:** Im natürlichen Kohlenstoffkreislauf bindet der Ozean bereits CO₂. Mittels Eisen sollen das Wachstum von Algen verstärkt werden und die Aufnahme von CO₂. Auch diese Maßnahme hat Nebenwirkungen. Sie kann zur toxischen Algenblüten führen und zur Ozeanversauerung beitragen und zur Verschärfung sauerstoffarme Zonen, die wiederum gefährliche Auswirkungen auf Meeresorganismen hat. Zudem wird der Nährstoffgehalt gestört und damit das Nahrungsnetz verändert.

- **Gesteinsverwitterung:** Auch bei dieser Methode wird die Funktionsweise natürlicher Stoffkreisläufe genutzt. Felsgestein verwittert und entzieht der Atmosphäre dabei durch chemische Reaktionen CO_2 . Dieser natürliche und sehr langsame Prozess kann beschleunigt werden, indem geeignete Minerale, zum Beispiel aus vulkanischem Gestein, zu feinem Gesteinsmehl zermahlen und auf Äcker und Ozeane verteilt werden. Die Minerale bilden bei Kontakt mit Wasser eine Lösung und setzen dabei Pflanzennährstoffe wie Silizium frei.
- **Luftfilter:** Dabei werden mittels Chemikalien CO_2 aus der Luft gefiltert und ebenfalls unterirdisch gespeichert. Derzeit würde dafür ein Drittel des weltweiten Energiebedarfs benötigt.
- **Biokohle bzw. Pflanzenkohle:** Pyrolysierte Pflanzenkohle dient als Kohlenstoffspeicher im Boden.

Der Weltklimarat IPCC hat in seinem Sonderbericht 2018 neben der Renaturierung und Aufforstung von Wäldern, der Terra-Preta-Technologie bzw. Pflanzenkohle einen zentralen Stellenwert eingeräumt. Durch die Herstellung und Verwendung von Pflanzenkohle entstehen, neben der CO_2 -Speicherung weitere Vorteile, wie „erhöhte Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und lokale Ernährungssicherheit“ (IPCC 2018: 121)

Die nachhaltige Ressourcennutzung mit Pflanzenkohle kann also ihren Teil dazu beitragen, der Überlastung der planetaren Grenzen Einhalt zu bieten. Pflanzenkohle kann zum Humusaufbau, als Nährstoffspeicher zur besseren Nutzung u.a. von Stickstoff und zur langfristigen Speicherung von CO_2 dienen. Wie eine nachhaltige Ressourcennutzung mit Pflanzenkohle aussehen kann, wird im Folgenden erläutert.

10. Folie

Die Holzkohle wird als Schlüsselkomponente der hohen Fruchtbarkeit der Terra Preta do Indio (Glaser & Woods, 2004; Lehmann & Joseph, 2009) angesehen. Heute wird die Holzkohle in der Terra Preta auch Pflanzenkohle genannt, da sie aus der Verkohlung pflanzlicher Materialien entsteht. Gelegentlich wird die Pflanzenkohle auch, abgeleitet vom englischen Wort „biochar“, als Biokohle bezeichnet.

„Pflanzenkohle ist ein heterogenes Material, das durch Pyrolyse aus nachhaltig gewonnenen Biomassen hergestellt wird und vorwiegend aus polyaromatischen Kohlenstoffen und Mineralien besteht. Die Anwendung von Pflanzenkohle führt zu Kohlenstoffsinken, ihre Verbrennung zur Energiegewinnung wird ausgeschlossen.“ (EBC 2012: 6)

Anhand der kleineren Abbildung, die mit einem Rasterelektronenmikroskop entstand, wird deutlich, dass die Pflanzenkohle äußerst porös ist und eine große innere und äußere Oberfläche hat. Auf dieser Abbildung sehen Sie, dass ein Gramm Pflanzenkohle eine Fläche von 100-300 m^2 haben kann.

Aus der porösen Beschaffenheit und der großen inneren und äußeren Oberfläche resultieren die verschiedenen positiven Eigenschaften der Pflanzenkohle.

11. Folie: Video „Die Herstellung und Verwendung von Pflanzenkohle“

12. Folie

Das Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle wird Pyrolyse genannt. Das Wort kommt aus dem Griechischen: Pyr = Feuer, lysis = Auflösung.

Pyrolyse ist eine thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen, unter der Einwirkung von hoher Temperatur und weitgehendem Sauerstoffabschluss. Der Prozess wird deswegen auch thermochemische Zersetzung genannt. Die Pyrolyse wird zur Herstellung von Pflanzenkohle genutzt. Die synthetischen Gase aus dem Prozess werden zur Erzeugung von Strom und als Wärmeenergie genutzt. Die Prozesswärme kann also weiter genutzt und so Energiekosten gespart und fossile Brennstoffe ersetzt werden.

13. Folie

Seit dem Altertum wird das Pyrolyseverfahren angewandt. Das bekannteste Beispiel ist die Herstellung von Holzkohle in Kohlemeilern. Am rechten Bild wird deutlich, dass bei der Pyrolyse keine Verbrennung, sondern eine Verschwelung bzw. Entgasung stattfindet.

14. Folie

Im Video wurde erwähnt, welche Ausgangsstoffe pyrolysiert werden. Können Sie Beispiele nennen?

Pyrolysieren kann man viele organische Reststoffe: Holz, pelletiertes Laub, Obstkerne, Getreide- und Reisspelzen und sogar Algen oder Klärschlamm. Auf der Abbildung sehen sie lokale organische Reststoffe, die verkohlt werden. Pyrolysiert werden können aber ebenso Kokosfasern, Schalen von Erdnüssen, Pekannüssen, Reste aus der Reis- oder Hirsernte, Rückstände aus der Zuckerverarbeitung. Das EBC (*European Biochar Certificate*) hat in einer Positivliste mögliche Biomassen für die Herstellung von Pflanzenkohle definiert (<http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/1370383494539.pdf>). Aus ökologischen Gründen ist es besonders wichtig, dass biologische Reststoffe für die Pyrolyse verwendet werden, vor allem nährstoffarmes, trockenmassereiches, strukturreiches biologisches Material ohne wesentliche Schadstoffgehalte, und zugleich die Abwärme weiterverwendet wird.

Das Mengenaufkommen für Bioabfälle ist in Deutschland immens. Biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle fielen im Jahr 2015 mit 5.771.000 Tonnen an, das entspricht 12,6% der Siedlungsabfälle. Organische Abfälle aus der Biotonne fielen in Höhe von 4.232.000 Tonnen im Jahr 2015 an. Das entspricht 9,2% der Siedlungsabfälle (Statistisches Bundesamt,

Abfallbilanz 2015, Wiesbaden 2017). Der größte Teil wird bisher energetisch in Biogasanlagen und Verbrennungsanlagen genutzt. Jedoch könnte nährstoffarmes, trockenmassereiches, strukturreiches biologisches Material, das nicht schadstoffbelastet ist, auch zur Herstellung von Pflanzenkohle verwendet und Abfälle der Biotonne mit der gewonnenen Pflanzenkohle kompostiert werden. So können mit der Terra-Preta-Technik regional Stoffkreisläufe geschlossen, Kohlenstoff gespeichert und Humus aufgebaut werden.

15. Folie

Es gibt diverse mobile oder feste Pyrolyseanlagen mit denen unterschiedliche Mengen an organischen Reststoffen zu Pflanzenkohle verarbeitet werden können. Alle industriellen Anlagen verbinden die Herstellung von Pflanzenkohle mit der Nutzung der Abwärme.

Hier sehen Sie eine Pyrolyseanlage der Firma PYREG. Die Firma stellt gegenwärtig zwei verschiedene Anlagen her (Stand März 2019). Die P500 produziert bis zu 250 t Pflanzenkohle im Jahr und eine nutzbare Wärmeenergie von 150 kW th. Sie verbraucht bei ca. 7500 Betriebsstunden im Jahr ca. 10 kW el. Damit können 920 t CO₂ gespeichert und 45 Haushalte mit Energie versorgt werden. (Vgl.: <https://www.pyreg.de/p500-biomasse/> Zugriff 13.3.2019). Die Kosten für diese Anlage belaufen sich auf 450.000 Euro zuzüglich Transport und Montage in Höhe von ca. 20.000 Euro. Es gibt eine weitere, größere Anlage, P1.500, die 2750 t CO₂ speichert und 192 Haushalte mit 4.800.000 kWh Energie versorgt ((Vgl.: <https://www.pyreg.de/p1-500-biomasse/> Zugriff 13.3.2019).

BIOMACON stellt ebenfalls Anlagen in unterschiedlicher Größe her. Es gibt gegenwärtig Industrie-Editionen und Farm-Editions (Stand März 2019). Geplant ist eine Home-Edition. Laut Hersteller kann so zwischen 43 und 400 kW Energie gewonnen werden (Vgl. <https://www.biomacon.com/produkte>, Zugriff 13.3.2019). Die Anlagen kosten zwischen 85.000 Euro, bis zu 290.000 Euro.

📌 Vertiefend dazu: Präsentation & Vortrag „Die Herstellung von Pflanzenkohle“

16. Folie

Für den Heimgebrauch ist der Kon-Tiki gedacht, mit dem man am Tag 1- 1,5t Pflanzenkohle herstellen kann, ohne dass jedoch die Wärmeenergie weiter genutzt wird. Der Kon-Tiki kostet 3000 Euro. Bauanleitungen für einen Kon-Tiki finden Sie Internet. Der PyroCook hingegen nutzt die Wärmenergie, die für die Pflanzenkohleherstellung benötigt wird, zum Kochen. Der PyroCook kosten 555,- CHF.

17. Folie

Das EBC (European Biochar Certificate) stellt die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sicher und garantiert nachweislich die Qualität der Pflanzenkohle. Die Zertifizierung ist ein freiwilliger Standard. Nur in der Schweiz sind die Hersteller verpflichtet, Pflanzenkohle für

den Einsatz in der Landwirtschaft zu zertifizieren. Das Zertifikat wird in drei Qualitätsstufen vergeben: basic, premium, Futter, für die unterschiedliche Grenzwerte und ökologische Anforderungen gelten. Mit dem Zertifikat wird die eingesetzte Biomasse definiert, die Pyrolysetechnik, die Eigenschaften der Pflanzenkohle.

📌 Vertiefend dazu Infotext: Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

18. Folie

Die Pflanzenkohle ist vielseitig einsetzbar und am nachhaltigsten in Kaskaden/ Stufen zu nutzen

Im Video wurde erwähnt, wie Pflanzenkohle angewendet werden kann. Können Sie Beispiele nennen?

Tierhaltung

Silagehilfsmittel, Futterzusatz, Einstreu, Güllebehandlung, Mistkompostierung

Rund 90% der Pflanzenkohle wird momentan in der Tierhaltung eingesetzt. Im Einstreu und in der Gülle vermindert die Pflanzenkohle die Geruchsbelastung immens. Durchfallerkrankungen und Allergien nehmen ab, wenn Pflanzenkohle als Ergänzungsmittel gefüttert wird. Im Kompost ist die Pflanzenkohle dann ein hervorragender Speicher für Nährstoffe.

Bodenverbesserung

Kompost, Torfersatz für Aufzuchterden

Unbehandelte Pflanzenkohle führt bei direkter Aufbringung auf den Boden zu einer starken Adsorption von Nährstoffen an der Oberfläche der Kohle mit kurz- bis mittelfristig negativen Effekten auf das Pflanzenwachstum. Aus diesem Grund sollte die Pflanzenkohle zunächst mit Nährstoffen aufgeladen werden, was z. B. durch eine Kompostierung mit 10%-15% Pflanzenkohle, aber auch durch Zugabe von Pflanzenkohle zu Gülle erreicht wird. Mit dem gewonnenen Pflanzenkohlekompost kann auch Torf in den Substraten substituiert werden.

Gebäudekonstruktion

Pflanzenkohle besitzt eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit und kann bis zum sechsfachen ihres Eigengewichtes Wasser aufnehmen. Dank dieser Eigenschaften kann Pflanzenkohle als isolierende, atmungsaktive, elektromagnetische Strahlungen absorbierende Innen- und Außenputze, die Lehm, aber auch Kalk- und Zementmörtel zugemischt werden.

Biogasproduktion

Durch die Zugabe von Pflanzenkohle bei heterogenen Biomassen lässt sich die Methanausbeute verbessern und die CO₂ - sowie die Ammoniakemissionen verringern.

Abgasfilter

Pflanzenkohle kann als Filter von Abgasen eingesetzt werden.

19. Folie

Pyrolyseöfen können auch mit einfachsten Mitteln selbst hergestellt werden. Mit diesen, sogenannten Mikrovergaser kann man sehr energieeffizient Holz verbrennen, kochen und gleichzeitig Pflanzenkohle herstellen. Die einfachen Mikrovergaser können aus Blechdosen, d.h., aus „Müll“ hergestellt werden. Auf der „Abwärme“ des Mikrovergasers wird gekocht, während sich der Brennstoff im Innern in Gas und Holzkohle verwandelt.

20. Folie: Video „Kompost mit Pflanzenkohle“

21. Die Schließung von Stoffkreisläufen mit Terra Preta Technologie

Die Anwendung von Pflanzenkohle gestaltet sich besonders nachhaltig, wenn sie bei der Schließung von regionalen Stoffkreisläufen zur Herstellung von Terra Preta ähnlichen Substraten ins Spiel kommt.

Exemplarisch kann die Schließung von Stoffkreisläufen folgendermaßen laufen. Aus nährstoffarmen, strukturreichen organischen Abfällen wird in der Pyrolyseanlage Pflanzenkohle hergestellt. Weitere nährstoffreiche organische Abfälle, wie Rasen- und Astschnitt, aber auch Obst- und Gemüseabfälle werden dann gemeinsam mit Pflanzenkohle kompostiert und fruchtbares Pflanzenkohlesubstrat gewonnen, welches wiederum für den Anbau von Gemüse und Obst genutzt wird. Im Botanischen Garten Berlin ist die Schließung von Stoffkreisläufen erprobt und etabliert wurden. Dabei konnten viele positive Effekte erzielt werden. Dazu zählten die Erzeugung fruchtbarer Erden, die Speicherung von Kohlenstoff in Böden, die Nutzung lokaler Ressourcen und die damit verbundenen Einsparungen und geringeren Umweltbelastungen. Die Ökobilanzierung des Modellprojektes zeigt, dass mit der Terra-Preta-Technologie eine negative CO₂-Bilanz erreicht werden konnte. Vor Beginn des Projekts entstanden 160 Tonnen CO₂-eq/ Jahr. Durch die Stoffkreisschließung, Pyrolyse, Kompostierung, Nutzung der Wärmeenergie und das Einbringen der Komposte in den Boden konnte eine negative CO₂-Bilanz von -40 Tonnen CO₂-eq/ Jahr entstehen.

22. Folie: Video „Die Potentiale der Pflanzenkohle“

23. Folie

Die Schließung von regionalen Stoffkreisläufen birgt dem zur Folge viele Vorteile:

1. Bisherige Abfälle werden als Ressourcen genutzt.

Garten- und Küchenabfälle, Strauch- und Baumschnitt werden gegenwärtig kostenpflichtig entsorgt und je nach Entsorger thermisch oder als Inputmaterial in Biogasanlagen verwertet. Mit einer regionalen Stoffkreisschließung können diese Kosten eingespart werden. In Berlin liegen die Entsorgungskosten für private Gärten bei der BSR bei 16,00 EUR pro 660 Liter Tonne. Die Preise für die gewerbliche Entsorgung variieren. Eine Firma bietet die Entsorgung

für Ast- und Strauchschnitt für 55,00 EUR die Tonne und für 65,00 EUR für Baumstämme (Vgl. Holzkontor Preussen, <http://www.hk-preussen.de/>, Zugriff 25.1.2019).

2. Langfristiger CO₂-Speicher

Die Pyrolyse bindet langfristig CO₂ in der Pflanzenkohle. Die Kohle besteht aus sehr stabilen Kohlenstoffverbindungen, die über lange Zeiträume im Boden erhalten bleiben. Die bei den Grabungen gefundene Terra Preta ist dafür ein Beispiel, die ein Alter von bis zu 7.000 Jahre hat.

Die Lebensdauer der Pflanzenkohle variiert jedoch sehr stark und ist abhängig vom Ausgangsmaterial, der Pyrolysetemperatur bei der Herstellung und dann vom Standort und seiner Landnutzung, wo sie ausgebracht wird, so dass bisher keine allgemeinen Angaben getroffen werden können.

3. Verminderung von Treibhausgasemissionen

Emissionen werden zum einen durch die Nutzung der Abwärme der Pyrolyse vermindert, da damit fossile Brennstoffe ersetzt werden. Bei der Kompostierung werden durch die Pflanzenkohle Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen reduziert. Auch Kohlenstoffdioxid scheint weniger an die Atmosphäre abgegeben zu werden, was neueste Forschungsergebnisse zeigen. Durch die Verwendung des Pflanzenkohlekomposts wird mineralischer Dünger substituiert, womit der Eintrag von Stickstoff beispielsweise das Grundwasser verringert wird. Ebenfalls kann Torf als Zusatz zum Substrat durch den Pflanzenkohlekompost eingespart werden. Damit werden die die Emissionen von Methan verhindert, einem Klimagas, das beim Abbau von Torf und dessen Zersetzung bei der Nutzung als Pflanzsubstrat entsteht.

4. Hochwertige Produkte

Mit der Terra-Preta-Technologie entstehen zwei hochwertige Produkte: die Pflanzenkohle und ein hochwertiger Kompost, der zu Substraten weiterverarbeitet und anschließend auch vermarktet werden kann.

Gegenwärtig wird Pflanzenkohle und Substrate zu folgenden Preisen verkauft (Webrecherche bei genannten Herstellern, Zugriff 25.1.2019):

Carboverte: Pflanzenkohle 1 l = 1,79 EUR, aktivierte Pflanzenkohle 1 l = 2,99 Euro, Schwarzerde 1 l = 1 EUR

Moola: Pflanzenkohle 40 l = 35,95 EUR

Sonnenerde: Pflanzenkohle 30 l = 19,90 EUR, Schwarzerde 18 l = 17,90 EUR

5. Erhöhte Adsorptionskapazität

Durch die poröse große äußere und innere Oberfläche vermag die Pflanzenkohle Wasser und darin gelöste Nährstoffe aufnehmen, die damit länger für die Pflanze zur Verfügung stehen und weniger ins Grundwasser ausgewaschen werden. Diese Eigenschaft nennt man die Adsorptionskapazität (AK) der Pflanzenkohle.

Die erhöhte Adsorptionskapazität der Pflanzenkohle kommt auch bei der Kompostierung zum Tragen. Bei der Verwendung feuchter und nährstoffreicher Materialien im Kompost, wie Rasenschnitt, Obst- und Gemüseabfälle, bindet die Kohle deren Nährstoffe und Wasser.

6. Erhöhte Kationenaustauschkapazität

Pflanzkohle weist eine erhöhte Kationenaustauschkapazität auf. Das bedeutet, dass positiv geladene Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche der Pflanzkohle binden, nicht ausgewaschen werden und somit für die Pflanze und Mikroorganismen sehr gut verfügbar sind.

7. pH-Puffer

Die Pflanzkohle fungiert außerdem als pH-Puffer für den Boden. Das bedeutet, dass saure Böden neutraler werden und Pflanzen besser wachsen, u. a. auch weil Nährstoffe so besser pflanzenverfügbar sind.

8. Erhöhte Aktivität von Bodenorganismen

Auf und in der Pflanzkohle siedeln sich auch gern nützliche Bodenorganismen an und durch die vermehrte Bodenaktivität ist die Pflanze besser vor Erkrankungen geschützt.

9. Erhöhte Erträge

Die Einarbeitung von Pflanzkohlekompost in den Boden führt zu höheren Erträgen.

10. Einsparung von Kosten

Durch den Einsatz von Pflanzkohle können laufend anfallende Entsorgungskosten für organische Abfälle sowie Energiekosten durch die Nutzung der Wärmeenergie der Pyrolyse eingespart werden. Dem gegenüber stehen jedoch zunächst Investitionskosten für die Pyrolyseanlage und die Etablierung der Kreislaufschließung.

Pflanzenkohle: Handout



Abb.: eigene Darstellung

- 📌 Terra Preta = nährstoffreicher menschengemachter Boden der Ureinwohner am Amazonas, dessen Schlüsselkomponente Pflanzenkohle ist
- 📌 Entstanden durch Kompostierung und Fermentierung von Holz- bzw. Pflanzenkohle und organischen Abfällen, wie menschlichen Fäkalien, Dung, pflanzliche Rückstände, Knochen Fischgräten sowie Tonscherben.

Warum Ressourcen nachhaltig nutzen?

- 📌 ökologische Belastungsgrenzen des Planeten
- 📌 in vier Bereichen Grenzen bereits überschritten:
 - Klimawandel**, d.h. die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre
 - Artensterben**, d.h. Anzahl der Arten, die ausgestorben sind
 - Stickstoffkreislauf**, d.h. der Eintrag von Stickstoff in die Atmosphäre durch unsachgemäßes Düngen, Massentierhaltung und Verkehr
 - Landnutzung**, d.h. zu viel Landfläche umgewandelt in Ackerland (%) und Degradation von Böden durch intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung

Ökologische Belastungsgrenzen

nach Johan Rockström, Stockholm Resilience Centre et al. 2009



Abb.: Müller (2014) nach Rockström et al. 2009

- 🪵 Ressourcenkonsum nicht vereinbar mit Belastungsgrenzen des Planeten
- 🪵 Klimaschutzziele Deutschlands: bis 2050 Reduzierung der CO₂ Emissionen um 80-95%
- 🪵 Terra Preta Technologie ein Ansatzpunkt zur Speicherung von Kohlenstoff, Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Einsparung von industriell hergestelltem Stickstoffdünger

Pflanzenkohle



Abb.: eigene Darstellung

„Pflanzenkohle ist ein heterogenes Material, das durch Pyrolyse aus nachhaltig gewonnenen Biomassen hergestellt wird und vorwiegend aus polyaromatischen Kohlenstoffen und Mineralien besteht. Die Anwendung von Pflanzenkohle führt zu Kohlenstoffsinken, ihre Verbrennung zur Energiegewinnung wird ausgeschlossen.“ (EBC 2012: 6)

- 🪵 ist äußerst porös und hat eine große innere und äußere Oberfläche, daraus resultieren spezifische positive Eigenschaften

Pyrolyse

... ist ein thermo-chemischer Prozess, beim dem durch kontrollierte Erhitzung und unter weitgehendem Sauerstoffabschluss organische Verbindungen zersetzt werden.

Dabei entstehen Pflanzenkohlen, die vielseitig einsetzbar sind und synthetische Gase, die zur Gewinnung von Strom oder Wärme verwendet werden.

Ausgangsstoffe für Pyrolyse

- 🪵 organische Reststoffe: Holz, pelletiertes Laub, Stroh von Getreide, Obstkerne, Getreidespelzen und sogar Algen oder Klärschlamm, Kokosfasern, Schalen von Erdnüssen,

Die Eigenschaften der Pflanzenkohle im Boden und die Potentiale der Terra-Preta-Technik

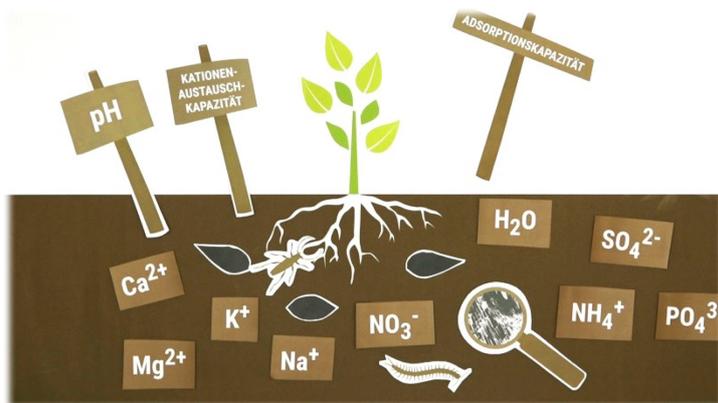


Abb.: eigene Darstellung

- 🌿 Bisherige Abfälle werden als Ressourcen genutzt.
- 🌿 Langfristiger CO₂-Speicher
- 🌿 Verminderung von Treibhausgasemissionen
- 🌿 Hochwertige Produkte
- 🌿 Erhöhte Adsorptionskapazität
- 🌿 Erhöhte Kationenaustauschkapazität
- 🌿 pH-Puffer
- 🌿 Erhöhte Aktivität von Bodenorganismen
- 🌿 Erhöhte Bodenproduktivität
- 🌿 Einsparung von Kosten



1. Folie

Im folgenden Vortrag wird die Herstellung von Pflanzenkohle erläutert und insbesondere auf den Prozess, technische Anlagen, Produkte des Prozesses und die Qualitätskontrolle der hergestellten Pflanzenkohle eingegangen.

2. Folie:

Video: Die Herstellung von Pflanzenkohle

3. Folie

Das Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle wird Pyrolyse genannt. Das Wort kommt aus dem Griechischen: Pyr = Feuer, lysis = Auflösung.

Pyrolyse ist eine thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen, unter der Einwirkung von hoher Temperatur und weitgehendem Sauerstoffabschluss. Der Prozess wird deswegen auch thermochemische Zersetzung genannt. Die Pyrolyse wird zur Herstellung von Pflanzenkohle genutzt. Die synthetischen Gase aus dem Prozess werden zur Erzeugung von Strom und als Wärmeenergie genutzt, bei der Anlage der Firma BioMaCon auch innerhalb der Brennkammer. Die Prozesswärme kann also weiter genutzt und so Energiekosten gespart und fossile Brennstoffe ersetzt werden.

4. Folie

Bei der Pyrolyse wird das Inputmaterial erhitzt, was auch zum Ausgasen unterschiedlicher flüchtiger Bestandteile führt und in der letzten Phase zur Umwandlung der Biomasse in Kohle.

Bei der Pyrolyse entstehen Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe. Die Mengenanteile und die Zusammensetzung hängen nicht nur vom Ausgangsmaterial/Inputstoff, sondern auch von der Pyrolysetemperatur, den Druckverhältnissen und der Prozessdauer ab.

Die Tabelle zeigt idealtypisch bei welchen Temperaturen welche Energieumsetzungen und Vorgänge stattfinden und welche Produkte dabei entstehen.

5. Folie

Seit dem Altertum wird das Pyrolyseverfahren angewandt. Das bekannteste Beispiel ist die Herstellung von Holzkohle in Kohlemeilern. Am rechten Bild wird deutlich, dass bei der Pyrolyse keine Verbrennung, sondern eine Verschwelung bzw. Entgasung stattfindet.

6. Folie

Thermochemische Prozesse umfassen Verfahren der Entgasung (Pyrolyse), Vergasung und Verbrennung. Die Prozesse unterscheiden sich in der Höhe der Temperatur und in der Menge der zugeführten Luft als Oxidationsmittel (selten als reiner Sauerstoff). Es entsteht eine hierarchische Gliederung der

drei Prozesse. Demzufolge gibt es bei der Verbrennung immer auch Vorgänge der Pyrolyse und der Vergasung. Wie auch eine Vergasung stets pyrolytische Prozesse enthält.

Die Tabelle zeigt in einem Vergleich der Parameter, festen Rückstände und gasförmigen Produkte die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den thermochemischen Prozessen.

Welche Unterschiede fallen Ihnen auf, wenn Sie Pyrolyse und Verbrennung miteinander vergleichen?

7. Folie

Im Video wurde erwähnt, welche Ausgangsstoffe pyrolysiert werden. Können Sie Beispiele nennen?

Pyrolysieren kann man viele organische Reststoffe: Holz, pelletiertes Laub, Stroh von Getreide, Obstkerne, Getreidespelzen und sogar Algen oder Klärschlamm. Auf der Abbildung sehen sie lokale organische Reststoffe, die verkohlt werden. Pyrolysiert werden können aber ebenso Kokosfasern, Schalen von Erdnüssen, Pekannüssen, Reste aus der Reise- oder Hirseernte, Rückstände aus der Zuckerverarbeitung.

Aus ökologischen Gründen ist es besonders wichtig, dass biologische Reststoffe für die Pyrolyse verwendet werden, vor allem nährstoffarmes, trockenmassereiches, strukturreiches biologisches Material ohne wesentliche Schadstoffgehalte, und zugleich die Abwärme, die bei der Pyrolyse entsteht, weiterverwendet wird. Das EBC (*European Biochar Certificate*) hat in einer Positivliste mögliche Biomassen für die Herstellung von Pflanzenkohle definiert.

Die vollständige Liste ist als Download unter folgendem Link verfügbar: <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/1370383494539.pdf>

Das Mengenaufkommen für Bioabfälle ist in Deutschland immens. Biologisch abbaubare Garten- und Parkabfälle fielen im Jahr 2015 mit 5.771.000 Tonnen an, das entspricht 12,6% der Siedlungsabfälle. Organische Abfälle aus der Biotonne fielen in Höhe von 4.232.000 Tonnen im Jahr 2015 an. Das entspricht 9,2% der Siedlungsabfälle (Statistisches Bundesamt, Abfallbilanz 2015, Wiesbaden 2017). Der größte Teil wird bisher energetisch in Biogasanlagen und Verbrennungsanlagen genutzt. Jedoch könnte nährstoffarmes, trockenmassereiches, strukturreiches biologisches Material, das nicht schadstoffbelastet ist, auch zur Herstellung von Pflanzenkohle verwendet werden.

8. Folie

Es gibt diverse mobile oder feste Pyrolyseanlagen mit denen unterschiedliche Mengen an organischen Reststoffen zu Pflanzenkohle verarbeitet werden können. Alle industriellen Anlagen verbinden die Herstellung von Pflanzenkohle mit der Nutzung der Abwärme.

Exemplarisch sollen hier die PYREG-Anlage und die BioMaCon-Anlage vorgestellt werden. Beide Firmen stellen Anlagen in unterschiedlicher Größe her.

9. Folie

Hier sehen Sie eine Pyrolyseanlage der Firma PYREG. Die Firma stellt gegenwärtig zwei verschiedene Anlagen her (Stand März 2019). Die P500 produziert bis zu 250 t Pflanzenkohle im Jahr und eine

nutzbare Wärmeenergie von 150 kW_{th}. Sie verbraucht bei ca. 7500 Betriebsstunden im Jahr ca. 10 kW_{el}.

Damit können 920 t CO₂ gespeichert und 45 Haushalte mit Energie versorgt werden. (Vgl.: <https://www.pyreg.de/p500-biomasse/> Zugriff 13.3.2019). Die Kosten für diese Anlage belaufen sich auf 450.000 Euro zuzüglich Transport und Montage in Höhe von ca. 20.000 Euro. Es gibt eine weitere, größere PYREG-Anlage, P1.500, die 2750 t CO₂ speichert und 192 Haushalte mit 4.800.000 kWh Energie versorgt (Vgl.: <https://www.pyreg.de/p1-500-biomasse/> Zugriff 13.3.2019).

BIOMACON stellt ebenfalls Anlagen in unterschiedlicher Größe her. Es gibt gegenwärtig Industrie-Editionen und Farm-Editions (Stand März 2019). Geplant ist eine Home-Edition. Laut Hersteller kann so zwischen 43 und 400 kW Energie gewonnen werden (Vgl. <https://www.biomacon.com/produkte>, Zugriff 13.3.2019). Die Listenpreise für die Anlagen sind C40 = 85.000 Euro, C63 = 99.000 Euro, C100 = 135.000 Euro, C160 = 170.000 Euro, C250 = 235.000 Euro, C400 = 290.000 Euro.

10. Folie

Diese Folie zeigt eine schematische Darstellung der PYREG-Anlage.

Die PYREG-Anlage arbeitet „nach dem Prinzip der trockenen Karbonisierung. Dafür wird die Biomasse bei 500 - 700 °C nicht verbrannt, sondern erst schonend entgast und anschließend durch gezielte Luftzugabe verkohlt. Damit ist die Biomasse vollständig hygienisiert. Die in den Reaktoren entstehenden brennbaren Gase werden vom Material entkoppelt und in einer nachgeschalteten Brennkammer im FLOX®-Verfahren (flammenlose Oxidation) bei rund 1.200 °C verbrannt. Zudem arbeitet die Anlage autotherm, das heißt sie nutzt für die Aufrechterhaltung des thermischen Prozesses ausschließlich die Energie der eingebrachten Biomasse. Dazu werden die heißen Rauchgase aus der Brennkammer in den Mantel des Reaktors geleitet, was zum Durchtrocknen, Entgasen und Karbonisieren der Biomasse führt. Darüber hinaus entsteht ein nutzbarer Energieüberschuss von bis zu 150 kW_{th}, der beispielsweise für die Trocknung feuchter Biomassen oder zum Heizen genutzt werden kann“ (http://www.pyreg.de/wp-content/uploads/08_biomasse_das_pyreg_verfahren.pdf, Zugriff 28.2.2018)

11. Folie

Für Entwicklungs- und Schwellenländer und den Heimgebrauch ist der Kon-Tiki gedacht, mit dem man am Tag 1- 1,5t Pflanzenkohle herstellen kann, ohne dass jedoch die Wärmeenergie weiter genutzt wird. Der Kon-Tiki kostet 3000 Euro. Bauanleitungen für einen Kon-Tiki finden Sie im Internet. Der PyroCook hingegen nutzt die Wärmeenergie, die für die Pflanzenkohleherstellung benötigt wird, zum Kochen. Der PyroCook kosten 555,- CHF.

12. Folie

„Da sowohl die Eigenschaften der Pflanzenkohle als auch die Umweltbilanz ihrer Herstellung stark abhängig von der technischen Steuerung der Pyrolyse und den verwendeten Biomassen sind, ist es notwendig, ein sicheres Kontrollsystem für die Herstellung und Analyse von Pflanzenkohle einzuführen“ (EBC 2018:4).

Das EBC (European Biochar Certificate) stellt die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sicher und garantiert nachweislich die Qualität der Pflanzenkohle. Die Zertifizierung ist ein freiwilliger Standard. Nur in der Schweiz sind die Hersteller verpflichtet, Pflanzenkohle für den Einsatz in der Landwirtschaft zu zertifizieren. Das Zertifikat wird in drei Qualitätsstufen vergeben: basic, premium, Futter, für die unterschiedliche Grenzwerte und ökologische Anforderungen gelten.

13. Folie

Das EBC definiert die eingesetzte Biomasse:

- ausschließlich organische Reststoffe (vgl. Positivliste)
- saubere Trennung von nicht-organischen Reststoffen
- keine Verunreinigungen
- bei Einsatz von Primärprodukten aus Land- und Forstwirtschaft nur aus nachhaltige Bewirtschaftung
- europäische Herkunft
- *max. 80 km Transportweg für Biomasse*

14. Folie

Das EBC sieht die Führung eines Pflanzenkohle-Produktionsprotokolls für jede Charge vor.

„Jede Pflanzenkohle-Charge muss eine eindeutige Bezeichnung und Identifikationsnummer erhalten. Mittels der Identifikationsnummer muss die Rückführbarkeit der Produktionsbedingungen und der eingesetzten Biomassen garantiert werden. Für jede Pflanzenkohle-Charge muss ein gesondertes Produktions-Protokoll ausgestellt werden. Die Pflanzenkohle jeder Charge muss auf Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte analysiert werden.“ (EBC 2018:8)

Das EBC verlangt die Einhaltung aller umweltrelevanten Grenzwerte sowie die Deklaration der für die landwirtschaftliche Praxis relevanten Produkteigenschaften.

Dazu gehören Kohlenstoffgehalt, molares H/Corg-Verhältnis, flüchtige organische Bestimmungen, Nährstoffgehalt, Grenzwerte für Schwermetalle, PAK-Gehalte und PCB-Gehalte.

Die hergestellte Pflanzenkohle muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- ein Kohlenstoffgehalt von mehr als 50% der Trockenmasse
- ein molares H/Corg-Verhältnis kleiner als 0,7
- ein molares O/Corg-Verhältnis kleiner als 0,4
- Einhaltung der folgenden Grenzwerte (auf die Trockenmasse mg/ kg bezogen):

	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	As	PAK	PCB
basic	< 150	< 1,5	< 100	< 50	< 1	< 400	< 90	< 13	< 12	< 0,2
premium	< 120	< 1	< 100	< 30	< 1	< 400	< 80	< 13	< 4	< 0,2

- der Gehalt an Dioxinen und Furanen jeweils unter 20 ng kg⁻¹ (I-TEQ OMS)

Darüber hinaus **müssen pH-Wert, Schüttdichte, Wassergehalt, Wasserhaltevermögen und die spezifische Oberfläche sowie** die Nährstoffgehalte von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium der Pflanzenkohle bestimmt werden.

15. Folie

Das EBC definiert die Pyrolysetechnik:

- als energieeffizienter Prozess;
- bei der die Synthesegase abgefangen werden müssen und nicht in die Atmosphäre entweichen dürfen;
- bei der die national geltenden Emissionsgrenzwerte bei der Verbrennung der Synthesegase eingehalten werden müssen;
- bei der die Abwärme der Pyrolyseanlage genutzt werden muss.

📌 Siehe Infotext: Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle

Vollständige EBC Richtlinien als Download: www.european-biochar.org

16. Folie

Pyrolyseöfen können auch mit einfachsten Mitteln selbst hergestellt werden. Mit diesen, sogenannten Mikrovergaser kann man sehr energieeffizient Holz verbrennen, kochen und gleichzeitig Pflanzenkohle herstellen. Die einfachen Mikrovergaser können aus Blechdosen, d.h., aus „Müll“ hergestellt werden. Auf der „Abwärme“ des Mikrovergasers wird gekocht, während sich der Brennstoff im Innern in Gas und Holzkohle verwandelt.

17. Folie

Hier sehen Sie eine schematische Darstellung des Pyrolysevorgangs in einem Mikrovergaser.

18. Folie

Die Pflanzenkohle ist vielseitig einsetzbar und am nachhaltigsten in Kaskaden/ Stufen zu nutzen
Im Video wurde erwähnt, wie Pflanzenkohle angewendet werden kann. Können Sie Beispiele nennen?

Tierhaltung

Silagehilfsmittel, Futterzusatz, Einstreu, Güllebehandlung, Mistkompostierung

Rund 90% der Pflanzenkohle wird momentan in der Tierhaltung eingesetzt. Im Einstreu und der Gülle vermindert die Pflanzenkohle die Geruchsbelastung immens. Durchfallerkrankungen und Allergien nehmen ab, wenn Pflanzenkohle als Ergänzungsmittel gefüttert wird. Im Kompost ist die Pflanzenkohle dann ein hervorragender Speicher flüchtiger Nährstoffe.

Bodenverbesserung

Kompost, Torfersatz für Aufzuchterden

Unbehandelte Pflanzenkohle führt bei direkter Aufbringung auf den Boden zu einer starken Adsorption von Nährstoffen an der Oberfläche der Kohle mit kurz- bis mittelfristig negativen Effekten auf das Pflanzenwachstum. Aus diesem Grund sollte die Pflanzenkohle zunächst mit Nährstoffen aufgeladen werden, was z. B. durch eine Kompostierung mit 10%-15% Pflanzenkohle, aber auch durch Zugabe von Pflanzenkohle zu Gülle erreicht wird. Mit dem gewonnenen Pflanzenkohlekompost kann auch Torf in den Substraten substituiert werden.

Gebäudekonstruktion

Pflanzkohle besitzt eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit und kann bis zum sechsfachen ihres Eigengewichtes Wasser aufnehmen. Dank dieser Eigenschaften kann Pflanzkohle als isolierende, atmungsaktive, elektromagnetische Strahlungen absorbierende Innen- und Außenputze, die Lehm, aber auch Kalk- und Zementmörtel zugemischt werden.

Biogasproduktion

Durch die Zugabe von Pflanzkohle bei heterogenen Biomassen lässt sich die Methanausbeute verbessern und die CO₂ - sowie die Ammoniakemissionen verringern.

Abgasfilter

Pflanzkohle kann als Filter von Abgasen eingesetzt werden.



Material

OFEN

- 1 leere Konservendose Ø 7 cm
- 1 leere Konservendose Ø 8,5 cm
- 2 Kuchenausköhler als Untersetzer und Aufsetzer zum Kochen
- Topf/Esspressokanne, Tee/Kaffee

PYROLYSE

- Trockenes Pyrolysematerial: z.B. Holzreste, Äste, Pellets
- Feuerzeug, Kohlenanzünder
- Gießkanne mit Wasser zum Löschen
- Zange zum Herausheben der heißen Dose

WERKZEUG ZUM BAU

- 1 Hammer, Nagel 3-4 mm
- 1 Metallschere oder scharfes Messer
- Handschuhe



Anleitung

1.

In die kleinere Dose (Ø 7 cm) sowohl unten als auch oben herum ca. 9 Löcher mit dem Nagel schlagen. Die Löcher sollten einen Durchmesser von ca. 3-4 mm haben. Der Abstand der Löcher vom Rand sollte ca. 2 cm betragen.



2.

In den Boden der anderen Dose (Ø 8,5 cm) sternförmig 3 Schnitte machen.

3.

Nun drei Dreiecke nach unten biegen und die größere Dose über die schmale Dose schieben. Die nach unten gebogenen Dreiecke halten die andere Dose.

4.

Die Dosen auf den Kuchenausköhler oder nicht brennbaren Boden (Stein, Beton) stellen.

5.

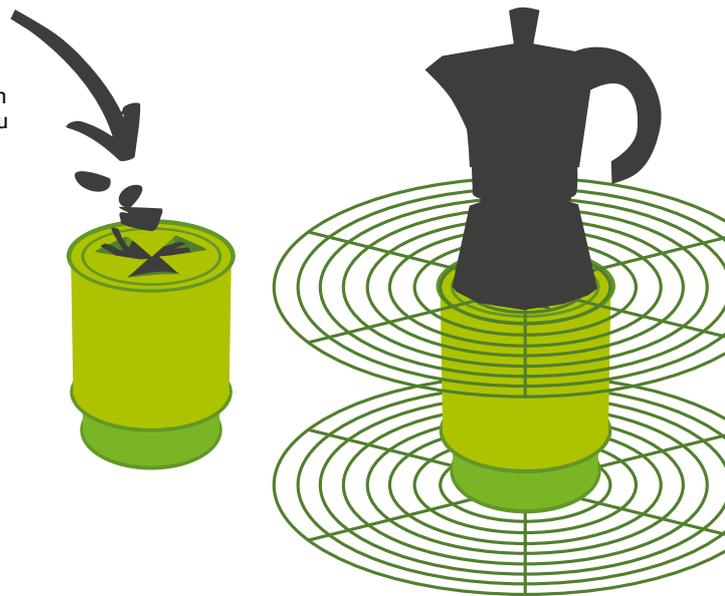
Pyrolysematerial in die innere Dose füllen, bis kurz vor den oberen Löchern. Darauf achten, dass das Material nicht zu dicht geschichtet ist. Kohlenzünder anzünden und dann damit das Pyrolysematerial entzünden.

6.

Kuchenausköhler über die Dosen legen und mit der Abwärme einen Tee oder Kaffee kochen.

7.

Nachdem das Pyrolysematerial vollständig verkohlt ist, Kohlen ausschütten und mit Wasser ablöschen.



Versuchsanleitung zur Herstellung von Pflanzenkohle

Pflanzenkohle wird im Pyrolyseverfahren hergestellt. Die thermochemische Zersetzung findet unter Sauerstoffabschluss und durch Erhitzung statt. Bei der Pyrolyse können sowohl die Ausgangsstoffe, die Temperatur und die Dauer variiert werden.

1. Versuch: Stellen Sie Pflanzenkohle mit folgender Versuchsanordnung her.

Material: Bunsenbrenner, zwei hitzefesten Reagenzgläser, Gummistopfen und zwei Glasrohre, Stativ, Glas mit Wasser zur Kühlung, Biomasse, Feuerzeug

Aufgabe:

1. Bauen Sie entsprechend dem Foto den Versuch auf.
2. Füllen Sie in das vertikale Reagenzglas das organische Material, aus dem Sie Pflanzenkohle herstellen möchten.
3. Starten Sie den Bunsenbrenner.
4. Wenn im zweiten Reagenzglas Rauch entsteht, zünden Sie es mit dem Feuerzeug an.
5. Kühlen Sie das zweite Reagenzglas mit einem Glas mit Wasser.
6. Beschreiben Sie die Reaktion.



2. Versuch: Stellen Sie Pflanzenkohle mit unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlicher Verweildauer im Muffelofen her.

Material: Muffelofen, Waage, kleine feuerfeste Porzellantiegel, feuerfestes Stahltablett, Thermometer, Uhr, verschiedene Biomassen, Schutzhandschuhe, Zange, Gefäß mit Wasser

Aufgabe:

1. Füllen Sie dieselbe Menge an Biomasse in Tiegel. Stellen Sie die Tiegel umgedreht auf das Tablett. Achten Sie darauf, dass die Tiegel mit dem Tablett abschließen, um die Sauerstoffzufuhr gering zu halten.
2. Heizen Sie den Muffelofen auf 550 °C und pyrolysieren Sie ein Charge 40 Minuten und eine weitere 60 Minuten.
3. Wiederholen Sie den Versuch bei 750 °C und 950 °C.
4. Löschen Sie jeweils die hergestellten Kohlen ab.



Karbonisierung von Laub: Ergebnisse aus der Forschung

Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der FU Berlin wurden Versuche zur Karbonisierung mit Laub gemacht. Das Laub stammt aus dem Tierpark Berlin und wurde nach der Sammlung zerkleinert und pelletiert und dann in Versuchen bei verschiedenen Temperaturen von 550 °C bis 950 °C und einer Verweildauer von 40 und 60 Minuten pyrolysiert. Anschließend wurden die hergestellten Pflanzenkohlen auf unterschiedliche physikalische und chemische Parameter untersucht und mit den Grenzwerten des EBC 2012 (Europäisches Pflanzenkohle Zertifikat) und der DÜMV 2012 (Düngemittelverordnung) verglichen.

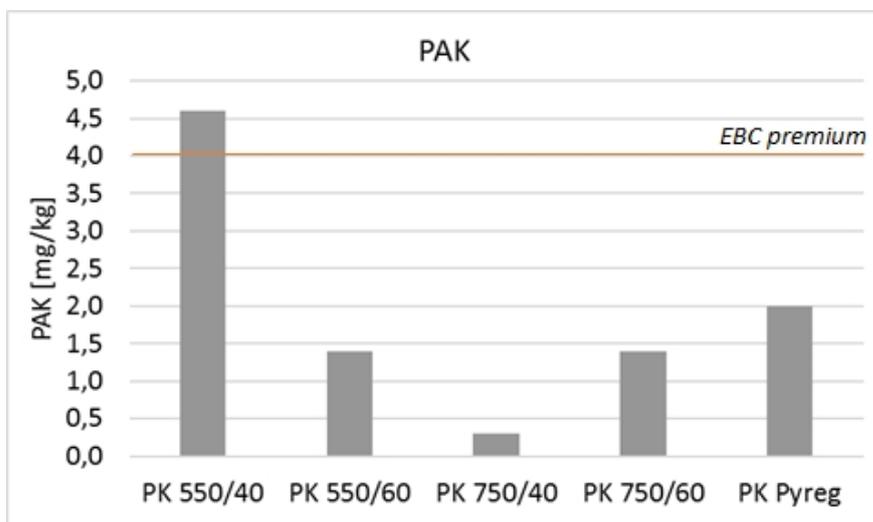
Aufgabe: Werten Sie unterstehenden Tabellen aus. Wie wirkt sich die Verweildauer und Temperatur aus? Werden die Grenzwerte eingehalten?

Schwermetallgehalte der hergestellten Pflanzenkohlen und Vergleich mit der DüMV (2012) und des EBC (2012)

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg/kg						
Laubpellet	2,0	0,3	16,0	20,0	9,0	19,0	151,0
PK 550/40	3,0	0,0	22,7	80,0	17,7	35,7	261,3
PK 550/60	2,0	0,0	19,0	34,0	8,0	35,0	265,0
PK 750/40	3,0	0,0	21,3	66,7	14,3	28,0	268,0
PK 750/60	3,7	0,0	24,3	62,7	31,0	29,0	268,7
PK 950/40	3,0	0,0	24,7	54,3	28,0	10,7	19,0
PK 950/60	2,3	0,0	24,7	89,3	50,3	9,7	16,7
Grenzwert DüMV	20,0	1,0	300,0	500,0	40,0	100,0	1000,0
EBC basic	13,0	1,5	90,0	100,0	50,0	150,0	400,0
EBC premium	13,0	1,0	80,0	100,0	30,0	120,0	400,0

* PK = Pflanzenkohle, 550 (Temperatur in °C) /40 (Verweildauer in Minuten); PK Pyreg = von der Firma Pyreg hergestellte Pflanzenkohle bei 550 °C

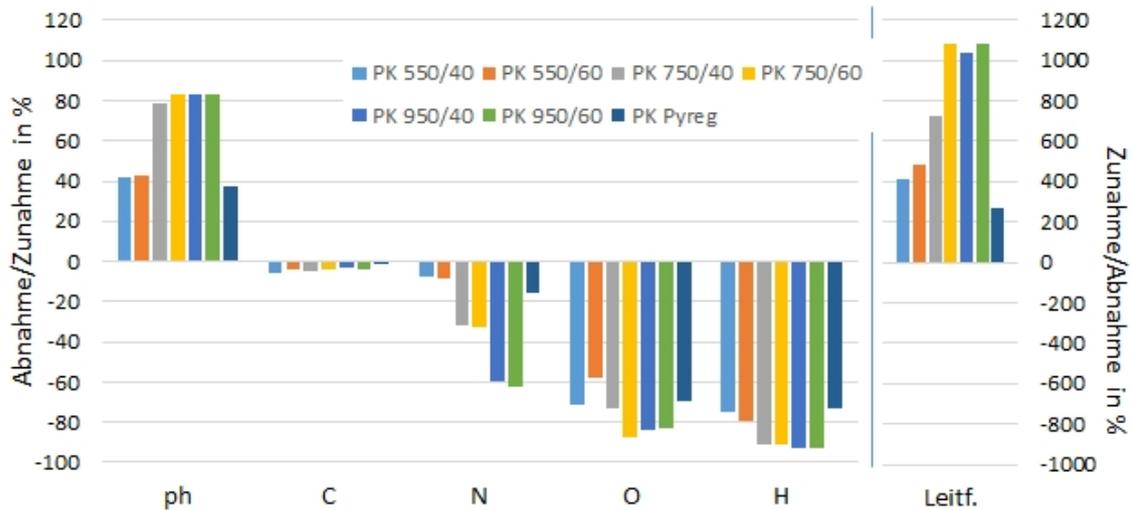
PAK-Gehalte (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) der hergestellten Pflanzenkohlen und EBC Richtwert für Premium-Pflanzenkohle



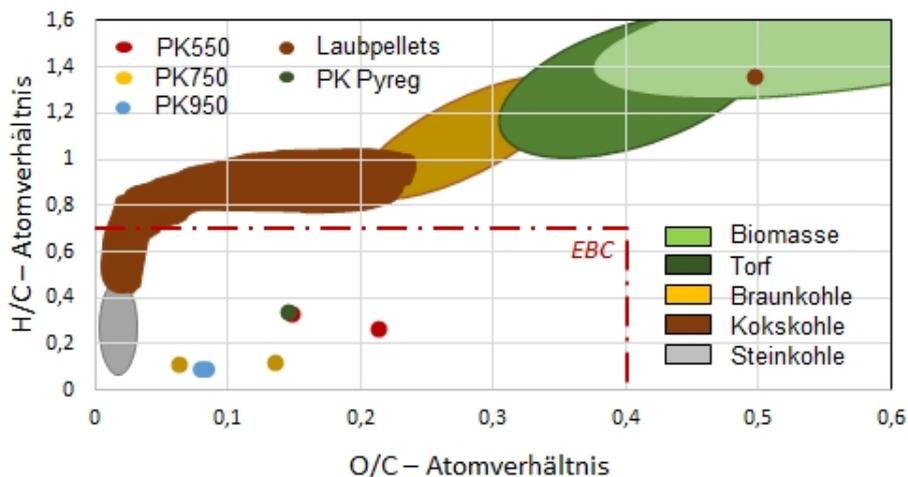
Chemische und physikalische Parameter der Pflanzenkohlen und Richtwerte des EBC (2012)

	ph	Leitf. µS/cm	C %	N %	O %	H %	H/C	O/C
							Atomares Verhältnis	
Laubpellet	6,5	339	42,0	1,1	27,0	4,4	1,25	0,48
PK 550/40	9,2	1727	39,6	1,0	7,8	1,1	0,33	0,15
PK 550/60	9,3	1986	40,2	1,0	11,4	0,9	0,27	0,21
PK 750/40	11,6	2803	40,0	0,7	7,2	0,4	0,12	0,14
PK 750/60	11,9	4007	40,3	0,7	3,4	0,4	0,12	0,06
PK 950/40	11,9	3840	40,7	0,4	4,3	0,3	0,09	0,08
PK 950/60	11,9	3993	40,4	0,4	4,5	0,3	0,09	0,08
PK Pyreg	8,9	1255	41,9	0,93	8,1	1,2	0,34	0,15
EBC Richtwerte	--	--	50	--	--	--	0,7	0,4

Prozentuale Zunahme bzw. Abnahme von pH, Leitfähigkeit, C, N, O und H in den hergestellten Pflanzenkohlen im Vergleich zu Laubpellets (0 %-Linie)



H/C- & O/C-Verhältnis der hergestellten Pflanzenkohlen aus Laubpellets und verschiedene Bereiche von Biomassen über Braunkohle zu Steinkohle sowie EBC Grenzwerte für die Pflanzenkohlestabilität (verändert nach Schimmelpfennig & Glaser, 2012)



* Die H/C- und O/C-Atomverhältnisse gelten als Maß für den Grad der Karbonisierung und somit der Stabilität der Pflanzenkohle. Sie werden in einem sog. Van-Krevelen-Diagramm dargestellt. Damit lassen sich Aussagen treffen, ob die Pflanzenkohle stabil im Boden verbleibt und somit ein langfristiger Kohlenstoffspeicher ist.

Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle: Das europäische Pflanzenkohle- Zertifikat

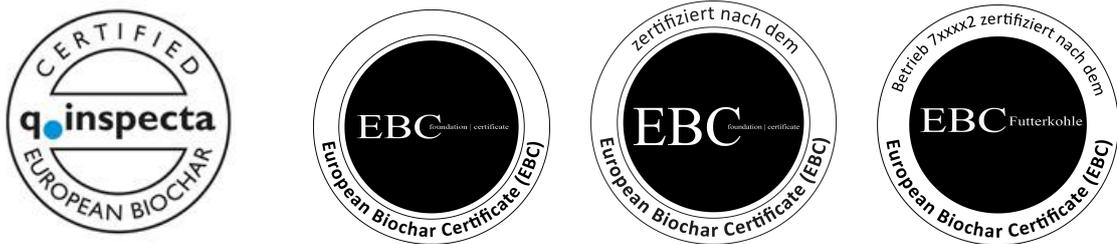


Abb: EBC 2018:23

„Da sowohl die Eigenschaften der Pflanzenkohle als auch die Umweltbilanz ihrer Herstellung stark abhängig von der technischen Steuerung der Pyrolyse und den verwendeten Biomassen sind, ist es notwendig, ein sicheres Kontrollsystem für die Herstellung und Analyse von Pflanzenkohle einzuführen“ (EBC 2018:4).

Das EBC (European Biochar Certificate) stellt die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sicher und garantiert nachweislich die Qualität der Pflanzenkohle. Die Zertifizierung ist ein freiwilliger Standard. Nur in der Schweiz sind die Hersteller verpflichtet, Pflanzenkohle für den Einsatz in der Landwirtschaft zu zertifizieren. Das Zertifikat wird in drei Qualitätsstufen vergeben: basic, premium, Futter(kohle), für die unterschiedliche Schadstoff-Grenzwerte und ökologische Anforderungen gelten.

Das EBC definiert, dass Pflanzenkohle durch Biomasse-Pyrolyse hergestellt wird.

Als Biomasse-Pyrolyse gilt hierbei die thermochemische Zersetzung organischer Stoffe bei stark reduziertem Sauerstoffgehalt und bei Temperaturen zwischen 350°C und 1000 °C. Torrefaktion, hydrothermale Karbonisierung und Verkokung sind weitere Verkohlungsprozesse, deren Endprodukte nach der vorliegenden Definition aber nicht als Pflanzenkohle bezeichnet werden und nicht Teil der vorliegenden Richtlinien sind.

Das EBC definiert die eingesetzte Biomasse:

- ausschließlich organische Reststoffe (vgl. Positivliste)
- saubere Trennung von nicht-organischen Reststoffen
- keine Verunreinigungen
- bei Einsatz von Primärprodukten aus Land- und Forstwirtschaft nur aus nachhaltige Bewirtschaftung

- europäische Herkunft der Ausgangsstoffe

Das EBC sieht die Führung eines Pflanzenkohle-Produktionsprotokolls für jede Charge vor.

„Jede Pflanzenkohle-Charge muss eine eindeutige Bezeichnung und Identifikationsnummer erhalten. Mittels der Identifikationsnummer muss die Rückführbarkeit der Produktionsbedingungen und der eingesetzten Biomassen garantiert werden. Für jede Pflanzenkohle-Charge muss ein gesondertes Produktions-Protokoll ausgestellt werden. Die Pflanzenkohle jeder Charge muss auf Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte analysiert werden.“ (EBC 2018:8)

Das EBC verlangt die Einhaltung aller umweltrelevanten Grenzwerte sowie die Deklaration der für die landwirtschaftliche Praxis relevanten Produkteigenschaften.

Dazu gehören Kohlenstoffgehalt, molares H/Corg-Verhältnis, Nährstoffgehalt, Grenzwerte für Schwermetalle, PAK-Gehalte und PCB-Gehalte.

Die hergestellte Pflanzenkohle muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- ein Kohlenstoffgehalt von mehr als 50% der Trockenmasse
- ein molares H/Corg-Verhältnis kleiner als 0,7
- ein molares O/Corg-Verhältnis kleiner als 0,4
- Einhaltung folgender Grenzwerte für Schwermetalle müssen eingehalten werden
(*basic*: Pb<150gt⁻¹ TM; Cd<1,5gt⁻¹ TM; Cu<100gt⁻¹ TM; Ni<50gt⁻¹ TM; Hg<1gt⁻¹ TM; Zn<400gt⁻¹ TM; Cr<90gt⁻¹ TM; As<13gt⁻¹ TM, *premium*: Pb<120gt⁻¹ TM; Cd<1gt⁻¹ TM; Cu<100gt⁻¹ TM; Ni<30gt⁻¹ TM; Hg<1gt⁻¹ TM; Zn<400gt⁻¹ TM; Cr<80gt⁻¹ TM; As<13gt⁻¹ TM)
- PAK-Gehalte: *basic* unter 12 mg kg⁻¹ TM, *premium* unter 4 mg kg⁻¹ TM
- PCB-Gehalt muss unter 0,2 mg kg⁻¹ TM; der Gehalt an Dioxinen und Furanen jeweils unter 20 ng kg⁻¹ (I-TEQ OMS)

Darüber hinaus **müssen pH-Wert, Schüttdichte, Wassergehalt, Wasserhaltevermögen und die spezifische Oberfläche** sowie die Nährstoffgehalte von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium der Pflanzenkohle bestimmt werden.

Das EBC definiert die Pyrolysetechnik:

- als energieeffizienter Prozess;
- bei der die Synthesegase abgefangen werden müssen und nicht in die Atmosphäre entweichen dürfen;
- bei der die national geltenden Emissionsgrenzwerte bei der Verbrennung der Synthesegase eingehalten werden müssen;
- bei der die Abwärme der Pyrolyseanlage genutzt werden muss.

Das EBC schreibt die Einhaltung des Arbeitsschutzes vor.

Vollständige EBC Richtlinien als Download: www.european-biochar.org

Quelle: EBC (2012) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland.

<http://www.european-biochar.org/en/download. Version 8G vom 1. Januar> 2018, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

Die Qualität von Pflanzenkohle: Einfache Tests

Die Pflanzenkohle lässt sich mit einfachen Tests auf ihre Qualität überprüfen. Dazu zählen die Untersuchung der vollständigen Karbonisierung und ein Tast- und Geruchstest. **Achtung:** Der Test ersetzt keine Laboruntersuchungen. Die Pflanzenkohle sollte deswegen nicht im Kompost eingesetzt werden. Verwenden Sie nur zertifizierte Pflanzenkohle.

Überprüfen Sie die Pflanzenkohle hinsichtlich folgende Kriterien.

Vollständige Karbonisierung

Welche Farbe hat die Pflanzenkohle von außen? Welche Farbe hat die Pflanzenkohle, wenn Sie sie aufbrechen? Ist sie vollständig schwarz?



Ja



Nein

Tasttest

Fast die Pflanzenkohle sich ölig an?



Ja



Nein

Geruchstest

Ist die Pflanzenkohle geruchslos?



Ja



Nein

Negativkriterien:

Wenn die Kohle nicht schwarz ist, dann ist sie nicht vollständig karbonisiert.

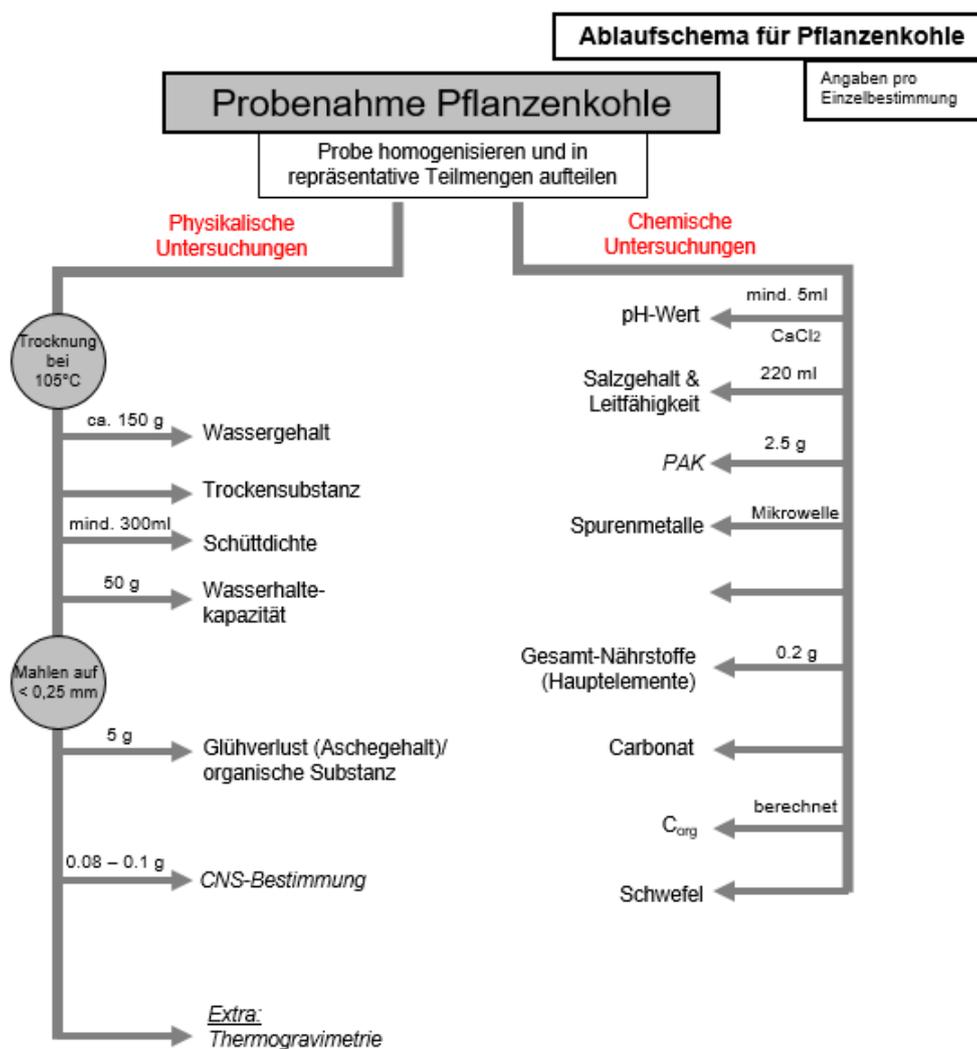
Wenn die Pflanzenkohle ölig ist und nach etwas riecht ist sie von schlechter Qualität.

Wenn die Kohle rauchig riecht, ist sie möglicherweise gesundheitsgefährdend und von schlechter Qualität.

Hinweis: Herkömmlich wird die Qualität der Pflanzenkohle von Herstellern im Labor überprüft. Die Analytik ist Voraussetzung für die Vergabe des „Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC)“. Im Labor wird untersucht, welche Leitfähigkeit, welchen pH-Wert, Wasser-, Asche-, Kohlenstoff-, Sauerstoff und Stickstoffgehalt die Pflanzenkohle hat sowie welche Spurenmetalle (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As) und welche polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe und Hauptelemente (P, Mg, Ca, K, Na, Fe, Si, S) in ihr enthalten sind.

Laboruntersuchungen

Das „Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC)“ schreibt zur Qualitätssicherung der Pflanzenkohle verschiedene analytische Verfahren vor. Es wird untersucht, welche Leitfähigkeit, welchen pH-Wert, Wasser-, Asche-, Kohlenstoff-, Sauerstoff und Stickstoffgehalt die Pflanzenkohle hat sowie welche Spurenmetalle (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As) und welche polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe und Hauptelemente (P, Mg, Ca, K, Na, Fe, Si, S) in ihr enthalten sind. Die Übersicht zeigt den Ablauf der Laboruntersuchungen.



Probenvorbereitung/ Homogenisierung

Zuerst wird die Probe in repräsentative Teilmengen aufgeteilt. Dieses Aufteilen der Probe geschieht durch Vierteln und Teilen der homogenisierten und aufgehäuften Probe.

- Ca. 100g der Originalprobe werden für die Bestimmung der Leitfähigkeit, des Salzgehaltes und des pH-Wertes abgefüllt.
- Ein Teil der Probe wird bei 40°C getrocknet und nach der Trocknung weiter aufgeteilt.
- Ca. 50g der 40°C getrockneten Probe werden in einer Schwingmühle (oder Mörser) analysenfein gemahlen und zur weiteren Analytik (PAK, TGA, Asche; CHN, S, Spuren- und Hauptelemente) weiter verteilt.

Wassergehalt (WG)

Der Gesamtwassergehalt der Probe ist für die Bestimmung weiterer Parameter, wie die Wasserhaltekapazität (WK_{max}) wichtig. Er kann u.a. über das Zwei-Stufen-Verfahren ermittelt werden.

Vereinfacht kann der Wassergehalt nur über die Trocknung im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz bestimmt werden. Das so getrocknete Material kann hierbei gleich weiter genutzt werden, z.B. zum Mörsern und Vorbereitung zu weiteren Analysen.

Materialien:

- Probenmaterial (100g bis 1000g)
- Wärmeschrank
- Trocknungsschale
- Waage

Kurzbeschreibung der Methode:

Für die *Bestimmung der Groben Feuchtigkeit (FG)* das Probenmaterial gleichmäßig in einer Trocknungsschale verteilen, auf 5g wiegen und in einem Wärmeschrank bei $(40\pm 2)^\circ\text{C}$ bis zur Massenkonzanz trocknen. Falls erforderlich, wird die Probe insgesamt auf mehrere Bleche verteilt.

Für die *Bestimmung der Hygroskopischen Feuchtigkeit (FH)* wird eine Teilmenge der luftgetrockneten und unter 1mm Korngröße zerkleinerten Probe unmittelbar nach dem Teilen auf 1g in einen TGA-Tiegel eingewogen und bei $(106 \pm 2)^\circ\text{C}$ unter Stickstoffatmosphäre bis zur Massenkonzanz getrocknet.

Auswertung:

Grobe Feuchtigkeit (FG) in %

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

FG = Grobe Feuchtigkeit in %

mE = Einwaage an Probengut in g

mR = Rückwaage an Probengut in g

Hygroskopische Feuchtigkeit (FH) in %

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

FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %

mE = Einwaage an Probengut in g

mR = Rückwaage an Probengut in g

Gesamtwassergehalt (W_t) in %

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

W_t = Gesamtwassergehalt in %

FG = Grobe Feuchtigkeit in %

FH = Hygroskopische Feuchtigkeit in %

Trockensubstanz

Da der Feuchtegehalt verschiedener Ausgangsstoffe stark variieren kann, ist es wichtig die Trockensubstanz (auch Trockenmasse) einer Probe zu bestimmen um einen vergleichbaren Referenzwert zu erhalten. Daher beziehen sich Grenzwerte für bspw. den Mindestkohlenstoffgehalt oder die Schadstoffbelastung der Pflanzenkohle auch auf die Trockensubstanz, d.h. auf das von Gasen und Wasser befreite Probenmaterial.

Material:

- Waage
- Muffelofen
- Exsiccator

Kurzbeschreibung der Methode:

Mindestens 50g der Probe werden entnommen und soweit erforderlich, unter Vermeidung von Feuchtigkeitsänderungen zerkleinert. 5g Kohle werden auf 1mg genau eingewogen und bei 105°C 4 h getrocknet. Nach dem Beladen des Ofens beginnt die Trocknungszeit erst nach genauem Erreichen der 105°C. Nach dem Abkühlen im Exsiccator wird auf 1mg genau zurückgewogen.

Trockensubstanz =

Schüttdichte

Die Schüttdichte ist ebenso wie der Wassergehalt eine notwendige Angabe um die Herstellung homogener Substratmischungen oder Filtermittel mit jeweils gleichbleibendem Kohlenstoffanteil zu ermöglichen.

Material:

- Messzylinder (1l)
- Fallvorrichtung zum Verdichten

Kurzbeschreibung der Methode:

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

$$\rho_{Sch} = \frac{m}{V_{Sch}}$$

m= Masse der Schüttung

V_{Sch}= Schüttvolumen

Wasserhaltekapazität (WK_{max})

Die Wasserhaltekapazität (auch: Wasserhaltevermögen (WHC)) liefert einen Richtwert für die Mischung mit Flüssigkeiten und die Wirksamkeit für die Erhöhung des Wasserspeichervermögens von Böden oder auch für die Feuchtigkeitsaufnahme von Baumaterialien.

Material:

- Filterpapier
- Zylinder (250ml)
- Kies
- Waage
- Pflanzenkohle (50g)
- Wasserbad
- Sandbett

Kurzbeschreibung der Methode:

Filterpapier in Zylinder (250ml) einlegen und 5 Löffel Kies einfüllen. Den Kies im Zylinder befeuchten und wiegen (m_{tara}) bestimmen. Einfüllen von 50g Pflanzenkohle (abhängig von Zylindergröße) und dann erneut wiegen. Anschließend den Zylinder mit Probe in einem Wasserbad für einen Zeitraum von 24 Stunden sättigen. Bitte Vorsicht beim Wässern, der Zylinder kann aufschwimmen. Im Anschluss wird die Probe für 2 Stunden auf ein trockenes Sandbett aufgesetzt, um ungebundenes Wasser abziehen. Abschließend wird der Zylinder gewogen. und die Wasserhaltekapazität bestimmt. Zur Auswertung werden zusätzlich die Angaben zum Anfangswassergehalt (WG) der eingesetzten Probe und deren Rohdichte (RD_{FS}) benötigt.

Masse der trockenen Probe (E_{tr}):

$$E_{tr} = (m_E - m_{tara}) * (1 - \frac{WG}{100})$$

Masse der nassen Probe (E_n):

$$E_n = m_{brutto} - m_{tara}$$

gespeicherte Wassermenge (W_m):

$$W_m = E_n - E_{tr}$$

Probenvolumen (PV):

$$PV = \frac{m_E - m_{tara}}{RD_{FS}}$$

Maximale Wasserkapazität (WK_{max}) Angabe in [Vol %]:

$$WK_{max} = \frac{W_m}{PV}$$

WG: Wassergehalt [Gew %]

RD_{FS} : Rohdichte frisch [kg/l] → vereinfacht: Schüttdichte nehmen

m_{tara} : Masse Zylinder + feuchtes Filterpapier und Kiesboden

m_E : m_{tara} + eingewogene Probe

m_{brutto} : Masse Zylinder + nasse Probe

Aschegehalt (550°C)

Die Bestimmung des Aschegehalts in der Pflanzenkohle ist vor allem in Hinblick auf Nutzung in der Tierhaltung entscheidend, da vermutet wird, dass ein erhöhter Aschegehalt langfristig einen negativen Effekt auf die Tiergesundheit haben könnte (dies ist jedoch noch nicht bestätigt).

Wenn die Pflanzenkohle als Futtermittelzusatz verwendet werden soll, wird vom Rohascheanteil gesprochen. Als Rohasche wird dabei der Anteil anorganischer Bestandteile bezeichnet, der im Futtermittel nach der Veraschung (bei 550°C) übrigbleibt und entspricht somit dem Aschegehalt. Es handelt sich um die mineralischen Bestandteile des Futters.

Material:

- Veraschungsschale
- Muffelofen
- Exsiccator

Kurzbeschreibung der Methode:

Etwa 5g Probe werden auf 1mg genau in eine geglühte und tarierte Veraschungsschale eingewogen. Die Schale wird in einen Muffelofen gebracht und bei $550^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ so lange belassen, bis keine Kohlepartikel mehr zu erkennen sind. Nach Abkühlung im Exsiccator wird auf 1mg zurückgewogen.

Aschegehalt =

Der Anteil, der während des Prozesses verglüht, der sogenannte Glühverlust, entspricht dem organischen Kohlenstoffanteil C_{org} der Probe.

pH-Wert

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

Material:

- 0,01M CaCl₂ Lösung
- Reagenzglas o.Ä.
- Teststäbchen/Testgerät zur pH-Wert Bestimmung

Kurzbeschreibung der Methode:

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

pH-Wert =

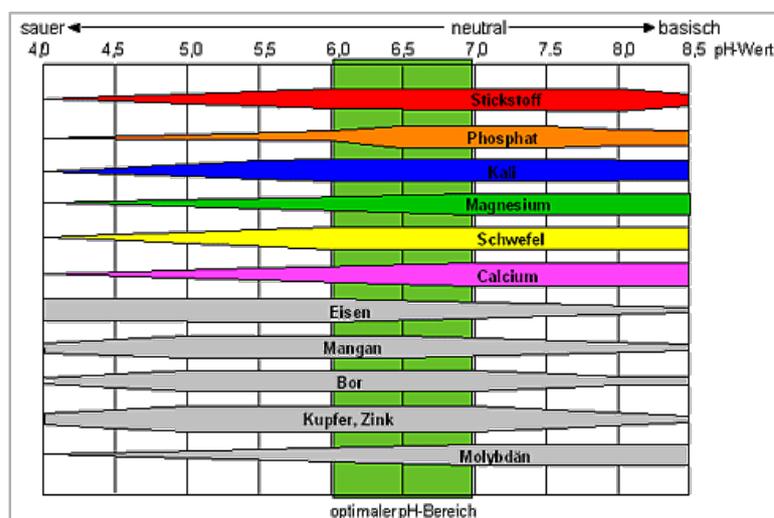


Abb.: optimaler pH-Bereich in Bezug zur Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen

Leitfähigkeit und Salzgehalt

Über die Bestimmung der Leitfähigkeit können Aussagen zum Nährstoff- und Salzgehalt von Pflanzenkohle getroffen werden. Die Leitfähigkeitsmessung erfasst nach Herstellung einer Probenlösung ebenso wie in Nährlösungen die frei beweglichen Ionen und damit die Nährstoffe.

Material:

- 200ml destilliertes Wasser
- Filter
- EC-Messgerät

Kurzbeschreibung der Methode:

Zur Messung der Leitfähigkeit ist die Herstellung einer Probenlösung notwendig. Es werden 20ml leicht verdichtetes Substrat in 200ml destilliertes Wasser gegeben und dann ca. 1 Stunde geschüttelt (Verdünnung 1:10). Im Labor erfolgt das Schütteln kontinuierlich mit speziellen Apparaten, für den Schnelltest ist mehrmaliges kräftiges Schütteln innerhalb der Stunde ausreichend. Nach dem Schütteln wird die Probenlösung gefiltert und anschließend mit dem EC-Messgerät die Leitfähigkeit bestimmt.

Zur Bestimmung des Salzgehaltes wird das Ergebnis mit dem Verdünnungsfaktor (in diesem Falle 10) und dem Faktor 0,528 für die Umrechnung der Leitfähigkeit in den Salzgehalt multipliziert. Dieser Umrechnungsfaktor bezieht sich auf eine Temperatur von 25°C. Es handelt sich hierbei lediglich um eine Annäherung und bezieht sich auf den Kaliumchloridgehalt des Wassers. Am aussagekräftigsten wäre daher die direkte Ionenkonzentrationsbestimmung.

Beispiel: Anzeige: 0,5 mS/cm

Salzgehalt: $5 * 10 * 0,528 = 2,6 \text{ g/l}$

Leitfähigkeit =

Salzgehalt=

C/H/N

Die Elementaranalyse auf Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff ist meist zur elementar-analytischen Beschreibung einer organischen Probe ausreichend. Eine Vielzahl von Verbindungen enthält außer den drei genannten Elementen nur noch Sauerstoff, der im Allgemeinen nicht eigens bestimmt wird. Auch das H/C- und O/C-Verhältnis wird aus dieser Analyse abgeleitet.

Material:

- Analysegerät: TruSpec CHN (Hersteller: Leco) oder: TruSpec CHNS
- 80-100mg der vorgetrockneten und zerkleinerten Probe

Kurzbeschreibung der Methode:

Die Probe wird auf 0,1% (relativ) direkt in eine Zinn-Kapsel eingewogen und diese verschlossen. Analyse der Messprobe im Gerät. Angabe des Kohlenstoffgehaltes, des Wasserstoffgehalt und des Stickstoffgehaltes in Massenprozent. Beim TruSpec CHNS erhält man zusätzlich noch den Schwefelgehalt der Probe.

ein Teil der an der Pflanzenkohle gebundenen PAK pflanzenverfügbar ist, so ist die Pflanzenverfügbarkeit doch deutlich niedriger als bei Kompost, Gärresten oder Gülle. Wegen der hohen Toxizität der PAK wurde auch für Pflanzenkohle ein Grenzwert von *12mg/kg Trockenmasse* festgelegt, der nicht überschritten werden darf.

Material:

- 2,5g Probenmaterial (vorgetrocknet und zerkleinert)
- 50ml Toluol
- Gaschromatograph (oder: High pressure liquid chromatograph (HPLC))

Kurzbeschreibung der Methode:

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

Spurenmehalle nach Mikrowellenaufschluss (Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Zn, Cr, B, Mn, As)

Außer einigen wenigen Spurenmehallen (auch: Schwermetallen), die bei den vorherrschenden Pyrolysetemperaturen flüchtig oder halb-flüchtig sind (z.B. Quecksilber), bleibt die gesamte Menge an Schwermetallen der ursprünglich verwendeten Biomasse im Endsubstrat erhalten. Wie bei der Kompostierung werden die Schwermetalle auch während der Pyrolyse aufkonzentriert, so dass der prozentuale Gehalt im Endsubstrat höher als im Ausgangsmaterial ist. Allerdings werden viele Schwermetalle sehr effizient von der Pflanzenkohle fixiert und langfristig immobilisiert. Dennoch gelten auch hier Grenzwerte.

Material:

- Salpetersäure (6ml)
- Wasserstoffperoxid (2ml)
- Flusssäure (0,4ml)
- Reaktionsgefäß
- Mikrowelle

Kurzbeschreibung der Methode:

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

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

zusätzlich nur notwendig bei Messung mittels ICP-OES:

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

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

Nach vollständiger Abkühlung werden die Reaktionsgefäße geöffnet und die Aufschluss-Lösung in 50ml Kunststoff-Maßkolben überführt und mit entionisiertem Wasser aufgefüllt. Die Verdünnten Aufschlusslösungen werden mittels ICP-MS vermessen. Zur Bestimmung der Quecksilbergehalte wird mittels Kaltdampf-AAS bestimmt.

Grenzwerte nach EBC (auf die Trockenmasse bezogen):

Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Cr	As
< 150 mg/kg	< 1,5 mg/kg	< 100 mg/kg	< 50 mg/kg	< 1 mg/kg	< 400 mg/kg	< 90 mg/kg	< 13 mg/kg

Alternativ kann dieser Schritt auch mittels Königswasseraufschluss durchgeführt werden.

Hauptelemente nach Schmelzaufschluss (P, Mg, Ca, K, Na, Fe, Si, S)

Dieses Verfahren dient dazu den Nährstoffgehalt der Pflanzenkohle zu bestimmen.

Material:

- Platintiegel
- Salzsäure
- Asche Probenmaterial (200mg)
- ICP-OES oder ICP-MS

Kurzbeschreibung der Methode:

Der Schmelzaufschluss wird an der Asche der Pflanzenkohle durchgeführt. 200mg der analysenfeinen Asche werden in einen Platintiegel eingewogen und mit 2g Lithiummetaborat intensiv vermischt. Der Platintiegel wird in einen Aufschlusssofen gestellt. Der Aufschluss verbleibt mindestens 15min bei 1050°C im Ofen. Die Schmelze wird in Salzsäure aufgelöst und auf 500ml aufgefüllt. Die Proben werden am ICP-OES oder ICP-MS vermessen.

Carbonat

Der Kohlenstoffgehalt der Pflanzenkohle ist für die Zertifizierung ein wichtiges Kriterium. Der Gesamtgehalt an Kohlenstoff der Pflanzenkohle setzt sich zusammen aus dem anorganisch und organisch enthaltenem Kohlenstoff. Anorganisch liegt Kohlenstoff als Carbonat (CO₃) vor und kann nach der folgend erklärten Methode bestimmt werden. Da für die Herstellung der Pflanzenkohle nur organisches Restmaterial verwendet wird, sollte in der Kohle hauptsächlich organischer Kohlenstoff enthalten sein.

Material:

- Zersetzungskolben

- Waage
- Absorptionslösung aus BaCl₂ und NaOH Lösung
- Zersetzungssäure HCl mit HgCl₂ und einem Netzmittel

Kurzbeschreibung der Methode:

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

Carbonat-Gehalt =

C_{org} (berechnet):

Aus den bisher ermittelten Gehalten können weitere Größen und Verhältnisse berechnet werden. Der C_{org} ergibt sich aus dem Gesamtkohlenstoffgehalt abzüglich des als Carbonat vorliegenden Kohlenstoffanteils. Der organische Kohlenstoff kann und wird in der Praxis meist mittels der vorangegangenen Analysen mitbestimmt.

Berechnung:

$$C - \text{Carbonatanteil} = C_{org}$$

Schwefel nach DIN 51724-3:

Der Schwefelgehalt wird i.d.R. auch über die Elementaranalyse bestimmt. Er kann alternativ mit nachfolgendem Verfahren bestimmt werden.

Schwefel spielt vor allem für den pH-Wert im Boden oder Kompost eine entscheidende Rolle.

Material:

- Keramik Tiegel
- IR-Zelle
- V₂O₅

Kurzbeschreibung der Methode:

Die vorgetrocknete und zerkleinerte Probe wird in einem Keramik-Tiegel (unter Zuhilfenahme von V_2O_5) bei hoher Temperatur ($> 1300^\circ\text{C}$) im Sauerstoffstrom oxidiert. Das entstehende SO_2 wird in einer IR-Zelle analysiert und einwaagebezogen als Gesamtschwefel angegeben

EXTRA

Thermogravimetry (Thermal-Gravimetric-Analysis (TGA)):

Dieses Verfahren dient der Bestimmung des Anteils an flüchtigen organischen Verbindungen (*engl. Volatile organic compounds (VOC)*) -in der Pflanzenkohle. Die VOC sind hauptsächlich im Pyrolysegas enthalten, welches teilweise an der Oberfläche und in den Poren der Pflanzenkohle kondensiert. Somit sind VOC ein essentieller Bestandteil der Pflanzenkohle und für viele ihrer Funktionen von Bedeutung. Der VOC Gehalt ist zudem ein wichtiger Anhaltspunkt für die

Beurteilung des Pyrolyseprozesses. Die TGA bestimmt durch schrittweise Temperaturerhöhung unter Luftabschluss den Gewichtsverlust der flüchtigen Verbindungen der Pflanzenkohle. Je später das Maximum an Gewichtsverlust erreicht wird, desto besser die Qualität der Pflanzenkohle (da ein höherer C- und geringer Schadstoffanteil enthalten ist).

Material:

- 1g vorgetrocknetes, gemahlenes Probenmaterial
- TGA-Ofen

Kurzbeschreibung der Methode:

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

TGA-Kurve (Skizze) =



Methoden nach:

EBC (2012) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland.

<http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 7.4 of 14th August 2017, DOI:

10.13140/RG.2.1.4658.7043

C/H/N-Erklärung nach: Universität Wien, Fakultät für Chemie, <https://www.univie.ac.at/Mikrolabor/chn.htm>

Die Herstellung von Pflanzenkohle

1. Erläutern Sie anhand der Abbildung das Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle.

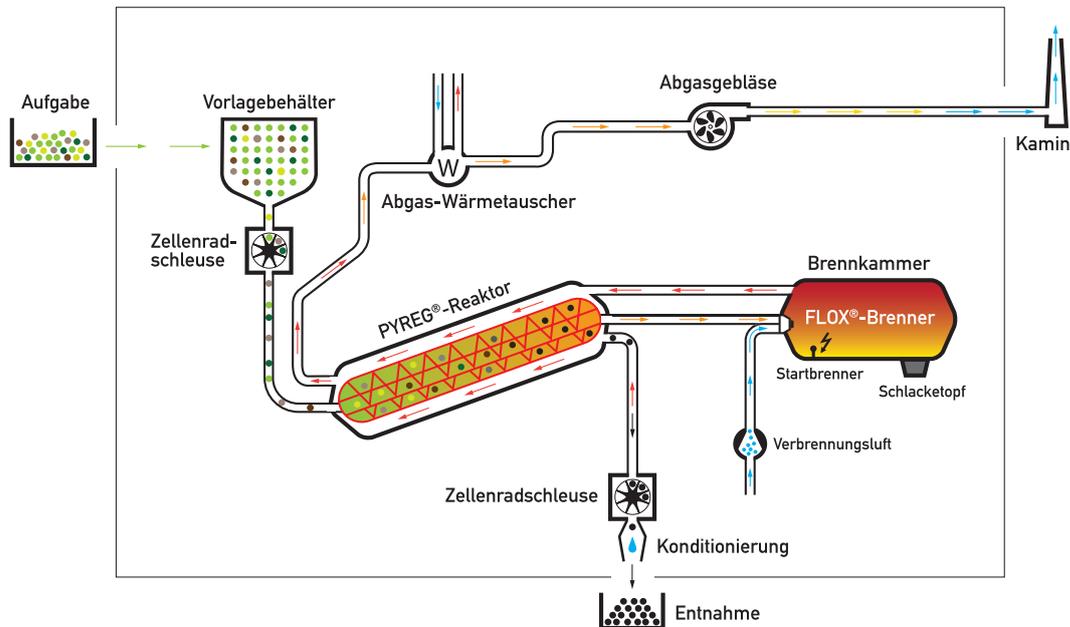


Abb: PYREG-Anlage

2. Nennen Sie die wichtigsten EBC-Kriterien für eine nachhaltige Herstellung von Pflanzenkohle in Bezug auf die eingesetzte Biomasse und die Pyrolysetechnik.
3. Nennen Sie 5 zulässige Biomassen, aus denen Pflanzenkohle hergestellt werden kann.
4. Welche Produkteigenschaften werden auf der zertifizierten Pflanzenkohle ausgewiesen? Nennen Sie drei Beispiele und begründen Sie, warum diese ausgewiesen sind.
5. Vergleichen Sie zwei verschiedene Anlagen zur Herstellung von Pflanzenkohle miteinander.

Links:

Bioacon: <https://www.bioacon.com/technologie>

Pyreg: <https://www.pyreg.de/karbonisierung/>

Regenis: <http://www.rewenergy.de/produkte/regenis-max-pyrolysereaktor/>

BlackCarbon (englisch): <http://www.blackcarbon.dk/Unit>

Was ist ein Kompost?

Die Natur kennt keine Abfälle

Bei der Kompostierung ahmen wir dem Kreislauf der Natur nach, nur intensiver und durch uns gesteuert. In einem Kompost verwandeln sich die meisten organischen Abfälle zu fruchtbarer, humusähnlicher Erde. Schon seit Jahrtausenden wird kompostiert, um die Bodenfruchtbarkeit und das Pflanzenwachstum zu fördern.

Wissenschaftliche Definition

Bei der Kompostierung wird organisches Material unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und mit Hilfe von Bodenlebewesen, Bakterien und Pilzen abgebaut. Dabei werden neben Kohlenstoff (CO_2) auch wasserlösliche Mineralstoffe wie Nitrate, Ammoniumsalze, Phosphat, Kalium und Magnesium und Wasser freigesetzt. Ein Teil dieser organischen Zwischenprodukte wandelt sich dabei zu fruchtbarer Erde, auch Humus genannt.

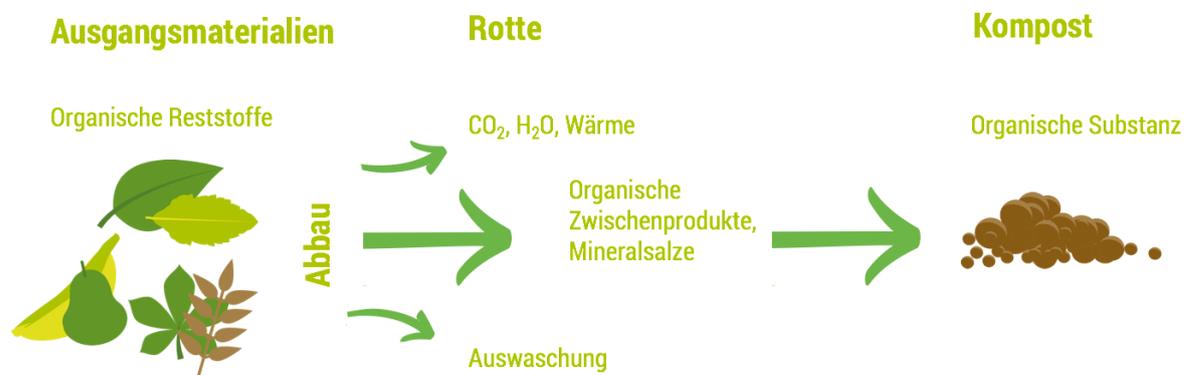


Abb.: Eigene schematische Darstellung der Kompostierung

Die Verwendung von Kompost

Kompost kann vielseitig eingesetzt werden: zur Rekultivierung und als Ersatz für Oberboden, zur Herstellung von Pflanzsubstraten, für neue Anlagen, zur Pflege von Pflanzen- und Rasenflächen, zum Mulchen, für Vegetationstragschichten in Lärmschutzwänden oder Rasengittersteine.

Die Wirkung von Kompost

Kompost ist Humuslieferant

Durch den Kompost gelangen besonders stabile und hochwertige organische Substanz in den Boden, die die vielfältigen Bodeneigenschaften verbessern und das Bodenleben fördern.

Kompost ist Lieferant für Nährstoffe

Da hauptsächlich mit Pflanzenresten kompostiert wird, enthält der Kompost viele Nährstoffe, die Pflanzen zum Wachsen brauchen. Dazu gehören Kalium, Phosphat, Magnesium, Schwefel und Stickstoff. Der Kompost kann so den Bedarf der Pflanzen an diesen Nährstoffen vollständig decken. Zusätzlicher chemischer Dünger entfällt.

Kompost reguliert pH-Wert

Kompost enthält basisch wirksame Stoffe und reguliert den pH-Wert des Bodens, so dass eine Kalkung nicht mehr erforderlich ist.

Kompost fördert Bodenleben

Kompost regt die Aktivität von Bodenlebewesen an, deren Nahrung der Humus ist. Der Kompost wirkt gegen Krankheitserreger und fördert damit die Pflanzengesundheit.

Kompost verbessert die Bodenstruktur

Der auf den Boden gebrachte Kompost lockert den Boden und erleichtert seine Bearbeitung. Bei starkem Regen verschlammt die Oberfläche nicht.

Kompost speichert Wasser

Durch den Kompost kann der Boden besser Wasser aufnehmen und speichern. Kompost wird zu Bodenhumus, der das Drei- bis Fünffache seines Eigengewichtes aufnehmen kann. In trockenen Sommern sind die Pflanzen somit länger mit Wasser versorgt.



Warum kompostieren?

Die Kompostierung hat viele Vorteile. Es werden Pflanzenreste aus Garten und Küche verwertet und in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt. Es wird Humus und damit eigener organischer Dünger für das Gärtnern erzeugt. Damit werden Entsorgungskosten eingespart und der Zukauf von Substrat und chemisch hergestellten Düngern vermieden. Der Kompost verbessert die Bodenqualität, es gibt mehr Lebewesen und Mikroorganismen, mehr Nährstoffe und Wasser für die Pflanze und eine bessere Bodenstruktur. Durch die Kompostierung werden Krankheitserreger (pathogene Mikroorganismen, Viren und Parasiten) und Unkrautsamen abgetötet sowie schlechte Gerüche beseitigt.

Kompostwirtschaft in Deutschland

Kompostiert wird im grossen und im kleinen Stil. Neben dem kleinen Kompost für den Garten oder die Schule kompostieren beispielsweise auch Betriebe der Abfallentsorgung. In Deutschland werden jährlich etwa 4 Millionen Tonnen Bioabfälle aus den Biotonnen privater Haushalt zusammen mit den 5,3 Millionen Tonnen Grünabfällen aus Garten- und Parkanlagen, aber auch aus organischen Abfällen aus der Industrie kompostiert.



Daraus entstehen pro Jahr mehr als 5 Millionen Tonnen Kompost. Zur Sicherung der Qualität der Komposte wurde eine RAL-Gütezeichen geschaffen, eine freiwillige Produktzertifizierung der Hersteller, die die Qualität der Komposte durch unabhängige Labore sicherstellen. Gegenwärtig unterliegen 531 Kompostanlagen in Deutschland dieser Gütesicherung.

Abb.: RAL-Gütezeichen der Bundesgemeinschaft Kompost

Kompostprodukte

Es werden drei Kompostprodukte unterschieden.

Frischkompost: hygienisierter, in Rotte befindlicher Kompost zur Bodenverbesserung und Düngung.

Fertigkompost (Reifekompost): hygienisierter, biologisch stabilisierter Kompost zur Bodenverbesserung und Düngung.

Substratkompost: Fertigkompost mit begrenzten Gehalten an löslichen Pflanzennährstoffen und Salzen als Mischkomponenten.

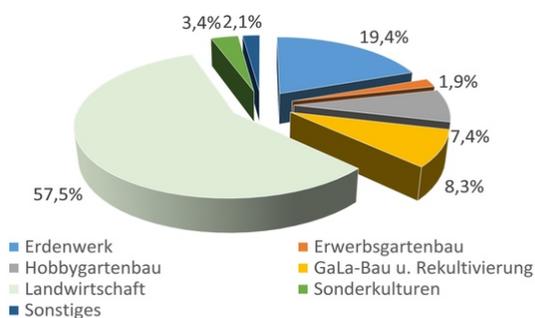
Darüber hinaus werden die Komposte in verschiedenen Absiebungen verkauft:

Feinkörnig = 0 - 12 mm

Mittelkörnig = 0 - 25 mm

Grobkörnig = 0 - 40 mm.

Verwendung der Komposte



Die Komposte werden hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzt. Weitere Abnehmer sind Erdenwerke und der Gala-Bau. Das Diagramm verdeutlicht die Verwendung und die jeweiligen Anteile.

Abb.: Verwendung von RAL-Gütesicherten Komposten 2017

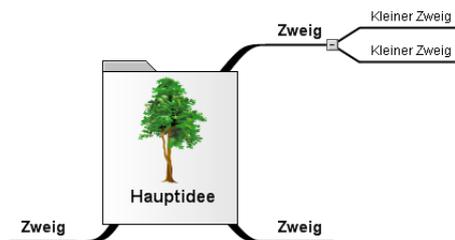
Aufgabe

Lesen Sie den Text.

Stellen Sie in einer Mindmap das Thema Kompost mit seinen Aspekten dar. Stellen Sie darüber hinaus die ökologischen, sozialen und ökonomischen Vorteile und Nachteile der Kompostierung dar.

Hinweise zur Mindmap

Eine Mindmap weist eine bestimmte Struktur auf. Sie hat ein Zentrum/ Thema, welches sich nach außen hin verästelt und in Unterthemen aufgliedert. Durch Linien, Symbole, Bilder und Grafiken wird das Thema veranschaulicht.



Vorgehensweise

1. Für die Mindmap brauchen Sie ein Blatt Papier A3 im Querformat und farbige Stifte.
2. Schreiben und zeichnen Sie das Thema in die Mitte des Blattes.
3. Ordnen Sie nun die wichtigsten Unterthemen (Zweige) kreisförmig um das Zentrum an. Die Zweige enthalten ebenfalls ein Bild oder Symbol.
4. Die Themen verästeln sich nun weiter in kleiner Zweige.

Bildmaterial Kompost



















1. Folie

Im folgenden Vortrag wird Ihnen das Kompostieren nach dem Terra Preta Prinzip vorgestellt.

2. Folie

Die Kompostierung nach dem Terra Preta-Prinzip lässt sich auf unterschiedliche Art und Weise praktizieren:

- 🪵 **aerob**, unter Zufuhr von Sauerstoff erfolgt ein mikrobieller Abbau (Verrottung). Diese Art der Kompostierung wird auch als Heißrotte bezeichnet.
- 🪵 **anaerobe Vorbehandlung**, unter Luftabschluss wird eine milchsäure Fermentierung und Konservierung der pflanzlichen Biomasse herbeigeführt. Diese Art der Behandlung wird auch als Bokashierung (Japanisch für fermentiertes organisches Material) bezeichnet. Sie findet in einem geschlossenen Eimer und mithilfe von „Effektiven Mikroorganismen“ statt. Die Fermentierung ist auch eine Methode zur Konservierung von Lebensmitteln. Beispielsweise wird Sauerkraut so hergestellt. Im Anschluss wird der Bokashi ausgebracht und verrottet (aerob) langsam zu Erde. Bokashi hat eine sehr gute Düngewirkung.

3. Folie

Die Abbildung zeigt den Prozess der Fermentierung und Kompostierung in einem Schaubild.

4. Folie

Beide Techniken zur Herstellung von Kompost haben ihr Für und Wieder. Für das Bokashi spricht, dass es für kleiner Mengen bereits geeignet ist, die laufend anfallen. Im Gegensatz zur Heißrotte, bei der eine Hygienisierung des Materials erst bei Temperaturen um die 55°C einsetzt, ist diese beim Bokashi durch die Fermentierung sichergestellt. Für die anaerobe Kompostierung fällt darüber hinaus noch ein weitere zu kaufender Stoff an, die Effektiven Mikroorganismen. Diese sind ab 4,90 EUR pro Liter erhältlich. Durch die Bokashisierung entsteht nur ein Vorprodukt, konservierte Biomasse, die weiter vererdet werden muss.

5. Folie

Im Folgenden wenden wir uns der aeroben Kompostierung zu. Das Wort **Kompost** ist abgeleitet von lateinisch *compositum*, „das Zusammengestellte“. Mit Kompost werden sowohl die Sammelstätte, der Komposthaufen, als auch das durch die Verrottung entstandene Produkt, der fertige Kompost bezeichnet.

6. Folie

Die wissenschaftliche Definition lautet: Bei der aeroben Kompostierung wird organisches Material unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und mit Hilfe von Bodenlebewesen, Bakterien und Pilzen abgebaut. Dabei werden neben Kohlenstoff (CO₂) auch wasserlösliche Mineralstoffe wie Nitrate, Ammoniumsalze, Phosphat, Kalium und Magnesium und Wasser freigesetzt. Ein Teil dieser organischen Zwischenprodukte wandelt sich dabei zu fruchtbarer Erde, auch Humus genannt.

Der Kompost ist das „schwarze Gold“ der Gärtnernden, denn er verbessert den Boden, dient zur Rekultivierung von Flächen und zur Herstellung von Substraten. Kompost ist, abhängig vom Nährstoffgehalt, ein vollwertiger Dünger, so dass sich andere Düngemittel einsparen lassen.

Bei der Kompostierung wird zwischen der privaten Kompostierung im Garten und der betrieblichen Kompostierung durch kommunale oder privatwirtschaftliche Unternehmen unterschieden.

7. Folie

Welche organischen Abfälle dürfen kompostiert werden? Können Sie Beispiele nennen?

-  ungekochte Küchenabfälle
-  Stroh
-  Laub (nur kleine Mengen von schwer zersetzbares Laub der Eiche, der Walnuss)
-  Rasenschnitt
-  Heu
-  Strauch- und Baumschnitt
-  Einstreu aus Sägespäne von pflanzenfressenden Kleintieren
-  Stallmist
-  Pflanzenkohle (10% bis 15 % der Kompostmenge)

8. Folie

Welche organischen Abfälle dürfen nicht kompostiert werden? Können Sie Beispiele nennen?

-  Stark gesalzene und gekochte Speisereste
-  Fleischreste, Knochen
-  Bedrucktes Papier (Belastung mit Chlorbleiche, Schwermetallen und anderen Chemikalien)
-  Mit Konservierungsstoffen, Pestiziden behandelte Pflanzenreste (z.B. Zitronenschalen)
-  Mit Pilzkrankheiten (Kohlhernie, Monilia, Kräuselkrankheit) befallene Pflanzen
-  Mit langlebigen Schädlingen befallene Pflanzen (Moniermotte, Eichenspinner)

-  Mit Kraut- und Braunfäule befallene Tomaten
-  Wurzelunkräuter und stark besamte Beikräuter, z.B. Franzosenkraut

9. Folie

Für eine Kompostierung in der Heißrotte ist es wichtig, dass die Kompostmaterialien im richtigen Mischungsverhältnis sowohl kohlenstoffhaltig als auch stickstoffhaltig sind und mindestens 1 m³ Kompostvolumen ergeben.

Der Abbau und die Umwandlung der organischen Abfälle im Kompost findet durch Mikroorganismen und Kleintiere, z.B. Kompostwürmern, statt. Die Mikroorganismen, die für den Abbau der Pflanzenreste sowie für den Um- und Aufbau zu stabilen Humusverbindungen verantwortlich sind, benötigen Sauerstoff und Wasser sowie Kohlenstoff und Stickstoff in einem bestimmten Verhältnis. Denn je mehr kohlenstoffhaltiges im Vergleich zu stickstoffhaltigen Material im Kompost, desto zögerlicher verläuft die Kompostierung. Das Mischungsverhältnis von kohlenstoffreichen Abfällen wie Laub oder Stroh zu stickstoffreichen Materialien wie Rasenschnitt oder frischem Grünschnitt sollte bei ca. 30:1 liegen. Die Tabelle zeigt, welches C/N Verhältnis die jeweiligen Kompostmaterialien in der Regel haben.

Wenn Sie sich die Tabelle anschauen, welchen Materialien sind besonders kohlenstoffhaltig?

Kompostmaterial	C/N- Verhältnis
Gemüseabfälle	20:1 bis 25:1
Rasenschnitt	12:1 bis 25:1
Grünschnittabfälle	30:1 bis 40:1
Trockenes Laub	40:1 bis 50:1
Baum- und Gehölzschnitt	100:1 bis 150:1
Rinde	100:1 bis 150:1

Tabelle: Verhältnis von Kohlenstoff C zu Stickstoff N in organischen Materialien

Grundregeln beim Mischen

Beim Mischen eines Komposts gilt eine Grundregel: Grünes (z. B. Rasen) mit braunem (z. B. Strauchschnitt) mischen, Nasses mit Trockenem, Frisches mit Altem, Faseriges mit Matschigem.

10. Folie

Es gibt verschiedene Systeme für die Kompostierung. Die Wahl der richtigen Kompostierung hängt von den Abfallmengen und dem zur Verfügung stehender Platz ab. Kompostiert werden kann in Mieten, offen und geschlossenen Kompostbehältern.

Damit die Rotte wunschgemäß verläuft wird ein Volumen von 1 m³ kompostierbarer Abfälle benötigt.

Offene Kompostbehälter

Bei beschränktem Platz bietet sich die Kompostierung im offenen Kompostbehälter an. Je nach Geldbeutel können diese selbst gebaut oder in Bau- bzw. Gartenmärkten oder übers Internet bezogen werden. Mehrkammersysteme mit zwei oder drei Kammern, gebaut aus Paletten, Holzlatten, Rundholz oder Latten mit Drahtgitter, Metall haben sich als System durchgesetzt.

Tip: Am Praktischsten ist es, wenn die Kammern sich an einer Seite komplett öffnen lassen, sodass der Kompost gut befüllt und umgesetzt werden kann

Ökotipps:

Am umweltfreundlichsten ist der Aufbau eines Mehrkammersystems aus unbehandelten Europaletten. Durch die Paletten ist die Kapazität frei wählbar, die Seiten beliebig aufbaubar, der Zugang zum Kompost von vorn und die offene Struktur sorgt für einfache Belüftung.

Metallsysteme sollten nicht aus Zink sein, da sich die Zinkionen im Kompost anreichern.

Wenn für das Kompostsystem Holz verwendet wird, kann dieses vor Verwitterung mit Leinöl geschützt werden. Ein Anstrich, der Fungizide oder andere Giftstoffe enthält, ist tabu, da die Stoffe in den Kompost übergehen. Die Lebensdauer des Kompostsystems hängt von der Holzart ab: Fichte und Kiefer ist nach ca. 5 Jahren morsch, Eiche oder europäische Lärche sind hingegen mindestens 20 Jahre haltbar. Bei Kauf von Holz unbedingt auf die Zertifizierung aus nachhaltigem Anbau achten. Die bekanntesten Zertifizierungen sind an folgendem Logo zu erkennen.

11. Folie

Geschlossene Kompostbehälter

bestehen in der Regel aus Kunststoff. Sie sind in unterschiedlichen Größen und Formen im Handel erhältlich. Mit ihnen soll schneller kompostiert werden, da durch den Kunststoffbehälter die Wärme besser gehalten wird. Da jedoch meist ein kleineres Volumen kompostiert wird und die Kompostbehälter nach und nach befüllt werden, entwickeln sich keine hohen Temperaturen und es entsteht häufig eine durch Bodentiere (z. B. Regenwurm) herbeigeführte Zersetzung und Vererdung. Vorteil der Behälter ist der Schutz vor Niederschlag, Austrocknung und Auskühlung durch Wind.

12. Folie

Kompostmiete

Eine alte Form der Kompostierung ist die offene Mietenkompostierung. Die Kompostmiete wird bei größeren Gartenflächen und Abfallmengen beispielsweise von Gartenbaubetrieben verwendet. Um die notwendige Sauerstoffzufuhr zu ermöglichen, hat die Miete eine Höhe von 1,2 bis 1,4 m und eine Breite von 2,3 bis 2,5 m. In Gebieten mit hohen Niederschlägen

wird die Miete in Dreiecksform aufgesetzt, damit der Regen besser ablaufen kann. In niederschlagarmen Gebieten kann die Miete auch trapezförmig aufgesetzt werden.

13. Folie

Der Ort für den Kompost im Garten oder der Schule will gut gewählt sein. Auf welche Punkte dabei geachtet werden muss, wird im Folgenden erläutert.

Boden

Der Kompost sollte Kontakt zum Boden haben, damit Bodenorganismen zuwandern können. Der Boden sollte zudem nicht verdichtet sein, da sonst das Sickerwasser nicht abfließt. Die Kompostierung funktioniert notfalls auch auf versiegelten Böden, auch wenn die Arten- und Faunavielfalt kleiner ist als bei einem Kompost mit Bodenkontakt. Hier lässt sich durch die Zugabe von Kompostwürmern ein besserer Vererdungsprozess initiieren.

gut zugänglich

Der Kompostplatz sollte auch bei schlechter Witterung und mit Schubkarre gut zugänglich sein. Am besten sind befestigte Wege und die Nähe zu den Beeten, bei denen regelmäßig Pflanzenreste anfallen, beispielsweise beim Gemüsegarten.

Hinweis: Per Gesetz müssen in Deutschland 50 cm Abstand zur Grenzlinie des Nachbargrundstücks sein. Sonst haben die Nachbarn Mitspracherecht beim Aussehen des Kompostplatzes.

Leicht beschattet

In voller Sonne trocknet der Kompost aus. An einem ständig schattigen Platz kann der Kompost zu feucht werden und beginnt zu faulen.

Genügend Platz

Für das Sammeln der Kompostmaterialien und für die Kompostierung selbst wird Platz benötigt. Darüber hinaus braucht man für das Umsetzen oder Sieben des Komposts und Vorbereiten des Kompostmaterials genügend Platz und Bewegungsfreiheit.

Schutz vor Regen und Wind

Damit die Rotte geregelt verläuft, sollte der Kompost vor Regen und Wind geschützt sein. Bäume, Sträucher und Hecken können als Schattenspender und Windschutz dienen. Ein Kompostvlies schützt vor Witterung.

Wasseranschluss

Bei längerer Trockenheit muss der Kompost befeuchtet werden. Mit einem Wasseranschluss in der Nähe ist das einfacher.

Steckdose

Schredder, Häcksler, Säge werden zur Zerkleinerung des Kompostmaterials benötigt. Um sie zu betreiben, ist ein Stromanschluss in der Nähe nötig.

Schuppen

Alle Geräte für die Kompostierung sollten Platz im Geräteschuppen finden.

14. Folie

Für die Kompostierung wird zum einen ein Sammelplatz benötigt, an dem die Kompostmaterialien vor der Kompostierung gesammelt werden. Zum anderen wird der eigentliche Kompostplatz benötigt. Dieser kann sich nochmals aufteilen in:

- 🪵 Frisch aufgesetzter Kompost
- 🪵 Umgesetzter Kompost
- 🪵 Fertiger Kompost

15. Folie

Die Umwandlung von organischen Abfällen zu Humus ist ein natürlicher Vorgang. Es gibt neben Pflanzenkohle verschiedene Zuschlagstoffe, die allerdings nur in gut gemischten Komposten wirken.

Zuschlagstoff	Substanz und Inhaltsstoffe	Wirkungen	Anwendung
Gesteinsmehl	Fein gemahlene Basalt-, Granit-, Lavagestein, enthält Spurenelemente	Allgemeiner Kompost- und Bodenverbesser, Trägt zur Bildung von Ton-Humuskomplexen bei, Anreicherung mit Ca, Ma und Spurenelementen	Dünn über Lagen streuen 5 kg pro m ³ Kompost
Tonmehl Bentonit	Pulver aus Tonmineralien	Hohe Kapazität zur Speicherung von Wasser und Nährstoffen Trägt zur Bildung von Ton-Humuskomplexen	Dünn über Lagen streuen
Algenkalk	Mild wirkender Kalk, enthält Spurenelemente	Bindet Säuren und verbessert Struktur des Kompostes	Dünn über Lagen streuen (nicht geeignet für Moorbeetpflanzen)
Hornmehl, Hornspäne	Zermahlene Hörner und Hufe von Rindern	Gleichen Stickstoffmangel aus	Dünn über Lagen streuen
Kompost- beschleuniger	Mischung, z.B. aus stickstoffhaltigen Rohstoffen tierischer Herkunft, Fermentationsrückständen,	Regt Rottevorgänge an, beschleunigt Abbau	Zu empfehlen für erste Rottephase vor allem im Thermokomposter,

	pflanzlichen Stoffen, Mikroorganismen, Gesteinsmehl	wenn wenig stickstoffhaltiges Material vorhanden ist
--	---	--

16. Folie

Kompostieranlagen

Es wird dabei zwischen dezentralen (kommunalen) Kompostierplätzen, beispielsweise der Gemeinden, und industriellen Kompostwerken unterschieden. Kompostieranlagen sind genehmigungspflichtig und unterliegen bestimmten Anforderungen und Auflagen, wie z. B.:

Abgedichteter Untergrund: Die Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass ein Eindringen von Sickerwasser in den Boden vermieden wird.

Verfahrensablauf: Kompostieranlagen setzen sich zusammen aus einem a) Annahmehbereich und Zwischenlagerung, b) Zerkleinerung und Mischung c) Rotte (in der Regel als Mietkompostierung), d) Aufbereitung des Fertigkompostes verwendet: Radlader, Häcksler, Mischer, Wender und Sieb.

Einhaltung der Grenzwerte bei Luft- und Lärmemissionen.

Ziel aller Anlagen ist es Krankheitserreger für Mensch, Tier oder Pflanze, die in den zur Erzeugung von Kompost verwendeten Ausgangsstoffen eventuell enthalten sein können, durch den Behandlungsprozess abzutöten. Die „Hygienische Unbedenklichkeit“ ist für die Beurteilung von Kompost ein wichtiges Qualitätskriterium.

Die Kompostierung ist grundsätzlich verboten in:

- 🚫 Wasserschutzgebieten,
- 🚫 Heilquellenschutzgebieten,
- 🚫 Überschwemmungsgebieten,
- 🚫 Einzugsgebieten bestehender Wasserwerke

17. Folie

Technische Anforderungen: Kompostieranlagen können unterschiedlich aufgebaut und ausgestattet sein. Zur Grundausstattung gehören Zerkleinerungsanlagen, Umsetzgeräte sowie Siebvorrichtungen.

18. Folie

Im Botanischen Garten Berlin werden für die Kompostierung folgende technische Geräte verwendet: Häcksler, Radlader, Kompostsieb und Kompostwender.

19. Folie: Video: „Kompost mit Pflanzenkohle“

20. Folie

Die Anwendung von Pflanzenkohle gestaltet sich besonders nachhaltig, wenn sie bei der Schließung von regionalen Stoffkreisläufen eingesetzt wird und ist Voraussetzung für die Herstellung von Terra Preta ähnlichen Substraten.

Exemplarisch kann die Schließung von Stoffkreisläufen folgendermaßen laufen. Aus organischen Abfällen wird in der Pyrolyseanlage Pflanzenkohle hergestellt. Weitere organische Abfälle, wie Rasen- und Astschnitt, aber auch Obst- und Gemüseabfälle werden dann gemeinsam mit Pflanzenkohle kompostiert und fruchtbares Pflanzenkohlesubstrat gewonnen, welches wiederum für den Anbau von Gemüse und Obst genutzt wird. Im Botanischen Garten Berlin ist die Schließung von Stoffkreisläufen erprobt und etabliert wurden. Dabei konnten viele positive Effekte erzielt werden. Dazu zählten die Erzeugung fruchtbarer Erden, die Speicherung von Kohlenstoff durch die Pflanzenkohle und den entstandenen Dauerhumus, die Nutzung lokaler Ressourcen und die damit verbundenen Einsparungen und geringeren Umweltbelastungen. Die Ökobilanzierung des Modellprojektes zeigt, dass mit der Terra-Preta-Technologie eine negative CO₂-Bilanz erreicht werden konnte. Vor Beginn des Projekts entstanden 160 Tonnen CO₂-eq/ Jahr, durch die Stoffkreislaufschließung, Pyrolyse, Kompostierung, Nutzung der Wärmeenergie und das Einbringen der Komposte in den Boden kann eine negative CO₂-Bilanz von minus 40 Tonnen CO₂-eq/ Jahr entstehen.

21. Folie: Video „Die Potentiale der Pflanzenkohle“

22. Folie

Die Schließung von regionalen Stoffkreisläufen birgt dem zu Folge viele Vorteile:

11. Bisherige Abfälle werden als Ressourcen genutzt.

Garten- und Küchenabfälle, Strauch- und Baumschnitt werden gegenwärtig kostenpflichtig entsorgt und je nach Entsorger thermisch oder als Inputmaterial in Biogas- und Kompostanlagen verwertet. Mit einer regionalen Stoffkreisschließung können diese Kosten eingespart werden. In Berlin liegen die Entsorgungskosten für private Gärten bei der BSR bei 16,00 EUR pro 660 Liter (Entsorgungstonne). Die Preise für die gewerbliche Entsorgung variieren. Eine Firma bietet die Entsorgung für Ast- und Strauchschnitt für 55,00 EUR pro Tonne und für 65,00 EUR für Baumstämme (Vgl. Holzkontor Preussen, http://www.hk-preussen.de/file/Preisliste_ab_010818.pdf, Zugriff 25.1.2019).

12. Langfristiger CO₂-Speicher

Die Pyrolyse bindet langfristig CO₂ in der Pflanzenkohle. Die Kohle besteht aus sehr stabilen Kohlenstoffverbindungen, die über lange Zeiträume im Boden erhalten bleiben. Die bei den Grabungen gefundene Terra Preta im Amazonas ist dafür ein Beispiel, die ein Alter von bis zu 7.000 Jahre hat.

Die Lebensdauer der Pflanzenkohle variiert jedoch sehr stark und ist abhängig vom Ausgangsmaterial, der Herstellung und dann vom Standort und seiner Landnutzung, wo sie ausgebracht wird, so dass bisher keine präzisen Angaben getroffen werden können.

13. Verminderung von Treibhausgasemissionen

Emissionen werden zum einen durch die Nutzung der Abwärme der Pyrolyse vermindert, da damit fossile Brennstoffe ersetzt werden. Bei der Kompostierung werden durch die Pflanzenkohle Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen reduziert. Auch Kohlenstoffdioxid scheint weniger an die Atmosphäre abgegeben zu werden, was neueste Forschungsergebnisse zeigen. Durch die Verwendung des Pflanzenkohlekomposts wird stickstoffhaltiger Dünger substituiert, womit der Eintrag von Stickstoff in den natürlichen Kreislauf verringert wird. Ebenfalls kann Torf durch den Pflanzenkohlekompost als Zusatz zum Substrat eingespart werden und damit die Emissionen die beim Abbau, Transport und Verarbeitung entstehen, reduziert werden.

14. Hochwertige Produkte

Mit der Terra-Preta-Technologie entstehen zwei hochwertige Produkte: die Pflanzenkohle und ein hochwertiger Kompost, der zu Substraten weiterverarbeitet und anschließend auch vermarktet werden kann.

Gegenwärtig wird Pflanzenkohle und Substrate zu folgenden Preisen verkauft (Webrecherche bei genannten Herstellern, Zugriff 25.1.2019):

Carboverte: Pflanzenkohle 1 l = 1,79 EUR, aktivierte Pflanzenkohle 1 l = 2,99 Euro, Schwarzerde 1 l = 1 EUR

Moola: Pflanzenkohle 40 l = 35,95 EUR

Sonnenerde: Pflanzenkohle 30 l = 19,90 EUR, Schwarzerde 18 l = 17,90 EUR

15. Erhöhte Adsorptionskapazität

Durch die poröse große und innere Oberfläche vermag die Pflanzenkohle Wasser und darin gelöster Nährstoffe aufnehmen, die damit länger für die Pflanze zur Verfügung stehen und weniger ins Grundwasser ausgewaschen werden. Diese Eigenschaft nennt man die Adsorptionskapazität (AK) der Pflanzenkohle.

Die erhöhte Adsorptionskapazität der Pflanzenkohle kommt auch bei der Kompostierung zum Tragen. Bei der Verwendung feuchter und stickstoffreicher Materialien im Kompost, wie Rasenschnitt, Obst- und Gemüseabfälle, bindet die Kohle deren Nährstoffe und Wasser.

16. Erhöhte Kationenaustauschkapazität

Pflanzenkohle weist eine erhöhte Kationenaustauschkapazität auf. Das bedeutet, dass positiv geladene Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche der Pflanzenkohle binden, nicht ausgewaschen werden und somit für die Pflanze und Mikroorganismen sehr gut verfügbar sind.

17. pH-Puffer

Die Pflanzenkohle fungiert außerdem als pH-Puffer für den Boden. Das bedeutet, dass saure Böden neutraler werden und Pflanzen besser wachsen.

18. Erhöhte Aktivität von Bodenorganismen

Auf und in der Pflanzenkohle siedeln sich auch gern nützliche Bodenorganismen an und durch die vermehrte Bodenaktivität ist die Pflanze besser vor Erkrankungen geschützt.

19. Erhöhte Bodenproduktivität

Die Einarbeitung von Pflanzenkohlekompost in den Boden führt zu einer erhöhten Bodenproduktivität, aufgrund der oben genannten Eigenschaften.

20. Einsparung von Kosten

Durch den Einsatz von Pflanzenkohle können laufend anfallende Entsorgungskosten für organische Abfälle sowie Energiekosten durch die Nutzung der Wärmeenergie der Pyrolyse eingespart werden.

Dem gegenüber stehen jedoch zunächst Investitionskosten für die Pyrolyseanlage und die Etablierung der Kreislaufschließung für die mehr Arbeitsstunden aufgewandt werden muss.

Die Kompostierung nach dem Terra Preta-Prinzip lässt sich auf zweierlei Art und Weise praktizieren:

- 🪵 **aerob**, unter Zufuhr von Sauerstoff erfolgt ein mikrobieller Abbau (Verrottung) = Heißrotte
- 🪵 **anaerobe Vorbehandlung**: unter Luftabschluss wird mithilfe von „Effektiven Mikroorganismen“ eine milchsäure Fermentierung herbeigeführt = Bokashi, danach wird das Material im Garten zur Vererdung ausgebracht

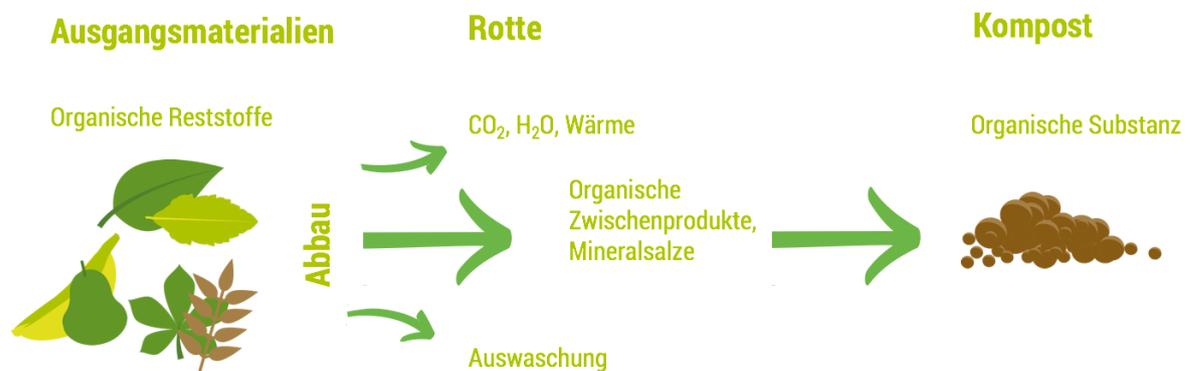


Abb.: eigene Darstellung

Das Wort **Kompost** ist abgeleitet von lateinisch *compositum*, „das Zusammengestellte“. Mit Kompost werden sowohl die Sammelstätte, der Komposthaufen, als auch das durch die Verrottung entstandene Produkt, der fertige Kompost bezeichnet.

Wissenschaftliche Definition der aeroben Kompostierung

Bei der aeroben Kompostierung wird organisches Material unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und mit Hilfe von Bodenlebewesen, Bakterien und Pilzen abgebaut. Dabei werden neben Kohlenstoff (CO_2) auch wasserlösliche Mineralstoffe wie Nitrate, Ammoniumsalze, Phosphat, Kalium und Magnesium und Wasser freigesetzt. Ein Teil dieser organischen Zwischenprodukte wandelt sich dabei zu fruchtbarer Erde, auch Humus genannt.

Welche organischen Abfälle dürfen kompostiert werden?

- 🪵 ungekochte Küchenabfälle
- 🪵 Stroh
- 🪵 Laub (nur kleine Mengen von schwer zersetzbaaren Laub der Eiche, der Walnuss)
- 🪵 Rasenschnitt

-  Heu
-  Strauch- und Baumschnitt
-  Einstreu aus Sägespäne von pflanzenfressenden Kleintieren
-  Stallmist
-  Pflanzenkohle (10% bis 15 % der Kompostmenge)

Welche organischen Abfälle dürfen nicht kompostiert werden?

-  Stark gesalzene und gekochte Speisereste
-  Fleischreste, Knochen
-  Bedrucktes Papier (Belastung mit Chlorbleiche, Schwermetallen und anderen Chemikalien)
-  Mit Konservierungsstoffen, Pestiziden behandelte Pflanzenreste (z.B. Zitronenschalen)
-  Mit Pilzkrankheiten (Kohlhernie, Monilia, Kräuselkrankheit) befallene Pflanzen
-  Mit langlebigen Schädlingen befallene Pflanzen (Moniermotte, Eichenspinner)
-  Mit Kraut- und Braunfäule befallene Tomaten
-  Wurzelunkräuter und stark besamte Beikräuter, z.B. Franzosenkraut

C/N Verhältnis

Kompostmaterial	C/N- Verhältnis
Gemüseabfälle	20:1 bis 25:1
Rasenschnitt	12:1 bis 25:1
Grünschnittabfälle	30:1 bis 40:1
Trockenes Laub	40:1 bis 50:1
Baum- und Gehölzschnitt	100:1 bis 150:1
Rinde	100:1 bis 150:1

Tabelle: Verhältnis von Kohlenstoff C zu Stickstoff N in organischen Materialien

Kompostsysteme

Offene Kompostbehälter



Geschlossene Kompostbehälter



Kompostmiete

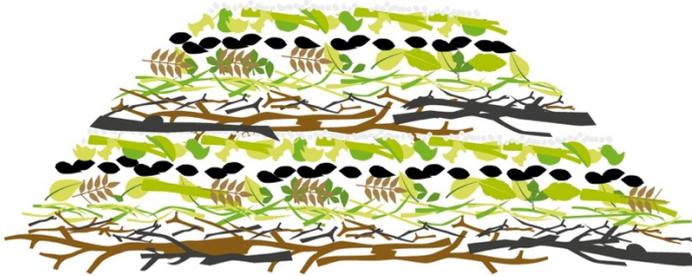


Abb.: eigene Darstellungen

Kompostplatz

- 🪵 Kontakt zu Boden
- 🪵 gut zugänglich
- 🪵 Leicht beschattet
- 🪵 Genügend Platz
- 🪵 Schutz vor Regen und Wind
- 🪵 Wasseranschluss, Steckdose
- 🪵 Schuppen

Idealer Kompostplatz

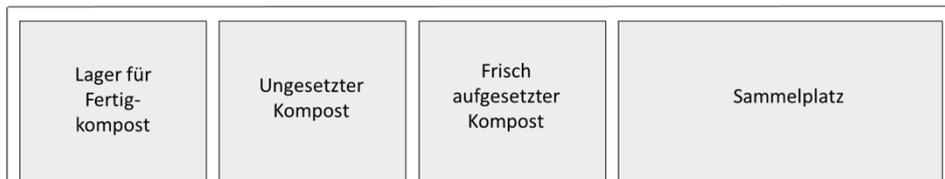


Abb.: eigene Darstellung

Zuschlagstoffe

- 🪵 Gesteinsmehl
- 🪵 Betonit/ Tonmehl
- 🪵 Algenkalk
- 🪵 Hornmehl, Hornspäne
- 🪵 Kompostbeschleuniger

Kompostieranlagen

- 🪵 Genehmigungspflichtig
- 🪵 Abgedichteter, befahrbarer Untergrund
- 🪵 Aufnahme, Hauptrotte, Nachrotte
- 🪵 Minimale Geruchsemissionen und Lärmemissionen

- 🏗️ Technische Anforderungen: Zerkleinerungsanlagen, Umsetzgeräte sowie Siebvorrichtungen

Die Eigenschaften der Pflanzenkohle in Böden und die Potentiale der Terra-Preta-Technik

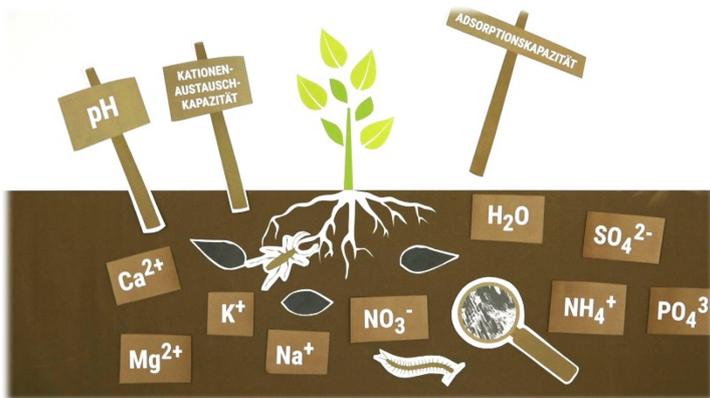


Abb.: eigene Darstellung

- 🌿 Bisherige Abfälle werden als Ressourcen genutzt.
- 🌿 Langfristiger CO_2 -Speicher
- 🌿 Verminderung von Treibhausgasemissionen
- 🌿 Hochwertige Produkte
- 🌿 Erhöhte Adsorptionskapazität
- 🌿 Erhöhte Kationenaustauschkapazität
- 🌿 pH-Puffer
- 🌿 Erhöhte Aktivität von Bodenorganismen
- 🌿 Erhöhte Bodenproduktivität
- 🌿 Einsparung von Kosten

Kompost mit Pflanzenkohle

Erläutern Sie die zwei verschiedenen Arten der Kompostierung nach dem Terra-Preta-Prinzip.

Beschriften Sie die Abbildung.



Nennen Sie ein besonders kohlenstoffhaltiges und ein besonders stickstoffhaltiges Inputmaterial für den Kompost.

Welche drei Kompostsysteme sind hier dargestellt? Beschriften Sie die Abbildung.



Nennen sie drei verschiedene Zuschlagstoffe für den Kompost. Begründen Sie die Wirkung und erläutern Sie die Anwendung.

Welche Kriterien sind für betriebliche Kompostieranlagen zu beachten? Nennen Sie drei Beispiele.

Berechnen Sie, wie viel Fläche Sie für einen Kompostplatz benötigen, wenn Sie 350 m^3 zerkleinerte Biomasse kompostieren wollen.

Gehen Sie dabei von folgenden Angaben aus:

bis zu 200 m^3 Biomasse \rightarrow je m^3 Biomasse $\approx 3,5 \text{ m}^2$ Kompostfläche

jeder weitere m^3 Biomasse $\approx 1,5 \text{ m}^2$ Kompostfläche

Erläutern Sie die Gründe, die für eine Kompostierung mit Pflanzenkohle sprechen.

Kompostkonzept

Recherchiert in der Schule oder im Betrieb, welche Mengen organischen Abfalls anfallen, welche Kompostierung für die Abfallmengen geeignet ist und wo ein geeigneter Kompostplatz ist. Kalkuliert die anfallenden Beschaffungskosten und mögliche Einsparpotentiale. Erstellt aus den Rechercheergebnissen ein Kompostkonzept.

Abfallmengen

Sprecht mit der Schulleitung, den Personen in Cafeteria, Mensa oder im Betrieb: Welche organischen Abfälle gibt es? Welche Mengen fallen an? Wie wurden sie bisher entsorgt oder verwendet? Welche Kosten entstanden? Fallen bestimmte Abfälle nicht regelmäßig, sondern nur zu bestimmten Zeiten an?

Fast eure Recherchen übersichtlich zusammen, beispielsweise in einer Tabelle.

Abfallart	Abfallmenge in kg oder t	Bisherige Entsorgung oder Verwertung	Kosten in EUR	Zeitraum
Organische Abfälle				
Rasenschnitt				
Ungekochte Küchenabfälle				
Gartenabfälle				
Trockenes Laub				
Grünschnitt				
Baum- und Gehölzschnitt				
Rinde				
Heu				
Einstreu aus Sägespäne von pflanzenfressenden Kleintieren				
Stallmist				
Andere Abfälle				

C/N - Check

Bedenkt, ob das richtige Kohlenstoff- und Stickstoffverhältnis mit den Abfällen erreicht wird oder ob ihr möglicherweise noch Rasenschnitt oder Küchenabfälle o.a. benötigt?



ja



nein

Information zum C/N Verhältnis

Je mehr kohlenstoffhaltiges im Vergleich zu stickstoffhaltigen Material im Kompost, desto zögerlicher verläuft die Kompostierung. Das Mischungsverhältnis von kohlenstoffreichen Abfällen wie Laub oder Stroh zu stickstoffreichen Materialien wie Rasenschnitt oder frischem Grünschnitt sollte bei ca. 30:1 liegen.

Falls ihr noch etwas benötigt, wo und wie bekommt ihr die Abfälle her? Recherchiert, ob ihr in der Nähe des geplanten Komposts die fehlenden Abfälle bekommen könntet. Erstellt eine Adressenliste. Fragt dort nach, ob ihr deren Abfälle kompostieren dürft. Überlegt, wie ihr die Abfälle zum Kompost transportiert.

Tipp: Küchenabfälle bekommt ihr aus Restaurants, Cafés oder von Tafeln, die Lebensmittelrestes sammeln. Von naheliegenden Gärten oder Gartenbaubetrieben gibt es Strauch- und Baumschnitt, sowie Rasenmähd.

Mengen-Check

Reichen die anfallenden Mengen aus, um sie zu kompostieren? Für eine Heißbrötchen braucht ihr mindestens 1 m³ Abfälle im richtigen C/N Verhältnis.

Abfallmengen insgesamt:

Kompostsystem

Überlegt nun, welches Kompostsystem passt.



Mietenkompostierung



Thermokomposter



Kammerkompostierung



Kompost selber bauen

Falls ihr euch für einen Kammerkompost entschieden habt, sucht eine für euch geeignete Bauanleitung aus den verschiedenen Bauanleitungen heraus.

Link: <https://www.kompost.biz/anleitungen/kompostierer-aus-euro-paletten-selber-bauen>

Was braucht ihr an Werkzeug und Material?

Könnt ihr das benötigte Material und Werkzeug an der Schule, im Betrieb oder zu Hause bekommen bzw. leihen? Überlegt, ob ihr die Paletten oder das Holz für den Kammerkompost von einem Baumarkt gespendet bekommen könnt. Erstellt abschließend eine Materialliste und beziffert die anfallenden Kosten.

Material/ Werkzeug	Von wem?	Kosten

Kompostplatz Checkliste

Der Ort für den Kompost im Garten oder der Schule will gut gewählt sein. Auf welche Punkte zu achten sind, zeigt folgende Liste. Sucht mithilfe der Checkliste nach einem geeigneten Platz.

Boden

Der Kompost sollte Kontakt zum Boden haben, damit Bodenorganismen zuwandern können. Der Boden sollte zudem nicht verdichtet sein, da sonst das Sickerwasser nicht abfließt. Die Kompostierung funktioniert notfalls auch auf versiegelten Böden, auch wenn die Artenvielfalt kleiner ist als bei einem Kompost mit Bodenkontakt.

gut zugänglich

Der Kompostplatz sollte auch bei schlechter Witterung und mit Schubkarre gut zugänglich sein. Am besten sind befestigte Wege und die Nähe zu den Beeten, bei denen regelmäßig Pflanzenreste anfallen, beispielsweise beim Gemüsegarten. Hinweis: Per Gesetz müssen in Deutschland 50 cm Abstand zur Grenzlinie des Nachbargrundstücks sein. Sonst haben die Nachbarn Mitspracherecht beim Aussehen des Kompostplatzes.

Leicht beschattet

In voller Sonne trocknet der Kompost aus. An einem ständig schattigen Platz wird der Kompost zu feucht und beginnt zu faulen.

Genügend Platz

Für das Sammeln der Kompostmaterialien und für die Kompostierung selbst wird Platz benötigt. Darüber hinaus braucht man für das Umsetzen oder Sieben des Komposts und Vorbereiten des Kompostmaterials genügend Platz und Bewegungsfreiheit.

Schutz vor Regen und Wind

Damit die Rotte geregelt verläuft, sollte der Kompost vor Regen und Wind geschützt sein. Bäume, Sträucher und Hecken können als Schattenspender und Windschutz dienen. Die Verwendung von Kompostvlies zur Abdeckung ist vorteilhaft.

Wasseranschluss und Steckdose

Bei längerer Trockenheit muss der Kompost befeuchtet werden. Mit einem Wasseranschluss in der Nähe und einem Wasserschlauch ist das einfacher. Zur Zerkleinerung des holzigen Kompostmaterials können ein Häcksler oder eine Säge verwendet werden, um sie zu betreiben, ist ein Stromanschluss in der Nähe nötig.

Schuppen

Alle Geräte für die Kompostierung sollten Platz im Geräteschuppen finden. Ihr braucht neben den elektrischen Geräten noch Schippen, Arbeitshandschuhe und Schutzbrillen um den Kompost aufzubauen.

Unser Kompostplatz

Einen Platz gefunden? Macht Fotos und eine Skizze vom Kompostplatz.

Arbeitsgeräte für die Kompostierung

Für die Kompostierung braucht ihr noch Schubkarren, Schippen, Häcksler, Gartenscheren, Schutzbrillen und Arbeitshandschuhe.

Recherchiert, welche der Arbeitsgeräte gibt es bereits? Welche könnt ihr ausleihen? Welche müssen gekauft werden? Welche Kosten entstehen?

Material/ Werkzeug	Von wem?	Kosten

Aufbau Kompost

Erstellt abschließend einen Ablaufplan für den Aufbau des Kompostsystems und für die erste Kompostierung. Wer macht was? Wann? Was braucht ihr dafür?

Der Kompostversuch

Die Natur kennt keine Abfälle und auch wir Menschen kompostieren Abfälle schon seit tausenden Jahren, um wertvollen Humus für den Anbau von Pflanzen zu gewinnen. Wie der Zersetzungsprozess genau funktioniert, was alles zersetzt wird und wie lange das dauert, lässt sich mit diesem Experiment herausfinden.



🔧 Bohren Sie mit der Bohrmaschine vorsichtig und langsam Löcher in die Flasche. Lassen Sie das obere Drittel der Flasche aus. Durch die Löcher wird der Kompost gut belüftet.



🔪 Schneiden Sie das obere Drittel der Flasche mit einem Cutter ab.



🔪 Schneiden und zerkleinern Sie die Abfälle in 1-2 cm große Stücke.

- 🔧 Alle Materialien mit einem Löffel gut vermengen.
- 🔧 Die Flasche mit dem A4-Blatt umwickeln und mit Klebeband zusammenkleben. Wenn das Blatt zu groß ist, in eine passende Größe schneiden.
- 🔧 Verschließen Sie die Flasche mit dem Tuch und dem Gummi. Die Mikroorganismen, die die Materialien zersetzen, mögen es gern dunkel.



Anleitung für die Kompostierung nach dem Terra-Preta-Prinzip

Im Folgenden ist kurz beschrieben, wie die Herstellung von Komposterde nach dem Terra Preta Prinzip erfolgt. Es wird zunächst aufgeführt, welche Stoffe in den Kompost gehören, in welchem Verhältnis sie gemischt und wie sie aufbereitet werden. Im Anschluss werden Zuschlagstoffe und die Kompostierung in Mieten oder im Kammerkompost erläutert.

Was kommt in den Kompost?	Was kommt nicht in den Kompost?
ungekochte Küchenabfälle	Stark gesalzene und gekochte Speisereste
Stroh	Fleischreste, Knochen
Laub (nur kleine Mengen von schwer zersetzba-rem Laub der Eiche, der Walnuss)	Bedrucktes Papier (Belastung mit Chlorbleiche, Schwermetallen und anderen Chemikalien)
Rasenschnitt	Mit Konservierungsstoffen, Pestiziden behandelte Pflanzenreste (z.B. Zitronenschalen)
Heu	Mit Pilzkrankheiten (Kohlhernie, Monilia, Kräuselkrankheit) befallene Pflanzen
Strauch- und Baumschnitt	Mit langlebigen Schädlingen befallene Pflanzen (Moniermotte, Eichenspinner)
Einstreu aus Sägespäne von pflanzenfressenden Kleintieren	Mit Kraut- und Braunfäule befallene Tomaten
Stallmist	Wurzelunkräuter und stark besamte Beikräuter, z.B. Franzosenkraut
Pflanzenkohle: 10% bis 15% der Kompostmenge	

C/N Verhältnis

Das Kohlenstoff/Stickstoff-Mischungsverhältnis (C/N) von kohlenstoffreichen Abfällen wie Laub oder Stroh zu stickstoffreichen Materialien wie Rasenschnitt oder frischem Grünschnitt sollte bei ca. 30:1 liegen. Beim Mischen eines Komposts gilt eine Grundregel: Grünes mit Strohgigem mischen, Nasses mit Trockenem, Frisches mit Altem, Faseriges mit Matschigem.

Kompostmaterial	C/N- Verhältnis
Gemüseabfälle	20:1 bis 25:1
Rasenschnitt	12:1 bis 25:1
Grünschnittabfälle	30:1 bis 40:1
Trockenes Laub	40:1 bis 50:1
Baum- und Gehölzschnitt	100:1 bis 150:1
Rinde	100:1 bis 150:1

Tabelle: Verhältnis von Kohlenstoff C zu Stickstoff N in organischen Materialien

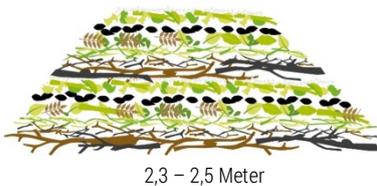
Aufbereitung des Inputmaterials

Baum- und Gehölzschnitt, aber auch Gemüse- und Grünschnittabfälle sollten vor der Kompostierung zerkleinert werden. Durch die aufgebrochenen Zellstrukturen können die Mikroorganismen schnell und gut mineralisieren. Je besser zerkleinert das Material ist, umso schneller erfolgt die Kompostierung. Dafür eignet sich Garten- und Astscheren, Spaten oder ein Häcksler.

Aufsetzen des Komposts

Die Kompostierung kann in Form von Mieten (größere Mengen) oder in einer Kammer/Box (kleinere Mengen) erfolgen. Bei der betrieblichen Kompostierung, wo größere Mengen verarbeitet werden, werden alle Materialien z. B. durch einen Radlader zu einer Miete aufgeschichtet und wenn vorhanden, durch einen Kompostmischer miteinander vermengt. Bei privaten oder schulischen Kompostierung werden die Materialien aufeinandergeschichtet. Die Schichten sollten dünn (5 – 10 cm) und abwechslungsreich sein.

Mietengröße



1,2 – 1,4 Meter

Um den notwendigen Gasaustausch und eine optimale Sauerstoffzufuhr zu ermöglichen, sind Mieten in der Größe 2,3 bis 2,5 Meter Breite und 1,2 bis 1,4 Meter Höhe ideal.

Schichten des Kompostes

Der Kompost wird schichtweise aufgesetzt. Es wird Kompostmaterial für mindestens 1 m³ Kompost in der richtigen Mischung benötigt, sonst entsteht keine Heißrotte.



- Betonit + fertiger Kompost
- Ungekochte Küchenabfälle
- Pflanzkohle
- Frischer Rasenschnitt
- Äste
- Ungekochte Küchenabfälle
- Pflanzkohle
- Gehäckselter Ast- und Strauchschnitt
- Äste

Zum Schutz vor der Witterung wird der Kompost mit einem Kompostflies abgedeckt.

Umsetzen des Komposts

Bei einer Kleinkompostierung im Garten wird nach zwei bis drei Monaten der Kompost in die andere Kammer oder auf eine neue Miete umgesetzt. Dabei wird der Kompost senkrecht abgetragen, um eine gute Mischung der einzelnen Schichten zu erzielen. Nach weiteren 2- 3 Monaten wird wieder umgesetzt und der Kompost abgeseibt und in der nächsten Kammer zur Nachreife abgelegt. Bei größeren Mieten sollte das Umsetzen in den ersten Wochen häufig durchgeführt werden (2 – 3-mal die Woche in den ersten 14 Tagen, 1-mal wöchentlich in Woche 3 bis 6)

Zuschlagstoffe

Die Umwandlung von organischen Abfällen zu Humus ist ein natürlicher Vorgang. Es gibt jedoch verschiedene Zuschlagstoffe, die allerdings nur in gut gemischten Komposten wirken.

Zuschlagstoff	Substanz und Inhaltsstoffe	Wirkungen	Anwendung
Gesteinsmehl	Fein gemahlene Basalt-, Granit-, Lavagestein, enthält Spurenelemente	Allgemeiner Kompost- und Bodenverbesser, Trägt zur Bildung von Ton-Humuskomplexen bei, Anreicherung mit Ca, Ma und Spurenelementen	Dünn über Lagen streuen 5 kg pro m ³ Kompost
Tonmehl Bentonit	Pulver aus Tonmineralien	Hohe Kapazität zur Speicherung von Wasser und Nährstoffen	Dünn über Lagen streuen

		Trägt zur Bildung von Ton-Humuskomplexen	
Algenkalk	Mild wirkender Kalk, enthält Spurenelemente	Bindet Säuren und verbessert Struktur des Kompostes	Dünn über Lagen streuen (nicht geeignet für Moorbeetpflanzen)
Hornmehl, Hornspäne	Zermahlene Hörner und Hufe von Rindern	Gleichen Stickstoffmangel aus	Dünn über Lagen streuen
Kompostbeschleuniger	Mischung, z.B. aus stickstoffhaltigen Rohstoffen tierischer Herkunft, Fermentationsrückständen, pflanzlichen Stoffen, Mikroorganismen, Gesteinsmehl	Regen Rottevorgänge an, beschleunigen Abbau	Zu empfehlen für erste Rottephase vor allem im Thermokomposter, wenn wenig stickstoffhaltiges Material vorhanden ist

Die drei Phasen der Kompostierung

Bei der Kompostierung wird organisches Material unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und mit Hilfe von Bodenlebewesen, Bakterien und Pilzen abgebaut. Diese Art der Kompostierung wird auch als aerobe Technik bezeichnet, da ein mikrobieller Abbau organischer Substanz (Verrottung) unter Sauerstoffzufuhr erfolgt. Der Vorgang wird auch als Heißkompostierung genannt. Charakteristisch für eine Heißkompostierung ist der spezifische Temperaturverlauf. Das Endprodukt, der fertige Kompost, riecht bei einer erfolgreichen Kompostierung angenehm nach Walderde.

Die drei Phasen der Kompostierung

Abbau und Hygienisierungsphase (Dauer: 3 bis 4 Wochen): Die Temperatur steigt auf 50 bis 70°C an. Dadurch werden Unkrautsamen, Keimlinge und Schadorganismen teilweise abgetötet. Leicht abbaubare Bestandteile des Komposts, z. B. Zucker und bestimmte Eiweiße werden durch Mikroorganismen und Bakterien zerlegt und Nährstoffe mineralisiert.

Umbauphase (Dauer: 4 bis 6 Wochen): Die Temperatur sinkt unter 50°C und liegt zwischen 30 bis 45 °C. Die wasserlöslichen Nährstoffe werden in sogenannten Nährhumus eingebunden. Das Pilzwachstum nimmt zu. Sie sorgen für den Abbau schwer verwertbarer Pflanzenbestandteile, wie Zellulose und Pektin. Organische Säuren werden abgebaut. Es kommt zur Freisetzung von Alkalielementen (Na, K) und Erdalkalielelementen (Mg, Ca). Der Kompost in der 6. – 8. Woche hat die beste Düngewirkung und kann als Frischkompost verwendet werden.

Aufbauphase (Dauer: 7 bis 12 Wochen): Bei Temperaturen um die 20 °C zerkleinern nun Nematoden, Springschwänze, Milben, Tausendfüßler, Asseln und Kompostwürmer die Stoffe. Die Umwandlung des Nährhumus zu Dauerhumus erfolgt. Die Nährstoffe werden immer stärker gebunden und die bodenaufbauende Wirkung des Humus erhöht sich. Nach 10 bis 12 Wochen Aufbauphase ist ein Fertigkompost entstanden, nach 16 bis 20 Wochen ein gereifter Kompost.

Aufgabe: Zeichnen Sie ein Diagramm mit dem Temperaturverlauf und kennzeichnen Sie die drei Phasen und die Komposte, die in dem jeweiligen Zeitraum entstehen.



Kompost-Check

Eine gute Komposterde entsteht durch die richtige Behandlung und Pflege. Ob die Kompostierung optimal verläuft, kann anhand verschiedener Parameter, wie der Feuchtigkeit, der Temperatur, dem Geruch und der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration im Kompost bestimmt werden.

In größeren Kompostierungsanlagen sollte in der ersten Phase der Kompostierung, der Abbau- und Hygienisierungsphase, mindestens jeden dritten Tag, besser täglich, der Kompost überprüft werden. Danach kann der Abstand der Messungen auf mindestens einmal in der Woche verringert werden. Nach 6 - 8 Wochen erhält man einen Frischkompost, mit hoher Düngewirkung, der im Agrarbereich einsetzbar ist. Für die Verwendung im Gartenbau sollte die Aufbauphase von mindestens 10 Wochen (für Fertigkompost) bis 20 Wochen (für Substratkompost) abgewartet werden. Bei einer sehr langen Kompostmiete misst man an mehreren Stellen (aller 5-10 Meter) im vorgegebenen Mietenbereich.

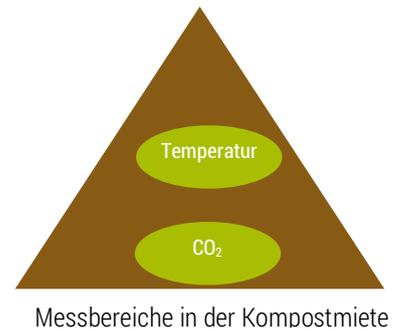
Untersuchungen

Temperatur: Die Temperatur ist regelmäßig mit einem Kompostthermometer zu kontrollieren. Die höchsten Temperaturen entstehen im oberen Drittel der Miete, so dass auch dort die Messungen vorgenommen werden sollten. Als Messgeräte werden sog. Kompostthermometer eingesetzt. Wichtig ist die sorgfältige Führung eines Temperaturprotokolls.



Eine Hygienisierung des Materials ist sichergestellt, wenn die Temperaturen über mindestens 2 Wochen Temperaturen von $> 55^{\circ}\text{C}$ bzw. über eine Woche von 65°C durchgehend erreicht werden. Dadurch kann zum einen die ausreichende Hygienisierung sicher nachgewiesen und zum anderen kann entsprechend reagiert werden, sollten die Temperaturen nicht ausreichen bzw. zu hoch liegen ($>65^{\circ}\text{C}$). Bei Temperaturen über 65°C ist der mikrobiologische Abbau stark reduziert und kommt bei 75°C vollkommen zum Stillstand. Eine Abkühlung kann durch die Zugabe von Wasser erzielt werden und durch das Umsetzen der Miete. Beides führt jedoch nur zu einem kurzfristigen Erfolg, da dadurch die Abbauvorgänge beschleunigt werden und ein erneuter Temperaturanstieg einsetzt. Eine andere Möglichkeit ist das Einmischen von stickstoffarmen Materialien.

Kohlendioxid: CO₂ ist ein Gas, das sich am Fuß der Miete sammelt, aus diesem Grund wird an der Basis der Miete gemessen. Dafür wird ein CO₂-Meßgerät mit Sonde benötigt. Die Kohlendioxidkonzentration sollte täglich gemessen und in einem Protokoll festgehalten werden. Ab 8 % CO₂ erstickt langsam das aerobe Leben im Kompost, daher sollte spätestens ab 15 % CO₂-Gehalt der Kompost gewendet werden. In den ersten Tagen der Kompostierung entstehen, durch die intensiven Abbauprozesse während einer Heißrotte, hohe CO₂-Konzentrationen in der Miete.



Feuchtigkeit: Während der Kompostierung ist die regelmäßige Einschätzung der optimalen Feuchtigkeit im Kompost besonders wichtig. Dies kann am einfachsten über die sog. Faustprobe erfolgen. Um den Kompost effizient und gleichmäßig zu befeuchten, sollte eine Bewässerung immer ins bewegte Material geschehen. Mit einem Kompostwender kann dies einfach und direkt erfolgen.

Faustprobe: Aus verschiedenen Stellen der Kompostmiete wird insgesamt eine Handvoll Material entnommen und in der Faust gepresst.

A) zu trocken

Tritt zwischen den Fingern kein Wasser aus und beim Öffnen der Faust zerfällt das Material, dann ist die Miete zu trocken.

B) optimal

Wenn das Material beim Öffnen der Faust in einem Knödel zusammenhält und kaum oder kein Wasser auspressbar ist, dann ist die Feuchtigkeit optimal.

C) zu nass

Wenn das Material zu nass ist, tritt bei der Faustprobe merklich Wasser aus.

Geruch: Bei ungenügender Durchlüftung des Kompostmaterials wie z. B. bei zu dichten Aufschüttungen, bei stauender Nässe oder bei Sauerstoffarmut treten unangenehme Gerüche auf, die auf eine hohe Freisetzung von Treibhausgasen hindeuten. Fauliger Geruch weist auf eine zu feuchte Kompostmiete hin. Ammoniakgeruch gilt als Hinweis auf zu stickstoffreiche Ausgangsmaterialien.

Bei fauligem Geruch sollte der Kompost umgesetzt, abgedeckt oder mit mehr Strukturmaterial versehen werden. Zu stickstoffreiche Ausgangsmaterialien können mit kohlenstoffreichen Ausgangsmaterialien ausgeglichen werden.

Messprotokoll

Start Kompostierung/Aufsetzen der Miete:

Datum	Messpunkt	Temperatur	CO ₂ -Gehalt	Feuchtigkeit	Geruch
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
Schlussfolgerungen/ Maßnahmen:					
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
Schlussfolgerungen/ Maßnahmen:					
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
Schlussfolgerungen/ Maßnahmen:					

Probleme bei der Kompostierung

Symptom	Beobachtung	Mögliche Ursachen	Abhilfen
Kompost zu trocken	Material ist schimmelig, lässt sich durch die Faustprobe nicht zu Ballen formen, die einzelnen Ausgangsstoffe sind noch erkennbar, viele Ameisennester und Asseln erkennbar	Feuchtigkeit fehlt: mangelnde Befeuchtung beim Aufsetzen, Kompost wird zu stark besonnt	Material umsetzen und bewässern, frischer Rasenschnitt und Küchenabfälle hinzufügen
Kompost zu nass oder stinkt	Der Kompost ist papig und schmierig. Beim Zusammendrücken tritt Wasser aus; riecht unangenehm	Fäulnis wegen Luftmangels, vielleicht weil Grünmaterial zu dicht aufeinander lagert.	Gesteinsmehl oder Pflanzenkohle sowie grobes, trockenes Material (Strauchschnitt, Häcksel, Stroh) untermischen. Kompost vor Regen schützen, mit Vlies abdecken
Kompost wird nicht heiß	Der Kompost erreicht nicht die zur Hygienisierung nötigen Temperaturen	Zu wenig frisches Grünmaterial oder Mischung ist unausgewogen oder Kompost ist zu niedrig aufgeschichtet (fehlendes Volumen)	Frischen Rasenschnitt beimischen, Volumen vergrößern
Kompost ist zu heiß	Der Kompost erreicht zu hohe Temperaturen, mikrobielle Tätigkeit wird eingestellt, verliert viel Stickstoff und durch Verdunstung viel Wasser	Kompostmaterial zu stickstoffhaltig, lagert zu dicht	Umsetzen, Kühlung durch Reifekompost oder Erde, strukturreiches Material untermischen

Kompost rotet nicht oder zu langsam	Kompost ist zu nass oder zu trocken	Zu lange nicht umgesetzt, zu wenig Sauerstoff, Anteil holziger Stoffe zu hoch oder zu große Stücke, C/N-Verhältnis zu hoch	Stickstoffreiches Material zusetzen (Rasenschnitt, Küchenabfälle), Feuchtigkeit überprüfen und ggf. korrigieren, Miete umsetzen
Im Kompost zu hohe CO₂-Werte	15% und mehr CO ₂ -Gehalt im Kompost	Zu seltenes Wenden, zu wenig Strukturmaterial In den Anfangstagen meist nicht vermeidbar durch intensiven Abbau.	Kompost wenden, um Sauerstoff zuzuführen, Zugabe von mehr Strukturmaterial
Unerwünschte Tiere im Kompost	Ratten leben im Kompost, Vögel wühlen an der Oberfläche	Frei liegende oder große Mengen an Küchenabfällen	Küchenabfälle in die Mitte des Haufens einbringen
Fruchtfliegen im Kompost	Schwärme von Fliegen im Kompost	Zuckerhaltige Abfälle auf der Oberfläche	FrISCHE Abfälle untermischen, für Belüftung sorgen, Gesteinsmehl oder Pflanzenkohle über frISCHE Abfälle pudern

Die Qualität der Komposte: Tests

Ob Pflanzenkohlekomposte und Pflanzenkohlesubstrate verwendbar sind, kann durch einen Verträglichkeitstest mit Bodenbewohnern, den Kompostwürmern und durch einen Pflanzentest herausgefunden werden. Diese Tests sind ebenfalls anwendbar auf Komposte ohne Pflanzenkohle.

Regenwurmvermeidungstest

Materialien:

-  Standardboden (LUFA 2.2) oder zu verwendender Boden
-  Pflanzenkohlekompost
-  Flaches Gefäß, z.B. runde Kuchenform
-  zehn Kompostwürmer (*Eisenia foetida*)



Kurzbeschreibung der Methode:

Für den Test kann entweder ein kommerzieller Standardboden (LUFA 2.2) oder der Boden verwendet werden, in den der Pflanzenkohlekompost eingesetzt werden soll. Einen Teil des Bodens wird mit dem Pflanzenkohlekompost oder Pflanzenkohlesubstrat gemischt. Die Beimischung des Komposts kann zu 10%, 30% und 50% erfolgen.

Anschließend wird in die rechte Hälfte eines Gefäßes das Gemisch aus Boden und Pflanzenkohlekompost bzw. -substrat gefüllt und in die linke Hälfte der Standardboden. In das Gefäß werden zehn Kompostwürmer (*Eisenia foetida*) zugegeben, die über einen Zeitraum von 24 h in die von ihnen bevorzugte Gefäßhälfte wandern. Danach wird die Anzahl der Regenwürmer in der linken und rechten Gefäßhälfte gezählt.

Auswertung

Haben sich die Würmer positiv, negativ oder neutral im Vergleich zum Standardboden verhalten?

 positiv

 neutral

 negativ

Wenn die Regenwürmer sich negativ zur Substratmischung verhalten, ist das ein Hinweis auf toxische Stoffe im Substrat, die eine negative Wirkung auf die Regenwürmer haben.

Pflanzentest in Töpfen

Material:

- 🌱 Standardboden (LUFA 2.2) oder zu verwendender Boden
- 🌱 Pflanzenkohlekompost
- 🌱 Zwei Blumentöpfe
- 🌱 Kressesamen



Kurzbeschreibung der Methode:

In kleine Blumentöpfe wird der zu testende Kompost und ein Vergleichssubstrat gegeben. Für den Test kann entweder ein kommerzieller Standardboden (LUFA 2.2) oder der Boden verwendet werden, in den der Pflanzenkohlekompost eingesetzt werden soll. Die Samen der Kresse werden in die Töpfe gestreut und leicht angepresst. Die Töpfe an einen hellen Platz stellen, z.B. auf die Fensterbank. Während der 7-tägigen Testphase die Töpfe mit einer Sprühflasche feucht halten.

Auswertung



positiv



neutral



negativ

positiv: Die Anzahl und das Aussehen der Kressekeimlinge ist in beiden Substraten gleich.

negativ: Im Kompost wächst deutlich weniger Kresse als im Vergleichssubstrat. Dann ist der Kompost von schlechter Qualität. Wenn der Kompost noch relativ jung ist, muss die Rotte weitergeführt werden. Ist der Kompost aber schon reif, sind gravierende Fehler begangen worden.

Pflanzentest im geschlossenen Glas

Material:

- 🌱 Standardboden (LUFA 2.2) oder zu verwendender Boden
- 🌱 Pflanzenkohlekompost
- 🌱 Zwei luftdichtverschießbare Gläser
- 🌱 Kressesamen



Kurzbeschreibung der Methode:

In geschlossenen Gläsern mit Deckel (1 Liter Volumen, z.B. Einmachgläser) wird der zu testende Kompost und ein Vergleichssubstrat gegeben. Für den Test kann entweder ein kommerzieller Standardboden (LUFA 2.2) oder der Boden verwendet werden, in den der Pflanzenkohlekompost eingesetzt werden soll. Die Samen der Kresse werden in die Gläser gestreut

und leicht angepresst und leicht befeuchtet. Anschließend werden die Gläser luftdicht mit den Deckeln verschlossen und während der 3-7 Tage Versuchsdauer nicht geöffnet.

Auswertung

3 Tage: Die Kresse sollte gleichmäßig gekeimt sein und ihre Keimlinge sind frisch und zart, die Wurzeln hell.



Ja



Nein

Wenn die Kresse nicht keimt, dann ist das ein Hinweis auf schädliche Gase (z.B. Ammoniak), welche auch für Pflanzen und Bodenlebewesen schädlich sind. Der Kompost ist pflanzenunverträglich.

7 Tage: Wenn die Pflanzen wachsen und grüne Blätter bilden, ist der Gebrauch des Kompostes als Blumenerde geeignet (auch wenn die Kresse im Kompost schlechter gewachsen ist).



Ja



Nein

Die Qualitätssicherung von Komposten

Hergestellte Komposte unterliegen den Anforderungen der Bioabfallverordnung. Diese regelt die umweltverträgliche Verwertung von organischen Abfällen, die als Düngemittel auf Böden oder als Teil von Substraten angewandt wird. Darüber hinaus gelten sowohl die Schadstoffregelungen aus der Düngemittelverordnung als auch der Bioabfallverordnung. Das trifft auch auf die Komposte mit Pflanzenkohle zu. Die verwendete Pflanzenkohle für die Kompostierung kann durch Hersteller freiwillig nach den European Biochar Certificate (EBC) zertifiziert werden.



Bundesgütegemeinschaft Kompost

Hersteller von Kompost können die Produktion ihrer Erzeugnisse der freiwilligen RAL-Gütesicherung unterstellen. Drei Produkte werden unterschieden:

-  Fertigkompost,
-  Frischkompost,
-  Substratkompost.

Die Kompostprodukte werden zur Bodenverbesserung und Düngung eingesetzt. Substratkompost und Fertigkompost können auch als Mischkomponente bei der Herstellung von Erden und Kultursubstraten verwendet werden.

Abb.: RAL-Gütezeichen der Bundesgemeinschaft Kompost

Qualitätsanforderungen an RAL-Komposte

Parameter	Anforderungen
Organische Substanz, Pflanzennährstoffe, basische Stoffe (Kalk), pH-Wert, Salzgehalt	Angabe der Gehalte in der Warendecklaration und in Prüfzeugnissen der Gütesicherung
Pflanzenverträglichkeit	Nachweis durch Keimpflanzenversuche
Hygiene	Nachweis durch Temperatureinwirkungen und Untersuchungen
Fremdstoffe	Nachweis der Grenzwerteinhaltung
Schadstoffe	Nachweis der Grenzwerteinhaltung

Link: <https://www.kompost.de/guetesicherung/guetesicherung-kompost/>

Die Potentiale von

Pflanzenkohlekomposten: Forschungsergebnisse

Welche Potentiale haben Pflanzenkohlekomposte? Wie kann mit ihnen beim Gärtnern dazu beigetragen werden, die Planetaren Grenzen zu bewahren? Treffen Sie anhand der folgenden Diagramme Aussagen zu den Fragen und begründen Sie diese.

Torfeinsparpotenzial der untersuchten Testsubstrate



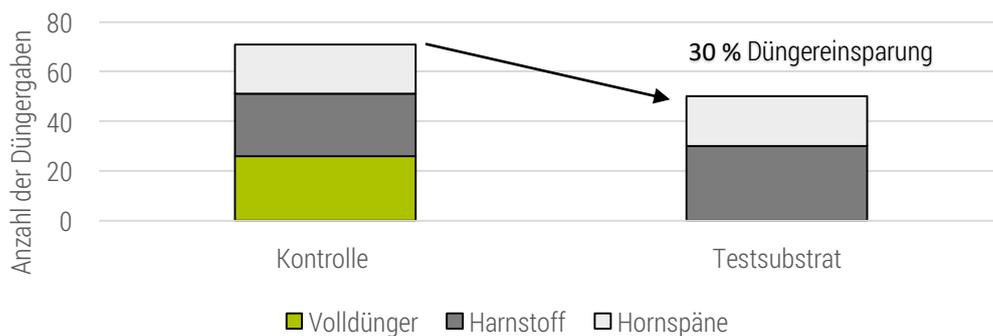
PS1- Pflanzsubstrat für Papaya und Kaffeestrauch

PS2- Pflanzsubstrat für Kolbenfaden

PS3- Pflanzsubstrat für Fingerhut, Storchschnabel, Oleander

PS4- Pflanzsubstrat für Durchwachsene Silphie

Düngereinsparpotenzial der untersuchten Testsubstrate



Entwicklung der Wurzeln von Jungpflanzen



Vergleichen Sie die Bewurzelung der Primeln auf dem Foto (links mit Pflanzenkohlesubstrat, rechts Kontrollsubstrat).

HINWEIS: Alle Versuchsergebnisse wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Terra Boga“ gewonnen (siehe auch: <https://terraboga.de/terra-boga/arbeitsplan/ergebnisse/>)



Gärten und Landwirtschaft mit der Terra- Preta-Technik

Recherchieren Sie zu folgenden Projekten, Initiativen und Firmen, die mit der Terra-Preta-Technik arbeiten. Stellen Sie eines der Projekte in einem Porträt dar, entweder als Plakat, Präsentation oder Artikel.

Landwirtschaftliche Anwendung von Pflanzenkohle in Nepal und CO₂-Abonnement des Ithaka-Instituts

<http://www.ithaka-journal.net/klimaneutral-2018>

„Terra Boga“ Forschungsprojekt der AG Geoökologie der FU Berlin

<https://terraboga.de/>

Waldgärten im kolumbianischen Las Gaviotas

<http://www.ithaka-journal.net/baume-als-regenmacher-in-der-wuste-terra-pret-a-in-kolumbien>

Mit Milpa und Pflanzenkohle zu Humus

<http://www.ithaka-journal.net/mit-milpa-und-pflanzenkohle-zu-humus>

Wurzelapplikation von Pflanzenkohle

<http://www.ithaka-journal.net/wurzelapplikation>

Biodünger schlägt Chemie – Eine Chance für Teebauern im Himalaya

<http://www.ithaka-journal.net/biodunger-schlagt-chemie-eine-chance-fur-teebauern-im-himalaya>

Die Verwendung von Pflanzenkohlekomposten

Pflanzenkohlekompost lässt sich vielseitig im Beet und in Kübeln einsetzen. Art und Menge des Kompostes müssen den jeweiligen vegetationstechnischen Anforderungen gerecht werden und sich nach Standort und Ziel der Begrünung richten. Der Einsatz des Kompostes hängt in erster Linie von den bodenkundlichen Gegebenheiten, dem Anspruch der Pflanze (Starkzehrer, Mittelzehrer und Schwachzehrer) und den Einsatzbereichen ab.

Einsatzbereiche

- 🌱 Rekultivierung
- 🌱 Bodenverbesserung
- 🌱 Humusaufbau und Humuserhalt
- 🌱 Pflanzendünger
- 🌱 Herstellung von Substraten

Anwendungszeitraum

- 🌱 ganzjährig
- 🌱 nährstoffreiche Komposte während der Vegetationszeit (April bis September)

Aufwandmengen

- 🌱 richten sich nach Bedarf der Pflanzen und den verfügbaren Nährstoffen im Boden

Pflanzennährstoffe im Kompost

- 🌱 Phosphat, Kalium, Magnesium können für Düngung voll angerechnet werden
- 🌱 Stickstoff ist zu 95 % in organischer Substanz des Kompostes gebunden
- 🌱 im ersten Jahr Freisetzung des Stickstoffs 3 - 5 %, folgenden Jahre bis 10 %, langfristig 15 % - 30 %

Rechtsbestimmungen

- 🌱 Beachtung der abfall-, düngemittel-, wasser- und bodenrechtlichen Vorschriften
- 🌱 Bei Einsatz von RAL-Komposten sind Rechtsbestimmungen erfüllt
- 🌱 Haftung durch Durchführende

Topfpflanzen

Im Folgenden werden allgemeine Empfehlungen für die Herstellung von Substraten mit Pflanzenkohlekompost als Mischkomponente gegeben.

- 🪴 keinen reinen Pflanzenkohlekompost einsetzen, sondern immer vermischt mit anderen Materialien wie Gartenerde, Bims und Sand abhängig von den Kulturen
- 🪴 für die meisten Zier- und Balkonpflanzen eine Mischung aus 1 Teil Reifekompost oder Komposterde und 3 - 5 Teilen Gartenerde verwenden
- 🪴 besonders bei Starkzehrern kann der Kompost zu wenig Stickstoff enthalten, hier wird eine zusätzliche Düngung mit Stickstoff, z.B. mit verdünntem Urin oder Hornspänen notwendig, da sonst Mangelercheinungen auftreten

Reifekompost:

9 - 12 Monate gereifter Gartenkompost

langsam wirkender Dünger, der für alle Pflanzen verwendet werden kann

Eigenschaften: Geruch nach Walderde und krümelige Struktur

Freiland

Pflanzenkohlekompost kann im Freiland als Dünger oder Bodenverbesserer für Gartenpflanzen, Rasen, Bäume und Sträucher eingesetzt werden. Da die Pflanzen hinsichtlich Nährstoffbedarf unterschiedliche Ansprüche haben, kommen verschiedene Kompost-Reifegrade (Frischkompost, Reifekompost und Komposterde) und Mengen zum Einsatz.

Einsatz und Mengen von Frischkompost:

- 🪴 robuste Kulturen wie Bäume, Sträucher, Beeren: 2 - 5 cm dicke Schicht im Herbst aufbringen (evtl. auch im Frühjahr), um die Stämme 10 - 20 cm frei lassen
- 🪴 stark zehrende Pflanzen wie Tomaten, Kürbis, Kohlrarten, Frühkartoffeln, Rhabarber, Mais: 6 - 8 l/qm, im Frühjahr leicht einharken (auch Reifekompost möglich)
- 🪴 Blumen- und Gemüsebeete: als Bodenabdecker, im Herbst auf abgeräumte Beete bringen

Frischkompost:

6 Monate alter Gartenkompost

schnell wirkender Dünger mit hoher Düngewirkung, der nicht für alle Pflanzen verwendet werden sollte

Eigenschaften: enthält viele grobe Teilchen

Einsatz und Mengen von Fertigkompost/ Komposterde:

- 🪴 mittelstark zehrende Pflanzen wie Möhren, Kartoffeln, Fenchel, Gurke, Spinat, Mangold, Rettich: 4 - 6 l/qm, im Frühjahr leicht einharken

- 🪴 Schwachzehrer wie Bohnen, Erbsen, Radieschen, Endivien, Feld- und Kopfsalat, Erdbeeren, Blumen, Kräuter: 2 - 4 l/qm, im Frühjahr leicht einharken
- 🪴 Rasen: 2 l/qm, im Frühling als dünne Schicht ausstreuen, evtl. im Herbst wiederholen
- 🪴 Pflanzungen von Bäumen, Sträuchern und Stauden: Mischung aus 1 Teil Reifekompost und 3 Teilen Gartenerde, in die Pflanzlöcher füllen
- 🪴 Aussaat- und Anzucherde: 1 Teil Reifekompost (auch Komposterde) mit 9 Teilen Sand oder Erde mischen

Komposterde:

12 Monate und älterer Kompost

Nährstoffe weitestgehend eingebunden, daher nur noch geringe Düngewirkung

als Bodenverbesserer oder für empfindliche Pflanzen geeignet

Ersatz von Torf und Substrat für Moorbeete

Pflanzenkohlekomposte können Torf und Moorbeetsubstrate ersetzen. Der hohe pH-Wert der Pflanzenkohlekomposte muss jedoch durch Ansäuerung mit Schwefelbentonit ausreichend gesenkt werden und ist dann für typische Moorbeetpflanzen wie Rhododendren verwendbar.

* Die Angaben in den Boxen beziehen sich auf im Garten selbst hergestellte Komposte.

Aufgabe

Entwickeln Sie einen eigenen Pflanzversuch. Überlegen Sie: Was möchten Sie untersuchen? Was sind Ihre Fragen? Welche Parameter (z.B. Wachstum) müssen Sie in welchem Zeitraum und zeitlichen Abstand erfassen, um ihre Fragen zu beantworten? Stellen Sie Ihren Pflanzversuch schriftlich dar. Dokumentieren Sie regelmäßig die Ergebnisse, stellen sie diese abschließend grafisch dar und werten sie diese schriftlich aus.

Pflanzenkohle: Test

1. Wann fand die erste Expedition und Kolonialisierung auf dem Amazonas von Europäern statt?
 - a) Im 16. Jahrhundert
 - b) Im 15. Jahrhundert
 - c) Im 17. Jahrhundert

2. Wie wird Terra Preta de Indio noch genannt?
 - a) Braunerde
 - b) Roterde
 - c) Schwarze Erde

3. Woraus besteht die Terra Preta nicht?
 - a) Essensabfällen
 - b) Holzkohle
 - c) Lehm

4. Was unterscheidet Pflanzenkohle vor allem von Braunkohle?
 - a) Entstehung
 - b) Farbe
 - c) Ausgangsmaterial

5. Wie wird das Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle genannt?
 - a) Raffination
 - b) Bokashi
 - c) Pyrolyse

6. Aus welchen der Stoffe kann Pflanzenkohle **nicht** hergestellt werden?
 - a) Obstkerne
 - b) Holz
 - c) Restmüll

7. Nennen Sie Beispiele, warum die Pyrolyse pflanzlicher Reststoffe ein Beitrag zum Klimaschutz ist.

8. Nennen Sie Eigenschaften der Pflanzenkohle, die sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirken.
9. Erläutern Sie, was unter der erhöhten Kationenaustauschkapazität der Pflanzenkohle verstanden wird?
10. Was ist richtig? Pflanzenkohle in Böden ist
 - a) Dünger
 - b) Trägermittel
 - c) Pflanzenschutzmittel
11. Was bedeutet es für den Boden, wenn Pflanzenkohle ein pH-Puffer ist?
 - a) Neutraler Boden wird sauer
 - b) Saurer Boden wird neutral
12. Wofür kann Pflanzenkohle nicht verwendet werden?
 - a) Speicher flüchtiger Nährstoffe
 - b) zur Verbesserung humusarmer Böden
 - c) als Dünger beim Gärtnern

Lösungen:

1. Wann fand die erste Expedition und Kolonialisierung auf dem Amazonas von Europäern statt?

- d) Im 16. Jahrhundert
- e) Im 15. Jahrhundert
- f) Im 17. Jahrhundert

In den Jahren 1541 und 1542 befuhr der Spanier Fransico de Orellano als erster Europäer den Amazonas von West nach Ost.

2. Wie wird Terra Preta de Indio noch genannt?

- d) Braunerde
- e) Roterde
- f) Schwarze Erde

Terra Preta de Indio ist Portugiesisch für Schwarze Erde der Indianer.

3. Woraus besteht die Terra Preta nicht?

- d) Essensabfällen
- e) Holzkohle
- f) Lehm

Die Terra Preta de Indio besteht aus einem Gemisch aus Holzkohle und zahlreichen organischen Materialien, wie Küchenabfällen, Knochen, Fischgräten, Hühnerdung und Fäkalien.

4. Was unterscheidet Pflanzenkohle vor allem von Braunkohle?

- d) Entstehung
- e) Farbe
- f) Ausgangsmaterial

Braunkohle ist in geologischen Prozessen in Millionen von Jahren entstanden. Pflanzenkohle hingegen wird von Menschen hergestellt.

5. Wie wird das Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle genannt?

- d) Raffination
- e) Bokashi
- f) Pyrolyse

Bei der Pyrolyse wird pflanzliche Biomasse durch hohe Wärmeenergie und ohne Sauerstoff zersetzt.

6. Aus welchen der Stoffe kann Pflanzenkohle **nicht** hergestellt werden?

- d) Obstkerne
- e) Holz
- f) Restmüll

Wie der Name nahelegt, Pflanzenkohle wird aus pflanzlicher Biomasse hergestellt.

7. Nennen Sie Beispiele, warum die Pyrolyse pflanzlicher Reststoffe ein Beitrag zum Klimaschutz ist.

Bei der Pyrolyse wird langfristig das klimaschädliche Gas CO_2 in der Pflanzenkohle gebunden und die entstandene Prozesswärme kann weiter genutzt und so Energiekosten gespart und fossile Brennstoffe ersetzt werden.

Nennen Sie Eigenschaften der Pflanzenkohle, die sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirken.

Pflanzenkohle ist äußerst porös und hat eine große innere und äußere Oberfläche. Dadurch kann Pflanzenkohle Wasser und darin gespeicherte Nährstoffe sehr gut aufnehmen, darüber hinaus binden positiv geladene Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche und auch Bodenorganismen siedeln sich gern an. Alles zusammen führt zu verbesserter Verfügbarkeit von Nährstoffen und vermehrter Bodenaktivität, was sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt.

Erläutern Sie, was unter der erhöhten Kationenaustauschkapazität der Pflanzenkohle verstanden wird?

Das bedeutet, dass positiv geladene Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche der Pflanzenkohle binden, nicht ausgewaschen werden und somit für die Pflanze und Mikroorganismen sehr gut verfügbar sind.

7. Was ist richtig? Pflanzenkohle im Boden ist

- d) Dünger
- e) Trägermittel
- f) Pflanzenschutzmittel

Pflanzenkohle im Boden ist ein ideales Trägermittel. Sie hält Nährstoffe und Wasser länger für die Pflanze bereit und schafft ein Bodenmilieu in dem Pflanzen besser wachsen und gedeihen können.

8. Was bedeutet es für den Boden, wenn Pflanzenkohle ein pH-Puffer ist?

- c) Neutraler Boden wird sauer
- d) Saurer Boden wird neutral

Die Pflanzenkohle fungiert außerdem als pH-Puffer für den Boden. Das bedeutet, dass saure Böden neutraler werden und Pflanzen besser wachsen.

9. Wofür kann Pflanzenkohle nicht verwendet werden?

- d) Speicher flüchtiger Nährstoffe
- e) zur Verbesserung humusarmer Böden
- f) als Dünger beim Gärtnern

Die Pflanzenkohle ist vielseitig einsetzbar. Aufgrund ihrer großen und porösen Oberfläche fungiert sie als Speicher flüchtiger Nährstoffe, die somit besser für die Pflanze verfügbar sind. Aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften (die Adsorptionskapazität, Kationenaustauschkapazität, pH-Puffer, Siedlungsplatz für Bodenorganismen) kann die Pflanzenkohle zur Verbesserung humusarmer Böden eingesetzt werden. Am wirksamsten ist die Pflanzenkohle, wenn sie mit kompostiert und der reife Kompost dann in humusarme Böden eingearbeitet wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

aid infodienst (2015): Kompost im Garten

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2012): Fachliche Grundlagen für den Einsatz von Komposten im Garten-und Landschaftsbau

Chemnitz, Christine / Weigelt, Jes (Hrsg.) (2015): Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde

EBC (2012) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 7.4 of 14th August 2017, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

Glaser, Bruno (2018): Pflanzenkohle – Stand der Forschung. Vortrag auf Tagung CarboTip (<https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/physgeog/geoökologie/medien/Workshop-CarboTIP.html>)

Hans-Peter Schmidt (2012): Pflanzenkohle, eine Schlüsseltechnologie zur Schließung der Stoffkreisläufe. Ithaka Journal 1/2012: 75–79 (2012)

Lehmann, Johannes / Dirse C. Kern. Bruno Glaser, William I. Woods (2003): Amazonian Dark Earth

Pahler, Agnes (2013): Das Kompostbuch. Gartenpraxis für Selbstversorger und Hobbygärtner.

Preißler-Abou El Fadil, Andrea (2018): Gärtnern nach dem Terra-Preta-Prinzip. Praxiswissen für dauerhaft fruchtbare Erde.

Scheub, Ute / Piepelow, Haiko / Schmidt, Hans-Peter (2018): Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald.

Schmidt HP 55 Anwendungen von Pflanzenkohle Ithaka Journal 1/2012: 99–102 (2012)

Schmidt HP: Pflanzenkohle Ithaka Journal 1/2011: 75–82 (2011)

Schmidt HP: Wurzelapplikation von Pflanzenkohle - hohe Ertragssteigerung mit wenig Pflanzenkohle, Ithaka-Journal 2016, Arbaz, Switzerland, ISSN 1663-0521, pp. 395-402, www.ithaka-journal.net/97

Schmidt, HP Pflanzenkohle, eine Schlüsseltechnologie zur Schließung der Stoffkreisläufe Ithaka Journal 1/2012: 75–79 (2012)

Schmidt, HP (2011): Terra Preta – Modell einer Kulturtechnik Ithaka Journal 1/2011: 117–121 (2011)

Terytze, Konstantin / Wagner, Robert (Hrsg.) (2016): Handlungsanleitung. Verwertung von organischen Reststoffen zur Erzeugung fruchtbarer Pflanzenkohle-substrate und deren Nutzung im Gartenbau.

Terytze, Konstantin / Vogel, Ines (Hrsg.) (2019): Handlungsanleitung zur Wertschöpfung organischer Reststoffe-Biokohle und Biokohlesubstrate zur nachhaltigen und klimafreundlichen Sanierung sowie Inwertsetzung militärischer Konversionsflächen und ertragsschwacher Standorte

UBA (Hrsg. 2016): Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C- Sequestrierung in Böden

Zentralverband Gartenbau e.V. (2002): Handbuch. Kompost im Gartenbau. 2002 Bonn

Zundel, Stefan / Witte, Victoria (2018): Die monetäre Bewertung von Pflanzenkohlesubstraten Vortrag auf Tagung CarboTip (<https://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/phys-geog/geoökologie/medien/Workshop-CarboTIP.html>)

Glossar

Adsorption	<p>die Anlagerung der Atome oder Moleküle von Flüssigkeiten oder Gasen an eine feste Oberfläche;</p> <p>bei Pflanzenkohle binden die positiv geladenen Kationen der Nährstoffe an der Oberfläche, werden nicht ausgewaschen und sind somit für die Pflanze und Mikroorganismen sehr gut verfügbar</p>
Aerobe	<p>Stoffwechselprozesse von Zellen oder Organismen laufen nur in Gegenwart von Luft-Sauerstoff (zur Oxidation, Atmung) ab</p>
Aktivkohle	<p>ist ein poröser Kohlenstoff mit hoher innerer Oberfläche, der als Adsorptionsmittel bspw. in Medizin oder zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt wird; wird durch trockene Destillation gewonnen oder mit Zinkchlorid und Phosphorsäure behandelt, anschließend oxidativ aktiviert</p>
Amazonas	<p>wasserreichster Fluss der Erde im größten zusammenhängenden Regenwaldgebiet gelegen, im nördlichen Südamerika (Amazonien)</p>
Anaerob	<p>Stoffwechselprozesse von Zellen oder Organismen laufen nur unter Ausschluss von Sauerstoff ab</p>
Boden	<p>Naturkörper der belebten obersten Erdkruste, der als Element der Pedosphäre nach oben durch die Atmosphäre mit der Vegetation und nach unten durch das feste oder lockere Gestein begrenzt ist</p> <p>besteht zu wechselnden Anteilen aus mineralischen Substanzen (Gesteinsreste, primäre Minerale, Mineralneubildungen), organischen Substanzen (Streustoffe, Huminstoffe), Edaphon (Bodenlebewesen) und Hohlräumen, die Bodenlösung und Bodenluft enthalten</p>
Kohlenstoff-/ Stickstoffverhältnis	<p>bestimmt maßgeblich die Produktivität der Mikroorganismen; je mehr kohlenstoffhaltiges im Vergleich zu stickstoffhaltigen Material im Kompost, desto zögerlicher verläuft die Kompostierung; das Mischungsverhältnis von kohlenstoffreichen Abfällen wie Laub oder Stroh zu stickstoffreichen Materialien wie Rasenschnitt oder frischem Grünschnitt sollte bei ca. 30:1 liegen</p>
CO₂-Äquivalent (CO₂-e)	<p>Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase</p>

Destruent/ Zersetzer	Organismen, die organisches Material (Ausscheidungen, tote Organik, etc.) zersetzen und in einfache anorganische Verbindungen umwandeln bzw. mineralisieren
European Biochar Certificate (EBC)	ein in Deutschland freiwilliger Standard für die Sicherstellung nachhaltiger Produktion und Qualitätssicherung der Pflanzenkohle
Ernährungssicherheit	Verfügbarkeit, Zugang, Nutzung und Stabilität sind die vier Säulen, die den Zustand der Ernährung sowohl global als auch für jeden einzelnen Menschen erklären: nicht nur die Menge und Qualität der vorhandenen Nahrung, sondern insbesondere ihre Verteilung und damit ökonomische und soziale Aneignungsmöglichkeiten sowie die Ernährungspraxis sind wichtig
Eutrophierung	die Anreicherung von Nährstoffen in einem Ökosystem oder einem Teil desselben; die durch den Menschen bedingte Erhöhung des Nährstoffgehalts von Gewässern durch gelöste Nährstoffe aus der Düngung, besonders Stickstoff und Phosphor mit meist nachteiligen Folgen für die Ökologie der Gewässer und ihre Nutzbarkeit durch den Menschen
Fermentation	chemische Umwandlung von Stoffen durch Bakterien und Enzyme
Holzkohle	entsteht durch Pyrolyse von trockenem Holz; wird hauptsächlich zur Energiegewinnung eingesetzt
Humus	Gesamtheit der organischen Stoffe im Boden, die beim Abbau und Umbau pflanzlicher und tierischer Überreste entstehen (Humifizierung)
Hygienisierung	Prozess der Kompostierung, bei dem aufgrund von anhaltend hohen Temperaturen (50-70°C über 3 bis 4 Wochen) Unkrautsamen, Keimlinge und Schadorganismen teilweise abgetötet und leicht abbaubare Bestandteile des Komposts, z. B. Zucker und bestimmte Eiweiße durch Mikroorganismen und Bakterien zerlegt und Nährstoffe mineralisiert werden
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Weltklimarat	eine Institution der Vereinten Nationen, in der Wissenschaftler*innen weltweit den aktuellen Stand der Klimaforschung zusammentragen und bewerten und den jeweils neuesten Kenntnisstand zum Klimawandel veröffentlichen

Kationenaustauschkapazität (KAK)	ein Maß für die Menge der Kationen (positiv geladene Ionen), die ein Stoff adsorbieren und gegen in Lösung befindliche Kationen wieder austauschen kann; die KAK ist eine wichtige Bodenkenngröße und steigt mit steigendem pH-Wert der Austauschlösung
Klima	durch statistische Parameter beschriebene Zustand und das Verhalten der Atmosphäre, das für einen längeren Zeitraum charakteristisch ist (i.d.R. langjähriges Mittel über mind. 30 Jahre)
Klimawandel	langfristige Veränderung des Klimas durch Veränderung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre; es wird zwischen natürlicher und von Menschen verursachter (anthropogener) Klimaänderung unterschieden.
Kohlenstoff	nichtmetallisches chemisches Element, das Bestandteil aller organischen Verbindungen und daher von zentraler Bedeutung für den Aufbau nahezu aller in Lebewesen vorkommenden Moleküle (Ausnahmen z.B. H ₂ O, O ₂ , NH ₃)
Kohlenstoffdioxid CO₂	geruch- und farbloses Gas, dessen durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre 120 Jahre beträgt; es gibt einen natürlichen und einen anthropogenen Eintrag von CO ₂ in die Atmosphäre; anthropogenes Kohlendioxid entsteht unter anderem bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) und macht den Großteil des vom Menschen zusätzlich verursachten Treibhauseffektes aus. Quellen sind vor allem die Strom- und Wärmeerzeugung, Haushalte und Kleinverbraucher, der Verkehr und die industrielle Produktion.
Kohlenstoffsенke	Kohlenstoff wird in Wäldern, Gewässern und im Boden gespeichert – das sind dynamische Speicher, die beispielsweise durch Aufforstung oder durch die Einbringung von Pflanzenkohlekompost in den Boden vergrößert werden kann; neben der Vermeidung von CO ₂ -Emissionen ist das eine Strategie für den Klimaschutz
Kohlenstoffsequestrierung	Festlegung von Kohlenstoff in einem anderen Kohlenstoffreservoir als in der Atmosphäre, etwa durch Landnutzungsänderung, Aufforstung und auch mit Hilfe verschiedener Technologien der unterirdischen CO ₂ -Lagerung

Kompostierung	Abbau von organischem Material unter dem Einfluss von Luftsauerstoff und mit Hilfe von Bodenlebewesen, Bakterien und Pilzen; dabei werden neben CO ₂ auch wasserlösliche Mineralstoffe wie Nitrate, Ammoniumsalze, Phosphat, Kalium, Magnesium und Wasser freigesetzt
Konsument	Organismen, die in der Nahrungskette die autotroph entstandene Primärproduktion (Bruttophotosynthese) direkt oder indirekt verbrauchen; entsprechend ihrer Aufeinanderfolge unterscheidet man Primärkonsumenten, Sekundärkonsumenten, Tertiärkonsumenten usw.
Distickstoffmonoxid N₂O	ist ein farbloses, süßlich riechendes Gas, dessen durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre 114 Jahre beträgt und das 298-mal so klimawirksam ist wie CO ₂ ; gelangt vor allem über stickstoffhaltigen Dünger und die Massentierhaltung in die Atmosphäre, denn es entsteht immer dann, wenn Mikroorganismen stickstoffhaltige Verbindungen im Boden abbauen umgangssprachlich Lachgas
Metastudie/ Metaanalyse	ist eine Zusammenfassung von Primär-Untersuchungen zu Metadaten, die mit quantitativen und statistischen Mitteln arbeitet - sie versucht frühere Forschungsarbeiten quantitativ bzw. statistisch zusammenzufassen und zu präsentieren; der Unterschied zur systematischen Übersichtsarbeit (auch: „Review“) liegt darin, dass ein Review die früheren Forschungsdaten und -publikationen kritisch würdigt, während die Metaanalyse nur die quantitative und statistische Aufarbeitung der früheren Ergebnisse umfasst
Methan CH₄	Methan ist ein geruch- und farbloses, hochentzündliches Gas, dessen durchschnittliche Verweildauer in der Atmosphäre 9 bis 15 Jahre beträgt und das 25-mal so klimawirksam wie CO ₂ ; Methan entsteht immer dort, wo organisches Material unter Luftabschluss abgebaut wird, z.B. in der Land- und Forstwirtschaft, insbesondere bei der Massentierhaltung; eine weitere Quelle sind Klärwerke und Mülldeponien.
Mikroorganismen	vorwiegend einzellige, niedere Organismen, die gewöhnlich nur mit Hilfe des Mikroskops zu erkennen sind

nachhaltige Entwicklung	<p>ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen (UN-Brundlandt-Bericht 1987)</p> <p>zur Umsetzung der 17 nachhaltigen Entwicklungsziele haben sich die meisten Staaten der Welt bis 2030 verpflichtet</p>
Nachhaltigkeit	<p>allgemein Bezeichnung für die Fähigkeit eines Ökosystems, trotz Nutzung der Ressourcen in der Leistung nicht zu erschöpfen – mit nachhaltigem Wirtschaften werden Produktionsmethoden bezeichnet, die an einem schonenden Umgang mit den Ressourcen der Erde orientiert sind; die natürlichen Ressourcen (Wälder, Fischbestände usw.) sollen möglichst nur im Umfang ihrer Regenerationsfähigkeit genutzt werden.</p>
Nitrate	<p>wasserlösliche Salze der Salpetersäure (HNO_3). Nitrate (Anion NO_3^-) werden mit Hilfe von nitrifizierenden Bakterien durch Umsetzen stickstoffhaltiger Substanzen (u.a. Ammonium) im Boden gebildet und kommen in Gewässern vor, wo sie die wichtigsten Stickstofflieferanten für photoautotrophe Pflanzen sind, die Nitrate in wechselnder Menge aufnehmen und vorwiegend in Blättern, Stengeln und Wurzeln speichern</p>
Ökologie	<p>Wissenschaft von den Wechselbeziehungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt</p>
ökologischen Fußabdruck	<p>Fläche auf der Erde, die notwendig ist, um den Lebensstil und Lebensstandard eines Menschen (unter den heutigen Produktionsbedingungen) dauerhaft zu ermöglichen</p>
Ökosysteme	<p>Beziehungsgefüge von Lebewesen (Mikroorganismen, Pflanzen, Pilze, Tiere, Mensch) untereinander (Biozönose) und mit einem Lebensraum (Biotop) bestimmter Größenordnung (z.B. See, Wald, Korallenriff); das Ökosystem ist ein offenes System mit formalen (z.B. Klima) und funktionellen Merkmalen (z.B. Nahrungsnetz)</p>
Pflanzkohle	<p>„ein heterogenes Material, das durch Pyrolyse aus nachhaltig gewonnenen Biomassen hergestellt wird und vorwiegend aus polyaromatischen Kohlenstoffen und Mineralien besteht. Die Anwendung von Pflanzkohle führt zu Kohlenstoffsinken, ihre Verbrennung zur Energiegewinnung wird ausgeschlossen“ (laut EBC 2012: 6)</p>

Photosynthese	Pflanzen als Produzenten von Biomasse, nehmen CO ₂ aus der Atmosphäre auf und wandeln es mithilfe von Sonnenlicht und Chlorophyll in mehreren Schritten in energiereiche Glukose (Traubenzucker) und Sauerstoff um; in einer Formel ausgedrückt: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Licht und Chlorophyll} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
pH-Puffer	Pufferbereiche im Boden sind chemische Puffersysteme, die den Säuregehalt des Bodens regulieren; es handelt sich um organische und anorganische Verbindungen, die H ⁺ -Ionen aufnehmen können, und damit eine saure Reaktion oder einen sauren Eintrag abschwächen.
planetare Grenzen	<p>von einem Wissenschaftlerteam unter Leitung von Johan Rockström vom Stockholmer Resilience Centre entwickelt und 2009 publiziert; die Autor*innen haben für die Erde neun grundsätzliche ökologische Dimensionen mit ihren globalen Grenzwerten definiert. Die neun ökologischen Dimensionen sind: der Klimawandel, die Versauerung der Ozeane, der stratosphärische Ozonabbau (bekannt unter dem Namen Ozonloch), die biogeochemischen Kreisläufe (Phosphor- und Stickstoffkreislauf), der Süßwasserverbrauch, die Landnutzung, der Verlust der Artenvielfalt (hier als Artensterben benannt) sowie die Belastung durch Chemikalien und die Partikelverschmutzung der Atmosphäre (atmosphärische Aerosole).</p> <p>Wird eine der Grenzen überschritten, besteht die Gefahr unumkehrbarer und plötzlicher Umweltveränderungen, so dass für uns Menschen ein Leben auf der Erde eingeschränkt wird. Sieben der ökologischen Dimensionen konnten die Autoren quantifizieren</p>
Produzent	autotrophe Organismen, die energiereiche Biomasse aus anorganischen Verbindungen gewinnen (Primärproduktion); neben den grünen Pflanzen, die durch Photosynthese Primärproduktion betreiben, gibt es Organismen, die chemische Reaktionen als Energiequelle nutzen (Chemosynthese) - i.w.S. auch Organismen, die auf höherer trophischer Ebene Produktion erzielen (Sekundärproduzenten)
Pyrolyse	ist ein thermo-chemischer Prozess, beim dem durch kontrollierte Erhitzung und unter weitgehendem Sauerstoffabschluss organische Verbindungen zersetzt werden; dabei entstehen Pflanzenkohle, die vielseitig einsetzbar ist und synthetische Gase, die zur Gewinnung von Strom oder Wärme verwendet werden

Recycling	Verfahren der Müllverwertung bei dem durch Zerlegung des Abfalls in die Ausgangsstoffe Rohstoffe wiedergewonnen werden, die wiederum in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden und die zu neuen Produkten verarbeitet werden
Upcycling	Abfall wird in neuwertige Produkte verwandelt, stoffliche Aufwertung
Remineralisierung	der Abbau organischer Verbindungen zu mineralischen, anorganischen Stoffen, welcher in den Stoffkreisläufen der Natur und bei der Reinigung von Gewässern eine zentrale Rolle spielt; der Abbau erfolgt hauptsächlich durch heterotrophen Organismen (Bakterien, Pilze)
Ressourcen	natürlich vorhandener Bestand von etwas, was von uns Menschen benötigt wird, wie Boden, Energie und Rohstoffe
Rotte	Prozess der Mineralisation und Humifizierung von Biomasse unter aeroben Bedingungen; als Rückstand der Rotte fällt Kompost an
Standardboden (LUFA 2.2)	standardisierte Böden mit bestimmten Charakteristika zur wissenschaftlichen Untersuchung von Versickerungsverhalten, Abbau und Metabolismus, Einfluss auf die Bodenmikroflora und -fauna, Adsorptions-/Desorptionsverhalten von Pflanzenschutzmitteln in Böden sowie für Vegetationsversuche u. a. im Labor und im Freiland; die Böden werden normalerweise aus 0-20 cm Tiefe entnommen, aufbereitet und auf 2 mm gesiebt
Stoffkreislauf	in der Landschaftsökologie die Bezeichnung für die kreislaufförmigen Stoffbewegungen in den Landschaftsökosystemen, die den Stoffhaushalt ausmachen und durch Auf- und Abbauprozesse gekennzeichnet sind
Terra Preta de indio	portugiesisch für „schwarze Erde“: sehr nährstoffreicher schwarzer Boden, der neben den ansonsten gelben und sehr unfruchtbaren Verwitterungsböden, auch »Ferralsole« genannt, am Ufer des Amazonas gefunden wurde; Schlüsselmerkmal der schwarzen Erde ist ein hoher Gehalt an Holzkohle, die hier wahrscheinlich durch Holzfeuer zum Kochen entstand – die Funde lassen den Schluss zu, dass die fruchtbare Erde menschengemacht ist und durch die Verrottung organischer Abfälle mit Holzkohle entstand

Torf	<p>organisches Sediment, das in Mooren aus nicht oder nur unvollständig zersetzter pflanzlicher Substanz entsteht; erste Stufe der Inkohlung</p> <p>Nutzung als Brennstoff, Kultursubstrat, in Kosmetik und Medizin</p>
Treibhausgas	<p>Gase in der Atmosphäre, die die Wärmerückstrahlung von der Erdoberfläche in das All verhindern; die natürliche Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre sorgt dafür, dass auf unserem Planeten statt -18°C eine durchschnittliche Temperatur von 15°C herrscht</p>



ISBN: 978-3-96110-245-7