

Studie zur Produktion und Anwendung von Pflanzenkohle im Stoffkreislauf eines Obstbaubetriebs

Pflanzenkohle als Zusatz bei der Kompostierung

Feb – Nov 2013



Bearbeitung:

Beratungsdienst ökologischer Landbau Ulm e.V. und Dr. C. Holweg (Nachhaltigkeits-Projekte)

Teilfinanzierung der Studie durch Innovationsgutscheine BW

INHALTSVERZEICHNIS

- 1. Kurzeinführung Biokohle, Pflanzenkohle etc.**
- 2. Kreislauf-Strategie unter Verwendung von Biokohle am Beispiel Obstbau**
- 3. Herstellung von Holzkohle aus gerodeten Obstbäumen**
 - 3.1. Hofeigene Verkohlung per Carbo-Mob-Versuchsanlage
 - 3.2. Pflanzenkohle-Eigenschaften
- 4. Kompostmieten unter Verwendung von Pflanzenkohle**
 - 4.1. Variantenbeschreibung Komposte „mit und ohne Kohle“
 - 4.2. Sicht-, Geruchs- u. Verlaufsunterschiede der Komposte
 - 4.3. Grüngut- und Kompost-Inhaltstoffe
 - 4.4. Diskussion Kohle-Beitrag zum besseren Kompostergebnis „mit Kohle“
 - 4.5. Biotests: Regenwurmvermeidung, Pflanzenverträglichkeit
- 5. Ausbringung der vier Kompost-Varianten in Obstbaumpflanzungen**
 - 5.1. Ausbringung: Mengen, Flächenbezug
 - 5.2. Aufnahme des Bodenparameters „Regenwurmaktivität“
- 6. Derzeit geltende rechtliche Rahmenbedingungen**
- 7. Diskurs: schafft Pflanzenkohle Konkurrenzen zur Kompostierung?**
- 8. Zusammenfassung und Schlussbewertung**

Literaturliste

Anhang:

Abbildungen 1-45 (Bildtafeln 1 – 6)

Philosophie des Betriebs

(Textquelle: www.suedhof.de)

Bioobst-Anbau. Als Broterwerb - gar nicht so einfach.

„Ein einzelner Obstbaum im Garten, umgeben von Blumen, vielleicht mit einem Vogelhäuschen geschmückt, ist mit einer Obstplantage nur schwer zu vergleichen. [...] Bio-Anbau ist der Versuch, einen guten Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und Natürlichkeit herzustellen.“

Ein besonderer Wert wird auf die Erhaltung und Förderung der Pflanzengesundheit gelegt. Ökologisch orientierte Sortenwahl, Gründüngung zwischen den Baumreihen sowie nützlingsfördernde Wildsträucher in den Obstplantagen „sind für uns ein Muss!“

Biologischer Pflanzenschutz

„Zur Eindämmung von Schaderregern spielt die Hygiene eine besondere Rolle: alles Obst wird aus den Plantagen geholt, kranke oder befallene Pflanzenteile von den Bäumen entfernt. Von Gräsern befreite Baumstreifen helfen in der Mäusebekämpfung und tun auch sonst den Bäumen gut. Auch die Baumspritze wird bei uns gebraucht. Allerdings finden chemisch-synthetische Mittel keine Anwendung.

Unsere Standardmittel sind Pflanzenextrakte (z.B. Algenpräparate) und Pflanzenöle (z.B. Neemöl, Rapsöl, Fenchelöl). Daneben verwenden wir Backpulver, Zucker, Schwefel, in geringen Mengen auch Kupfer. Auch biotechnische Verfahren, wie der Einsatz von Duftstoffen, Farbtafeln und Pheromonen, Trichogramma und Nematoden gehören mit ins Programm.

Nicht zuletzt der Schutz und die gezielte Verbreitung von Nützlingen sind wichtige "Mittel" zur Schädlingsabwehr. Auf der Suche nach unempfindlicheren Apfelsorten scheuen wir uns nicht vor Experimenten mit Apfelneuzüchtungen. Schwerpunkt sind dabei frühe und schorf-resistente Sorten. Derzeit umfasst die Produktpalette (incl. Versuchsorten) mehr als 70 Apfel- und Birnensorten.“

Hofanschrift:

Höfflin und Magens GbR, Südhof, 79211 Denzlingen

Christoph Höfflin, Stephanie Magens-Höfflin



Wie aufgeschlossen-kritisch der Betrieb denkt, wurde auch in der anliegenden Thematik deutlich. In einem fast einjährigen Feldversuch stellte er sich den noch weitgehend offenen Fragen rund um die Eigenherstellung und –nutzung von Pflanzenkohle zum Einsatz für Bodenverbesserungen nach einem entfernten Vorbild am Amazonas: *“Terra preta“*.

1. Kurzeinführung Biokohle, Pflanzkohle etc.

Für die vorliegende Studie wurde pyrolytisch erzeugte Holzkohle genutzt, die in einem einfachen Pyrolyseverfahren des Typs BiGchar (Ref. 1) am eigenen Hof produziert wurde. War die betreffende Biomasse vorwiegend holzigen Ursprungs, können grundsätzlich auch andere, weniger verholzte, Pflanzengewebe verkohlt werden. Als Allgemeinbegriff gilt „**Pflanzkohle/Biokohle**“.

Karbonisierung ist gleichbedeutend mit Verkohlung (Carbon = Kohle). Da der Begriff „**Biokohle**“ (engl. *biochar*) nicht nur bei Holzkohlen, sondern auch bei anderen Verkohlungstechniken verwendet wird, soll kurz die noch sehr neue HTC-Technik (hydrothermale Carbonisierung) erwähnt werden, deren unmittelbaren Karbonisierungsprodukte sich in Zusammensetzung und Struktur sehr verschieden sind.

Pyrolyse ist ein Verschmelzungsvorgang unter Sauerstoffarmut, bei dem neben anderen Produkten wie Gas und Asche auch Koks bzw. Pflanzkohle entsteht. Der schwarze Kohle-Rückstand zeugt von einem guten Erhalt ursprünglicher Gewebemerkmale bei der Pyrolyse (**Abb. 1**). Es gibt kein einheitliches Pyrolysesystem, jede Entwicklung hat andere Verhältnisse in Umsetzung und Ergebnis. Zur Herstellung von Pflanzkohle herrschen meist Temperaturen von 350–650° C. Bei der Holzkohleproduktion werden Prozessparameter so eingestellt, dass eine größtmögliche Kohle-Ausbeute stattfindet (im Gegensatz zum Schwerpunkt auf Synthesegas, z.B. bei Holzvergaser).

2. Kreislauf-Strategie unter Verwendung von Biokohle am Beispiel Obstbau

Seit einiger Zeit gewinnt die **Bodenanwendung von Holzkohle** durch die weitere Entdeckung der fruchtbaren **Terra preta** auch in anderen Erdteilen an Interesse (preta = portug. „schwarz“; s. schwarze Böden am Amazonas) (Ref. 2). Die Wirkung von Pflanzkohle wird dabei vor allem in einer erhöhten **Nährstoff- sowie Wasser-Vorratshaltung** gesehen. Grund ist die hohe **Adsorptionskraft** samt **Porigkeit** und daher **große Oberfläche** von Holzkohlen. Auch **Bodenlockerung** und **Bodendurchlüftung** werden als vorteilhafte Wirkungen angeführt. Derzeitige Forschungsprojekte erkunden die Wirkungen einschließlich Ertragsniveau auf unterschiedlichen Böden. Die Ergebnislage scheint je nach Qualität des Ausgangsbodens recht unterschiedlich auszufallen. Genaue bzw. ausreichende Vergleichsdaten aus Ackerflächen sind für die hiesigen Breiten jedoch noch nicht vorhanden. Gemeinhin wird für schlechtere Böden ein höheres Erfolgspotenzial durch Anwendung von Pflanzkohle wahrgenommen. Auch andere, ökologisch positive Wirkungen werden diskutiert wie **geringere Treibhausgas-Emissionen** aus landwirtschaftlichen Flächen.

Antrieb der Studie war Suche nach geeigneten, ökologischen Maßnahmen zur Bodenverbesserung in einer biologisch geführten Obstplantage. Zur nachhaltigen Bodenmeliorierung sollten die eher schweren, tonreichen Böden (**Abb. 47 S. 9**) versuchsweise mit Kompost versetzt mit Pflanzkohle behandelt werden. Der Betrieb stellt für die Erprobung im Sinn eines „**regionalen Kreislaufmodells**“ einen Idealfall dar. Der Kreislauf basiert dabei auf einem Stofffluss zwischen Aufbereitung und Eigennutzung von Pflanzkohle und kompostierfähigem Material (hier Grünschnitt) ortsnaher oder hofeigener Quellen:

- Ausgangsmaterial für die Verkohlung aus Obstbaum-Stockrodung (Nutzungsmöglichkeit einer mobilen Mini-Verkohlungsanlage, s. derzeitige Testreihen im Projekt Carbo-Mob (Ref. 3))
- Kompostierung am Feldrand mit Material von regionalem Grüngutplatz
- Rückführung der Kohle zusammen mit Kompost in die Obstplantage

Dies waren insgesamt gute Voraussetzungen, um Pflanzkohle im Stoffkreislauf im eigenen Betrieb zu erproben.

3. Herstellung von Holzkohle aus gerodeten Obstbäumen

3.1. Hofeigene Verkohlung per Carbo-Mob-Versuchsanlage

Der Verkohlungstest am Südhof bot Gelegenheit, die Versuchsanlage hinsichtlich verschiedener Ausgangsmaterialien bzw. Endprodukte zu testen. Die fahrbare Mini-Verkohlungsanlage Carbo-Mob ermöglichte so eine flexible Verkohlung in Hofnähe (**Abb. 2**). Das Verkohlungsgut stammte aus gerodetem Obstholz (**Abb. 3**) in Hackschnitzelgrößen von 3 cm (+/- 2 cm) und vereinzelt Vorkommen von bis zu 15 cm langen Aststücken (**Abb. 4**). **Tab. 1** gibt die Partikelgrößenverteilung nach Wiegen wieder. Das Material hatte einen Trockensubstanz-Gehalt von 89 % (also nur 11 % Feuchte) und damit optimale Bedingungen für die Verkohlung.

Tab. 1. Partikelgrößenverteilung Obstbaum-Rodungs-Schnitzel, in Frischgewichtsprozenten

Größenklassen	> 5 cm	3-5 cm	1-3 cm	< 1 cm
Anteile FG in %	19,5	29,9	33,8	16,8

Im Betrieb wird das Rodungsgut vor der Zerkleinerung mindestens für ein halbes Jahr auf Stößen am Feldrand gelagert und dient im Normalfall für die eigene Wärmenutzung (Hackschnitzelheizung). Die Hackschnitzel-Lagerung in Holzkästen unter Vordach ist nur bei gut durchgetrocknetem Holz unproblematisch (**Abb. 5**). An manchen Stellen führten Verrottungsvorgänge schon zu minderer Qualität mit zerfallendem Gewebe und etwas niedrigeren TS-Gehalten. Wie sich zeigte, beeinträchtigte solch teilweise schlechteres Material die Verkohlung jedoch kaum. Dies zusammen mit der Verarbeitung von Nicht-Standardgrößen bestätigt die Stoff-flexible Bearbeitungsweise des Anlagentyps.

Einzel Schritte „Hof-Verkohlung mit mobiler Pyrolyse“

a) Abholung der Anlage (Abb. 2, 6) bestehend aus:

- Verkohlungseinheit BiGchar 1000 (**Abb. 7**; Verkohlungsofen mit 1000 mm im Durchmesser und rotierenden Rechen; kontinuierliches Verfahren der Fa. BiG; Isolierkasten als Hitzeschutz)
- Förderband zum Einfördern von Hackschnitzeln in den Verkohlungsofen, betrieben mit 230 V (entw. Steckdosen-Verbindung zu Gebäudeanschluss oder mitgeführtem Aggregat)
- Die Energie zur Verkohlung wird vollständig aus der Biomasse gewonnen (keine Zugabe von Zündgasen o.ä. erforderlich)
- *Anmerkung. die Nachverbrennung zur Abgas-Reduktion war zu diesem Zeitpunkt noch nicht angebracht (Vervollständigung und Tests erfolgten im Laufe des Jahres **Abb. 8**)*

b) Fertigmachen der Anlage bis zum Anfeuerungsprozess: (incl. Bereitstellung von Wasser, Holzhackschnitzel, Stromanschluss). Angefeuert wird per Hand mit Papier und Pappe.

c) Wichtigkeit kontinuierlicher Einförderung von Obstholz-Hackschnitzel (Abb. 9): als Vorratsbehälter diente übergangsweise ein einfacher Gartenschnittbehälter (120 l). Zu vermeiden waren Nachliefer-Stops durch Brückenbildung am Übergang zum Förderband sowie Leerlaufen.

d) Kohleaustrag und Sammlung in hitzebeständigen Stahlbehältern, wassergefüllt zum Ablöschen der glutheißen Pflanzkohle; es ist auf vollständiges Durchkühlen der Kohlepartikel zu achten, da sonst Veraschungsgefahr.

e) Der Verkohlungsprozess wurde laufend optimiert. Anfänglichen Kohlechargen, deren größte Partikel noch unverkohlte Kerne aufwiesen, folgten vollständig durchverkohlte Chargen.

f) Kohleernte (Abb. 10, 11).

Verkohlungsgeschwindigkeit und Durchsatz: Mit der Demo-Anlage wurden $0,56 \text{ m}^3$ Obsthackschnitzel pro Stunde verarbeitet (ohne Anheizphase), d.h. es wurden knapp 100 kg TM Obsthack in 1 Stunde verkohlt (**Abb. 12**). Volumen- und Massenbilanz s. Rechenbeispiel (**Tab. 2**).

Tab. 2. Volumen/Massenverhältnis von Obsthackschnitzel und Pflanzkohle im Rechenbeispiel

Obsthackschnitzel 169 kg/m^3 (in der TM)	Pflanzkohle $176,7 \text{ kg/m}^3$ (in der TM)	
Eingesetztes Volumen [m^3]	Erhaltenes Volumen [m^3]	Volumenverhältnis Obsthack zu Kohle
2,50	0,68	3,67 : 1
Eingesetzte Masse [kg] TM	Erhaltene Masse [kg] TM	Massenverhältnis Obsthack zu Kohle
422	120	3,5 : 1

Aus **Tab. 2** ergibt sich eine Kohle-Ausbeute von 28,6 % und entspricht damit den Ergebnissen des BiG-Anlagentyps für die vorliegende Holzqualität. Eine Verallgemeinerung des recht hohen Durchsatzes auf andere Biomassen ist nicht möglich, da die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Parametern wie Stückigkeit, Feuchte und Brenneigenschaften abhängt. Bei höherer Stückigkeit muss etwas langsamer, d.h. mit höheren Verlusten, verkohlt werden.

In einer zweiten Versuchsphase wurden aus $3,1 \text{ m}^3$ Obsthackschnitzel 980 l Kohle gewonnen (Vol-Verhältnis hier 3,2 : 1). Mit 167 kg TM Kohle aus 528 kg TM Obsthack lag das Massenverhältnis bei 3,16 : 1. Die Sichtprobe zeigte jedoch noch teilweise nicht verkohltes Material, was aus einer nicht optimalen Prozessführung herrührte (Durchflussrate zu hoch eingestellt) und die nur scheinbar höhere Ausbeute erklärt.

Tab. 3. Inhaltstoffe Obsthackschnitzel (Untersuchung nach § 4 Abs. 5 BioAbfV): Analyse einer Probe Obsthackschnitzel nach Bundesgütegemeinschaft Kompost in einem zertifizierten Labor.

Trockensubstanz	89	% der Frischmasse	
Glühverlust (bei 550° C)	98	% der Trockensubstanz (TS)	
Glührückstand (entspr. Asche)	2	% der TS	
Schwermetalle		Methode gemäß MB Kap.	Grenzwert nach BioAbfV
Blei	< 0,5	mg/kg TS	150
Cadmium	0,03	mg/kg TS	1,5
Chrom	< 2	mg/kg TS	100
Kupfer	2,58	mg/kg TS	100
Nickel	0,52	mg/kg TS	50
Quecksilber	0,01	mg/kg TS	1
Zink	6,14	mg/kg TS	400

3.2. Pflanzkohle-Eigenschaften

Um Risiken für eine Bodenanwendung auszuschließen, ist die Bestimmung möglicher unerwünschter Inhaltstoffe wie zum Beispiel der Schwermetallgehalte, dies insbesondere, da sich durch den Verkohlungsprozess eine Konzentrierung von Stoffen ergibt (theoretisch um den Faktor 3 - 4 bei einer Mengenreduktion auf ca. 25 - 30 %).

Tab. 4. Partikelgrößenverteilung Obstholz-Kohle (s. auch Abb. 13).

Größenklassen	2-3 cm	1-2 cm	0,2-1 cm	< 0,2 cm
Anteile FG in %	5,2	20,5	31,2	43,1

Tab. 5. Inhaltstoffe Pflanzkohle aus Obsthack (Untersuchung nach § 4 Abs. 5 BioAbfV): Die Kohle war nach dem Ablöschen im feuchten Zustand bis zur Analyse verblieben (daher 34 % Wassergehalt).

Trockensubstanz	66	% der Frischmasse	
Glühverlust (bei 550° C)	91	% der Trockensubstanz (TS)	
Glührückstand (entspr. Asche)	9	% der TS	
Gesamtnährstoffe		Methode gemäß MB Kap. II. 12	
Calcium als CaO	2,81	% der TS	
Phosphor als P ₂ O ₅	0,128	% der TS	
Kalium als K ₂ O	0,597	% der TS	
Magnesium als MgO	0,152	% der TS	
Schwermetalle		Methode s.o.	Grenzwert nach BioAbfV
Blei	< 0,5	mg/kg TS	150
Cadmium	0,07	mg/kg TS	1,5
Chrom	3,6	mg/kg TS	100
Kupfer	11,7	mg/kg TS	100
Nickel	2,52	mg/kg TS	50
Quecksilber	< 0,01	mg/kg TS	1
Zink	13,1	mg/kg TS	400
PAK	Summe	Methode DIN EN 15527	Vorsorgewert BBodSchV
PAK (16 nach EPA)	1,4	mg/kg TS	3 – 10 (je nach Humus i. Boden)
PCB	Summe	Methode DIN EN 15308	Grenzwert nach AbfklärV
PCBs	< 0,1	mg/kg TS	0,1
AOX		Methode DIN EN 38414	Grenzwert nach AbfklärV
AOX	27,5	mg/kg TS	400

Asche umfasst die Verbindungen Ca, P, K und Mg als lösliche Bestandteile in obiger Tabelle. Der Kohlenstoffgehalt (bestimmt als Glühverlust) ist hoch.

Fazit Inhaltsstoffe Pflanzkohle: die Werte für Schwermetalle, PAK, PCB und AOX liegen unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte.

4. Kompostmieten unter Verwendung von Pflanzkohle

4.1. Variantenbeschreibung Komposte „mit und ohne Kohle“

Die Ausgangssubstanz für den Kompost stammte in allen Fällen aus der Grüngutsammlung, die über den Landkreis bzw. den Maschinenring Breisgau-Hochschwarzwald organisiert wird. Es wurden trapezförmige Kompostmieten mit einem Volumen von jeweils etwa 8 – 9 m³ angehäuft (**Abb. 17**). Grünschnittmaterial wurde zum Ansetztermin (Mitte März 2013) von einer nahen Sammelstelle des Landkreises angefahren und zu 1/10 Volumenverhältnis mit Kohle gemischt. Die Kohlezugabe zum gehäckselten Grünschnitt erfolgte wie in **Abb. 14 und 15** dargestellt direkt auf dem Ladewagen, die Mischung in langsamer Fahrt per Streu-Vorrichtung eines Kompoststreuers. Die Umsetzung der A-Varianten erfolgte mit Hilfe eines Frontladers. **A-Varianten s. Abb. 18 und 19 sowie 27:**

Variante A1: Kompostierung von frischem Grünschnitt mit Kohle (= „Ko-Kompost“)

Variante A2: Kompostierung von frischem Grünschnitt ohne Kohle

Für die B-Varianten galt gleiches Ausgangsmaterial wie bei A, nur dass es schon im Jahr zuvor in etwas größeren Mieten aufgesetzt worden war. Ein Monat vor der Ausbringung, die Ende Juli stattfand, wurden entsprechende Volumina für zwei kleinere Mieten entnommen, mit Hilfe eines Frontladers mit ca. 1/10 Volumen mit Kohle gemischt und bis zur Ausbringung so belassen. **B-Varianten s. Abb. 26 und 26a:**

Variante B1: Reifer, 1-jähriger Kompost für 1 Monat mit Kohle gemischt (= „Kohle-Kompost“)

Variante B2: Reifer, 1-jähriger Kompost

Anmerkung zur Vergleichbarkeit von A-Komposten mit B-Komposten

Ziel der Studie war nicht, die beiden Kompostvarianten A und B miteinander zu vergleichen, sondern allein den Einfluss der Kohle in verschieden angelegten Mischkomposten zu beschreiben. Die A- und B-Mieten hatten jeweils eine andere Geschichte. Im Unterschied zum ausgereiften Kompost B war der Rotteprozess bei den A-Varianten noch nicht ganz abgeschlossen, der Kompost eher noch unreif, was auch der noch niedrige pH anzeigte (vgl. Vergleich zu üblichen Fertigkomposten in **Tab. 8**). Da die A-Mieten mit frischem Lockermaterial angesetzt wurden, muss bei einer volumenbezogenen Zugabe von Kohle (ca. 1/10 Vol) zu Beginn der Rotte ein höherer Kohle-Massenanteil angenommen werden als bei der ausgereiften und daher dichteren B-Miete. Im Lauf der Rotte nivellierte sich der Unterschied durch Setzen der A-Mieten. Dennoch blieben zum Kompoststreuertag in der Obstplantage noch Unterschiede bezüglich der Kohle-Menge pro m² in der Trockenmasse erhalten (**Tab. 6**). Es ist daher sinnvoll, die Kohle-Varianten A und B nur innerhalb zu vergleichen.

Tab. 6. Bestimmung des Kohleanteils nach der Kompostierung bzw. Einmischung in reifen Kompost

Kohlemenge in Komposten zum Zeitpunkt der Ausbringung			
A1	B1	Angabe	Einheit
6,13	4,56	Gew%	g/100g TM Kompost

4.2. Sicht-, Geruchs- u. Verlaufsunterschiede der Komposte

A-Komposte / Sichtung, Geruch, Temperaturverlauf

Es erfolgte eine knapp 4-monatige Kompostierung von Mitte März bis Juli 2013:

a) Beginn der A-Mieten. Luftporenvolumina von 30 – 50 % gelten als günstig für die Kompostierung. Mit dem Argument der besseren Durchlüftung gerade angesichts weniger Umsetztermine wurde der Grünschnitt daher „grob gehäckselt“ eingesetzt. So waren Hackschnitzelstücke bis 20 cm x 8 cm keine Seltenheit, s. **Abb. 20, 21, 31** sowie Vordergrund **Abb. 17**). Noch größere Teile wurden bei gelegentlicher Sichtung an der Mietenoberfläche entfernt.

b) Verlauf der A-Mieten. Es erfolgte 2-maliges Umsetzen der A1 und A2-Mieten. **Abb. 22 und 23** zeigen normale Veränderungen wie Nachdunkeln im Lauf einiger Wochen (vgl. Abb 20 bzw. 21). Durch den Wendevorgang beim Umsetzen traten bei Leer-Kompost A2 gräuliche Stellen zu Tage (**Abb. 28, 29**), die auf unerwünschte, lokale Rotteverhältnisse hindeuten. Beim Umsetzen von Ko-Kompost A1, z.T. auch von A2, wurde versehentlich Mineralboden aufgeschürft und eingemischt (**Abb. 30**). An oberflächennahen Stellen zeigte sich deutliches Trockenfallen des Materials beider Mieten während regenarmer Perioden (nicht gezeigt), sodass für zukünftige Mieten eine zusätzliche Beregnung in Frage steht. Probenahme zur Kohle-Partikellese (**Abb. 31**).

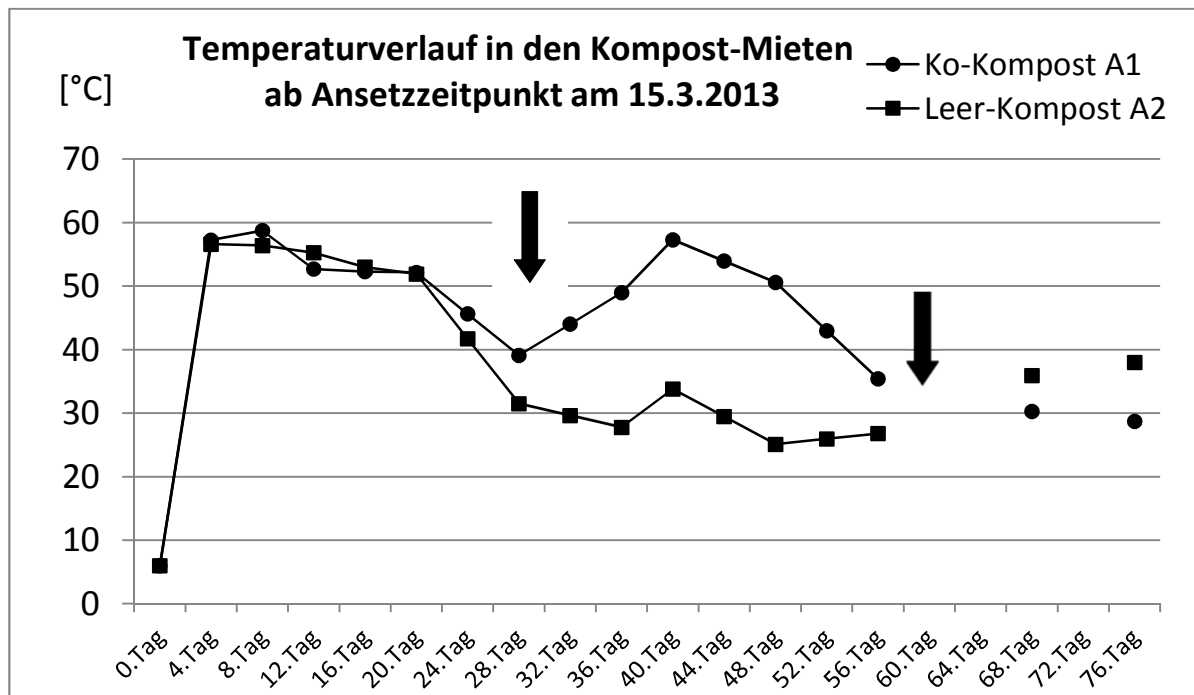
Im Verlauf jeder Kompostrotte gibt es aufgrund der Wärme erzeugenden, mikrobiellen Aktivität einen charakteristischen Temperaturverlauf. Nach jeder Mischung durch Umsetzen der Miete wird der Prozess erneut angeregt, wenn die nötigen Bedingungen (z.B. Feuchte) vorhanden sind. Merkmale wie Durchlüftung oder Feuchte können die Rotte positiv oder im Extremfall auch negativ beeinflussen. Um einen möglichen Einfluss von Pflanzkohle auf solche Effekte zu erfassen, wurde der Temperaturverlauf aufgenommen. Hierzu wurde die Rotte-Temperatur ungefähr im 4-Tagesabstand gemessen (Diagramm 1). Zudem diente die Anzeige abfallender Temperaturen als Orientierung für das Umsetzen der Mieten. Messvorgang s. **Abb. 24, 25**: a) Vorbohren eines 60 cm tiefen Gangs b) Einschub eines Stabs mit einem Digital-Temperaturfühler am Kopfende c) 4 min Messdauer d) Wiederholung an ein bis zwei weiteren Stellen pro Miete.

Die Anfangshöhe der Mieten lag bei ca. 1,30 m. Grundsätzlich ist zu sagen, dass die hohen Temperaturen wie sie auf Kompostierplätzen für käufliche Fertigkomposte verlangt werden, in solchen Kleinmieten aus Landschaftspflegematerial nie erreicht werden (d.h. die Ausschaltung von Samen ist eher fraglich). Andere wichtige Komposteigenschaften sind jedoch durchaus erzielbar.

Die Außentemperaturen, die für die Kompostierung - zumindest bei größeren Mietvolumina - keinen Einfluss haben, lagen tagsüber anfänglich bei 7° C, am Ende bei 13° C. In den ersten 3 Wochen wurde deutlicher Wasserdampf sichtbar. Im Temperaturverlauf in Diagramm 1 zeigen die Pfeile zwei Umsetzungen an, die mit Schieben und Wiederaufhäufen per Frontlader erfolgten.

Die Temperaturmessung fördert einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Kompostansätzen zu Tage. Während in den ersten Wochen etwa gleiche Rottetemperaturen zwischen 53 und 57° C herrschen (mit einem minimal höheren Niveau bei Ko-Kompostmiete A1), beginnt die Temperatur im Kompost ohne Kohle schneller abzufallen. Kurz vor dem ersten Umsetzen (erster Pfeil im Diagramm 1) beträgt der Wert von A1 40° C, der von A2 nur 31° C. Noch auffälliger wird der Unterschied nach dem Umsetzen. Während die Temperatur bei A1 infolge angeregter mikrobieller Aktivität erwartungsgemäß steigt, fällt er bei A2 im Gegenteil überraschenderweise ab. A1 erreicht als Peak 57° C, A2 nur ca. 31° C.

Diagramm 1. Temperaturverlauf von Ko-Kompostmiete A1 und Leer-Kompostmiete A2



Nach dem zweiten Umsetzen wurde keine deutliche Reaktion mehr beobachtet. Auch wenn sich bei A2 ein leichter Anstieg bzw. bei A1 ein leichter Abfall ergibt, schwanken die Werte innerhalb der folgenden 2,5 Wochen insgesamt nur noch zwischen 29 und 38 Grad.

Mögliche Ursachen des anderen Temperaturverlaufs ab Tag 20 werden unter Punkt 4.4. diskutiert.

Zustand der A-Komposte nach 4 Monaten (Abb. 32-34). Die grobe Beschaffenheit und der hohe Holzanteil des Ausgangsmaterials führten zu Komposten mit ebenfalls noch großen Grobanteilen. Bei Probennahmen von 15 l waren keine Regenwürmer enthalten. Die Geruchswahrnehmung „A1 erdiger und besser als A2“ könnte auf die Einmischung von Mineralboden zurückzuführen sein, könnte aber auch auf andere Ursachen hindeuten. Bemerkenswert war hierbei die an manchen Stellen von A2 etwas „modrige“ Geruchswahrnehmung. Regenwürmer nur gelegentlich (Abb. 33).

B-Komposte / Sichtung, Geruch

Die Mieten waren zum Zeitpunkt der Kohleeinmischung (Mitte Juni 2013) schon länger ausgereift, da das Material schon ein Jahr früher aufgesetzt worden war (Abb. 26, 26a). Das Material war zu diesem Zeitpunkt fein strukturiert, sehr dunkel und ging schon in Richtung „Vererdung“, was die Sicht- und Geruchswahrnehmung angeht. Bei Probennahmen von 15 l waren in B1 im Mittel 10 Regenwürmer, im Leer-Kompost B2 ca. 5 Regenwürmer ähnlicher Größenklasse enthalten.

Am 10.07.2013 wurden Mischproben von ca. 15 l aus drei verschiedenen Stellen an jeder der vier Mieten entnommen. Für spätere Tests wurde die Menge portionsweise eingefroren. Für nachstehende Laboranalysen in Tab. 7 wurden nur Parameter mit Hauptaussagewert für die Kompostqualität beauftragt. Für sämtliche Tests wurde das Material mit 1 cm Maschenweite gesiebt. Ein Blindgeruchstest (Abb. 33) mit mehreren Personen ergab eine bevorzugende Wahrnehmung für den A1-Kompost im Vergleich zu A2, aber keinen Unterschied für die B-Varianten.

4.3. Grüngut- und Kompost-Inhaltstoffe

Tabelle 7 : Laboranalyse von Grüngut für die A-Varianten zu Beginn der Rotte

	Grüngut f. Ko- Kompost A1	Grüngut f. Leer- Kompost A2		Wert, Einheit
Wassergehalt	47,8	44,1		% FM
pH-Wert	5,9	5,3		-
Glühverlust (Org. Substanz)	63,7	89,2		% TS
Wasserlöslicher Salzgehalt	0,22	0,25		g KCl/100 g FM
Fremdstoffe > 2 mm	0,00	0,00		% TS
Steine > 10 mm	0,53	0,00		% TS
Schwermetalle			Grenzwert*	
Blei	12	8,1	150	% TS
Cadmium	0,21	0,16	1,5	% TS
Chrom	13,9	7,2	100	% TS
Kupfer	12,8	11,0	100	% TS
Nickel	8,7	4,8	50	% TS
Quecksilber	0,05	0,04	1	% TS
Zink	64	62	400	% TS
Arsen	2,7	2	n.b.	% TS

*Bei Einhaltung dieser Grenzwerte können per BioAbfV bis zu 20 t TS je ha innerhalb von 3 Jahren aufgebracht werden. FM = Frischmasse. TS = Trockensubstanz; n.b. = nicht bestimmt.

Zusammenfassung Grüngutanalyse: gleicher Wassergehalt; leicht höherer pH in A1; deutlich höherer Glühverlust in A2; etwa gleiche Werte für Salzgehalte und Schwermetalle; mehr Steinanteil in A1.

Tab. 8. Messergebnisse wichtigster Parameter zur Einschätzung der vier Kompostvarianten kurz vor der Ausbringung (nur Feinanteil, d.h. Feinfraktion nach 1 cm-Siebung).

(Feinanteil)	A1	A2	B1	B2	Vergl. Fertigkomposte Landkreis*	Wert Einheit
Wassergehalt	52	63,2	54,7	55,2	(zumeist 40)	% FM
Rohdichte	600	495	710	715	680	g/l in FM
Glühverlust (org. Substanz)	37,4	66,5	36,3	37,2	30,4	% TM
Stickstoff Gesamtgehalt	0,93	1,42	1,16	1,20	0,93	% TM
Davon lösliche N-Anteile:						-
Ammonium	5,0	6,0	4,0	7,0		mg/l FM
Nitrat	4,0	3,0	18,0	17,0		mg/l FM
Phosphat Gesamtgehalt	0,31	0,39	0,60	0,93	0,43	% TM
Kalium(oxid)	0,61	0,67	0,79	0,90	0,90	% TM
Magnesium(oxid)	0,63	0,43	0,94	1,21	1,03	% TM
„Basische“ Bestandteile (CaO)	3,65	2,98	5,48	7,76	6,62	% TM
pH-Wert	7,5	7,3	7,6	7,6	7,70	-
C/N-Verhältnis	23,3	27	18,1	18,0		
Salzgehalt	0,48	0,47	0,72	0,73	2,12	g/l FM
Wassergehalt	52,0	63,6	54,7	55,2		% FM

*der betreffende Fertigkompost entstammte aus 6-monatiger Großmiete mit monatl. Umsetzung

A-Komposte / Vergleich der Inhaltsstoffe

In der äußerlichen Betrachtung des Materials hob sich die Leer-Kompostmiete A2 aufgrund ihrer größeren Fraktion grober Holzstücke schon zu Beginn von Ko-Kompost A1 ab. Dass das Material von A1 feiner war, zeigte eine Siebung von Proben mit 1cm-Sieben am Ende der Kompostierzeit (3-4 malige Probenahme). Der Grobanteil für A1 betrug 31 %, der für A2 betrug 41 %. Der Unterschied wurde auch an Hand höherer Rohdichtewerte des 1 cm-Siebdurchlasses deutlich (**Tab.8**). Der auch mit dem Auge sichtbar höhere Sandanteil in A1 rührt wahrscheinlich von Grüngutunterschieden und ist auch sicher auf die Einschleppung von Mineralboden zurückzuführen. Die Beobachtungen erklären den überraschenden Unterschied in den Glühverlusten, die sich sowohl vor als auch nach der Kompostierung abzeichneten (vgl. Tab. 7 und 8). *Anmerkung: Der angezeigte Wert bei Glühverlust („organische Substanz“) hat zum Vergleich mit anderen Komposten nur dann Aussagekraft für die Qualität und Eignung für die Bodenverbesserung, wenn es sich um einen gereiften Kompost handelt. Dies war hier nicht der Fall.*

Die hohen Anteile an Grobmaterial und „org. Substanz“ zeugen aber vor allem für A2 von einem hohen Anteil nicht zersetzter Verbindungen (wie z.B. Lignin, Hemicellulose und Cellulose). Bei genauerer Ansicht entstand auch der Eindruck eines etwas höheren Nadellaubanteils in A2. So ist zu vermuten, dass die Grüngutfuhre für Leer-Kompostmiete A2 höhere Holzanteile und nadelholzreicheres Material enthalten hatte.

In der Materialfeuchte unterschieden sich Einzelproben aus A1 und A2-Komposten nur wenig. Während die anfängliche Feuchte gleichermaßen 47 % war (**Tab.7**), lag sie nach einem Monat in Ko-Kompostmiete A1 bei 44 %, in Leermiete A2 bei 50 % (eigene Bestimmung bei einer Kompostmiete-Probe aus 10 cm Tiefe). Nach knapp 4 Monaten wiesen Mischproben (wie sie während der Ausbringung samt Grob- und Feinanteil entnommen wurden) einen Wassergehalt von 59,1 bzw. 61,9 % auf. Wurde jedoch nur der Feinanteil (nach 1cm-Siebung) untersucht, ergaben sich überraschend große Unterschiede (52 bzw. 63 % Wassergehalt).

Beispielrechnung für Asche- und Massenanteile in Variante A1, Ko-Kompost:

*1 Liter Kompost mit 55 % TS = ca. 300 g FM = ca. 165 g TS

*in 1 l Ko-Kompost sind 0,9 l Kompost und 0,1 l Kohle enthalten

*0,1 l Kohle = ca. 17 g TS

*in 100 g TS Ko-Kompost sind ca. 89,7 g Kompost und 10,3 g Kohle enthalten

*besitzt Kohle einen Asche(Mineralstoff)-Anteil von 8,8% (s. Tab. 5), sind in 100 g TS Ko-Kompost (A1) höchstens 0,9 g Asche enthalten, die aus der Kohle stammen.

B-Komposte / Vergleich der Inhaltsstoffe

Die Analysenwerte von Kohle-Kompost B1 und Leer-Kompost B2 decken sich erwartungsgemäß stark (Tab. 8). Das Ergebnis entspricht außerdem weitgehend Fertigkomposten. Eine Siebung mit 1cm-Sieben ergab für den Grobanteil beider Komposte einen mittleren Gewichtsanteil von 15 %.

4.4. Diskussion Kohle-Beitrag zum besseren Kompostergebnis „mit Kohle“

Rühren die bisher angeführten Qualitätsunterschiede der Kompostierung in A1 und A2 von der mitgeführten Pflanzkohle?

Dass die unterschiedlichen Analyseergebnisse für Glühverluste und einige andere Parameter bei A1 und A2 ausschließlich von der Pflanzkohle herrühren, scheint unwahrscheinlich. Abweichungen im

Glühverlust gehen oft auf Differenzen im Ausgangsmaterial zurück. Unterschiede in Holzarten und Aststärken können schon beim Hackvorgang zu anderen Stückgrößen und damit anderen Ausgangsbedingungen führen. Um die unterschiedlichen Analyseergebnisse allein auf den Einflussfaktor Kohle zurückführen zu können, hätte man beide Mieten mit gleich strukturiertem Material starten müssen. Dies hätte jedoch aufwendiges Vormischen der Grüngutfuhren erfordert.

Dennoch sprechen Indizien dafür, dass einige Merkmale des unterschiedlichen Verlauf in Zusammenhang mit der Wirkung von Pflanzkohle steht. Für den viel höheren Glühverlustwert im Leer-Kompost am Ende der 4 Monate können die vorhandenen Materialunterschiede zum einen nicht allein verantwortlich sein. Der große Unterschied im Ko-Kompost kann auch nicht auf die in der Kohle enthaltene Asche (mineralische Verbindungen) zurückgeführt werden (s. Herleitung im Kasten Beispielrechnung). Wenn auch ein Teil des Unterschieds sicherlich auf einen höheren Anteil mineralischer Beimengungen in A1 zurückgeht (s. zusätzlicher Input von Mineralboden während des Umsetzens, Abb. 30), muss nach einem Informationsaustausch mit erfahrenen Kompostierern davon ausgegangen werden, dass der Verlauf der Leer-Kompostmiete nachteilig war und dass die beobachteten Unterschiede nicht allein mit den vorhandenen Materialverschiedenheiten begründet werden können. Die Überlegung ergibt sich aus folgenden Gründen:

a) Eine der wichtigsten Bedingungen für einen erfolgreichen Rotteverlauf ist ein genügender, aber nicht zu hoher **Wassergehalt**, da sonst **Sauerstoffmangel** auftritt. Betrachtet man den Parameter Wassergehalt im vorliegenden Beispiel, waren sich die Mieten zum Startzeitpunkt sehr ähnlich. Nach knapp 4 Monaten divergierten die Wassergehalte jedoch stark (s. Analyse des Feinanteils). Der Wassergehalt von Leer-Kompost (A2) ist mit 67 % viel höher als der von Ko-Kompost (A1, 48 %) und ausgereiften B-Komposten (46 %). Bei Fertigkomposten liegt der Wassergehalt erfahrungsgemäß bei ca. 40 % nach 6-monatiger Rotte. Die hohe Feuchte in der Leer-Miete bedeutet lt. Fachleuten eine Störung während der Kompostierung, bei der auch Sauerstoffmangel eine Rolle gespielt haben muss.

b) Als erste Bestätigung hierfür könnte die bessere **Geruchssituation** der Ko-Kompost-Miete (A1) gesehen werden. Zu Fäulnis tendierende Abbauprozesse verursachen einen typischen Modergeruch, wie es unterschwellig im Leer-Kompost wahrgenommen wurde.

c) Ein anderer Zusammenhang könnte sich aber aus der Beobachtung des **Temperaturverlaufs** ergeben. Die stärker abgesunkene Temperatur vor und der fehlende Temperaturanstieg nach dem Umsetzen der Leer-Miete A2 verleiten zwar zur Theorie, dass der Abbau möglicherweise schon abgeschlossen war. Dagegen spricht eindeutig der noch hohe organische Anteil in A2 nach 4 Monaten Kompostdauer (vgl. Tab. 8). Auch hatte die A2-Miete nicht etwa eine längerphasige Temperaturhochlage, die einen beschleunigten Abbau hätte begründen können. Plausibler scheint jedoch, dass der mikrobielle Besatz in A2 aufgrund von Wasserüberschuss keine günstigen Bedingungen fand, weswegen keine zweite Aufheizphase mehr (wie normalerweise erwartet und in A1 der Fall war) beobachtet werden konnte.

d) In dieselbe Richtung weist das Phänomen **gräulich zerfallener Material-Herde** mit mehligem Partikelüberzug in A2 (Abb. 28, 29). Solche Stellen seien laut Aussagen erfahrener Kompostierer Kennzeichen für eine Fehlentwicklung der normalen Rotte (meist Indiz für eine lokal zu hohe Verrottungstemperatur) und weisen auf gestörte Abbauprozesse und damit schlechtere Kompostqualität hin. Möglicherweise wurden mit der Messung in 60 cm Tiefe (bei Mietehöhe von knapp über 1 m) solche Temperaturspitzen nicht wahrgenommen, die wahrscheinlich auch tiefer lagen. In Ko-Kompostmiete A1 waren solche Herde nicht bzw. in viel geringerem Maß vorhanden.

e) Zur Klärung des hohen Wassergehalts im Leer-Kompost ist der Hinweis von Fachleuten wichtig, dass Mieten, die direkt über Felduntergrund stehen (hier Wiese), oft durch **Kapillarwirkung** Wasser aus dem

Boden aufnehmen und es so zu übermäßiger Feuchte für die Rotte kommt. Da beide Mieten auf Wiesengrund standen, stellt sich die Frage nach der Ursache für den Unterschied. Zieht man jedoch die **Schwamm-Wirkung von Holzkohle** in Betracht, wird leicht vorstellbar, dass die Wasser absaugende Fähigkeit einen ausgleichenden Einfluss im Ko-Kompost ausübte, sodass sich ungute Sauerstoffverhältnisse gar nicht erst einstellen konnten. Die Anwesenheit der hochporigen und leichten Kohle mag zusätzlich für bessere Durchlüftung gesorgt haben.

f) Auch anhand der Temperaturunterschiede können Gründe für den geringeren (verträglicheren) Wassergehalt in Ko-Kompost A1 aufgezeigt werden. So könnte die höhere **Verdunstung** während des zweiten prominenten Temperaturanstiegs (s. Diagramm 1: in A1 auf 57° C, in A2 zur gleichen Zeit nur 33° C) zum Ausgleich von Überschusswasser und einem günstigeren Feuchteregime geführt haben.

g) Eine weitere Begünstigung des mikrobiellen Milieus könnte auch mit einem höheren **pH-Wert** einhergehen. Kohle tendiert bekanntlich zur Basizität. Möglicherweise haben die eingemischten Kohlepartikel bzw. deren Oberflächenwirkung auch eine ausgleichende Rolle auf den umgebenden pH-Wert und die Aktivität der Mikroorganismengruppe, die für die optimale Kompostrotte entscheidend ist. In der Grüngutmischung mit Kohle waren allerdings nur geringe pH-Unterschiede feststellbar (s. Tab. 7).

Dass der Einfluss das Wasserregime in Komposten auch in umgekehrter Weise günstig zu beeinflussen scheint, zeigt die Beobachtung einer früheren Studie. Hier wies vollständig ausgereifter Kompost, der ebenfalls aus Ko-Kompostierung von Grünschnitt mit Kohle hervorgegangen war, nicht nur einen höheren, sondern auch länger anhaltenden Feuchtegehalt im Vergleich zum Leer-Pendant auf. Die Erkenntnis war wichtig, da ein zu schnelles Austrocknen während der Lagerung großer Kompostmengen zu Qualitätseinbußen führen kann. Interessanterweise war jener Ko-Kompost auch im Regenwurmtest deutlich vorteilhafter im Vergleich zum normalen Kompost (Ref. 4).

Zwischenfazit zum Einfluss von Pflanzkohle auf den Rotteverlauf und das Kompostergebnis

Aus den Probemieten (März bis Juli) ergaben sich Hinweise auf eine ausgleichende Wirkung der Pflanzkohle. Normale Reaktionen wie erneuter Temperaturanstieg nach dem ersten Umsetzen der Miete sowie ein als angenehm empfundener Geruch weisen auf intakte mikrobielle Bedingungen in der Miete mit Kohle hin, während es in der Leer-Kompostmiete vermutlich durch Überschusswasser zu einem gestörten Verlauf hinsichtlich Temperatur, Wassergehalt und Geruch kam. Die ausgleichenden Effekte der Pflanzkohle liegen vermutlich in ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften (Oberflächeneigenschaften mit Schwamm-Wirkung, evtl. höherer pH-Wert). So könnten Pflanzkohlen gerade bei störanfälligen Kompostmieten (z.B. kleine Größe, auf offenem Grund platziert) eine absichernde Rolle spielen.

4.5. Biotests mit Komposten

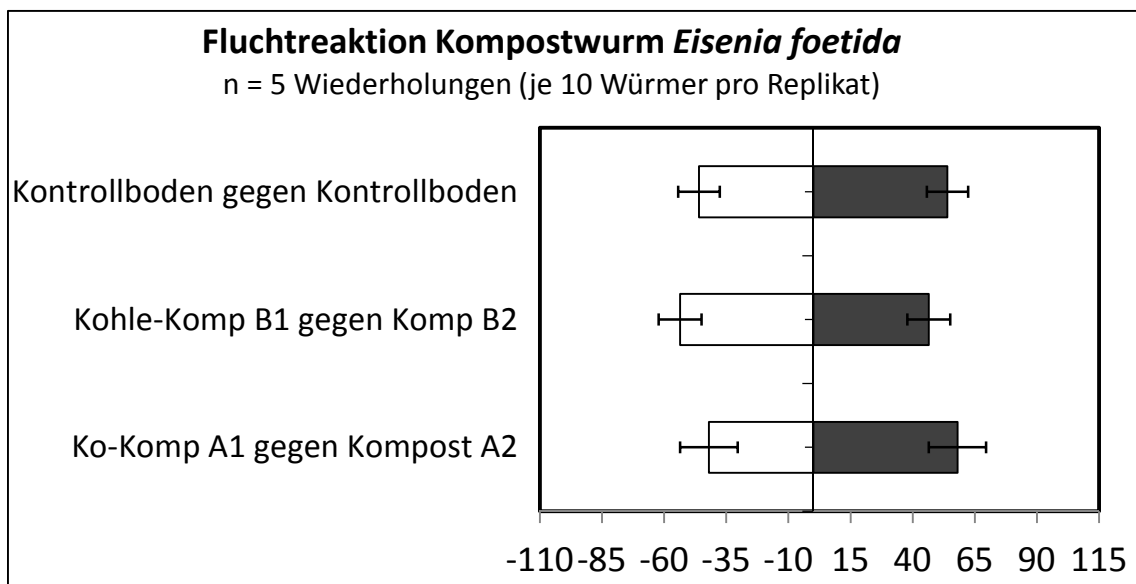
Zur **weiteren Qualitätsbestimmung** der 4 Kompostvarianten wurden standardisierte Biotests durchgeführt (Regenwurmfluchttest DIN ISO 17512-1, Pflanzenverträglichkeit bei Gerste nach BGK).

a) Regenwurmfluchttest

Im Biotest mit Kompostwürmern macht man sich die sensitive Eigenschaft dieser in der Bodenstreu bzw. im Kompost lebenden Regenwurmart zu Nutze, um mögliche negativ wirkende Bodeninhaltsstoffe auszuschließen. Testaufbau s. **Abb. 36**. Gegenüber anderen Ökotoxtests, die oft mit letalen Folgen für die Tiere sind, ist die 100 %ige Überlebensrate ein Vorteil. Die zu testenden Zusatzstoffe (hier Kompost)

werden mit Kontrollboden (käuflicher Standardboden LUFA 2.2) in bestimmten Anteilen gemischt und in Gefäßhälften den Kontrollboden gegenübergestellt. Der Test nach Standardprotokoll erbrachte keine Fluchtreaktion für A1 oder B1 (nicht gezeigt). Das Protokoll wurde in der Weise abgeändert, dass sich die Kompostvarianten „mit und ohne Kohle“ paarweise gegenüber lagen. Die Kompostmischungen enthielten ca. 17 Gewichts% bzw. ca. 50 Volumen% Kompost. Nach Zugabe von 10 Würmern in jedes der 5 Wiederholungsgefäße pro Variante wurde 2 Tage Zeit gelassen, sodass sich die Tiere durch Zu- oder Abwanderung für eine Hälfte entscheiden konnten. Durch Bestimmung der Verteilung der Würmer in linke Hälfte (weiße Balken im Diagramm 2) und rechte Hälfte (dunkle Balken) ergaben sich weder für die A- oder B-Varianten Unterschiede (Statistik per t-Test, $P = 95\%$).

Diagramm 2: Biotest Regenwurmvermeidung (abgeändert nach ISO 17512-1)



Im Fall der A-Komposte zeigt die statistische Auswertung keine Unterschiede in der Reaktion der Regenwürmer im Vergleich „mit und ohne Kohle“.

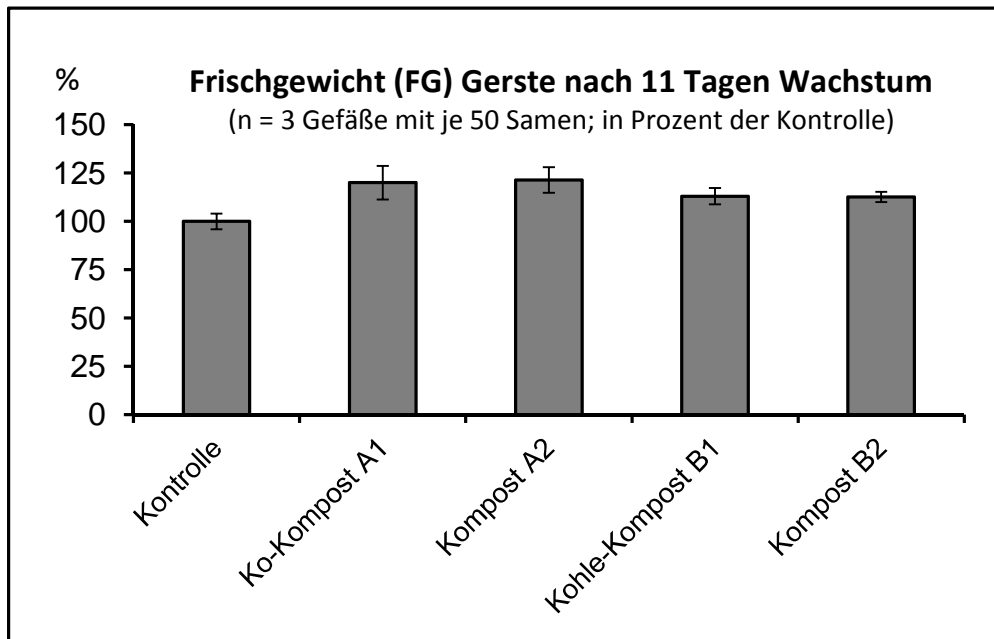
In anderen Studien mit ko-kompostiertem Material (vergleichbar mit A1, allerdings bei ausgereiftem Kompost) wurde dagegen eine deutliche Bevorzugung im Regenwurmfluchttest beobachtet (Ref. 4). Vorliegend könnte der fehlende Reifegrad oder/und das unterschiedliche Grüngut-Ausgangsmaterial für A1 und A2 zu indifferenten Reaktionen geführt haben. Aber auch im Fall B (hier gleiche Beschaffenheit) hat die kurzfristige Beimengung von Kohle keinen Einfluss auf die Wanderreaktion von Kompostwürmern.

Zwischenfazit Regenwurmvermeidungstest: Der Test von Ko-Kompost A1 und Kohle-Kompost B1 auf Basis von Umweltverträglichkeit bei Regenwürmern erbrachte gute Bio-Verträglichkeit.

Ergänzung: will man die im Regenwurmtest verwendeten Kohle- und Kompost-Mengen in Tonnagen und Anbaufläche umrechnen, würde dies 1,2 - 1,6 t Kohle bzw. 26 t Kompost TM pro ha entsprechen (gültig für 10-20 cm Einarbeitungstiefe bei mittlerer Bodendichte).

b) Pflanzenverträglichkeitstest

Zum Ausschluss etwaiger negativer Wirkungen durch den Zusatz von Pflanzkohle wurde ein Standardtest mit Gerste durchgeführt. Als Standardboden diente EEO (Einheitserde 0). Die A bzw. B-Komposte wurden zu 25 Vol% mit EEO gemischt. Nach Aussaat in 3 x 500 ml Gefäßen wurde das FG nach 11 Tagen bestimmt und mit der Kontrolle verglichen. (s. Diagramm 3).

Diagramm 3: Pflanzenverträglichkeit nach BGK mit Gerste, Angabe in FG% der Kontrolle

Aus Diagramm 3 ergibt sich, dass sich in der Prüfung auf die Pflanzenverträglichkeit von Kohlebeimengungen zu Kompost keine negative Wirkung für Keimung und Wachstum zeigte. Die Pflanzen hatten vitales Aussehen. Die Beobachtungen decken sich mit Biotests anderer Studien mit ähnlichen Anwendungsmengen von Holzkohlen bzw. Mischungen mit Komposten.

Zwischenfazit Pflanzenwachstumstests: Der Test von Ko-Komposten und Kohle-Komposten auf Basis von Umweltverträglichkeit bei Pflanzen (Gerste) erbrachte gute Bio-Verträglichkeit.

Ergänzung: die im Pflanzentest verwendete Kohle-Menge lag bei 10 - 12 g Kohle pro l Einheitserde

5. Ausbringung der vier Kompost-Varianten in Obstbaumpflanzungen

5.1. Ausbringung: Mengen, Flächenbezug

Die Komposte wurden am 8.7.2013 mit einem Kompoststreuer auf eine Goldrush-Apfelanlage aufgebracht (**Abb. 38**). Die dortigen Bodenverhältnisse entsprechen einem dichten und lehmigen Boden (Färbung sehr hell, **Abb. 46** S. 9). Nach Aussage der Fam. Höfflin soll künftig auf Kompost gesetzt werden, um langfristig eine Bodenverbesserung zu bewirken. Die letzte Bodenbearbeitung geschah einige Wochen vorher. Als Bodenkultur war Ackerbohne eingesät (**Abb. 41**). Diese war zum Zeitpunkt der Ausbringung, die an die Witterung angepasst werden musste, mit 5 cm Wuchshöhe schon etwas fortgeschritten, stellte sich jedoch nicht als Hindernis für eine gleichmäßige Kompostausbringung heraus. Jeder Kompostansatz wurde durch mehrmalige Fahrt (Fassungsvolumen pro Fahrt ca. 3 m³) links und rechts einer Apfelreihe gestreut (Länge der Apfelreihen 220 m; Streubreite: 1,2 bis 1,4 m; **Abb. 39**).

Tab. 9. Versuchsanordnung Apfelreihen (vom oberen Weg aus gesehen von li nach re):

Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 4
Kontrolle	Kompost A2	Ko-Kompost A1	Kompost B2	Kohle-Kompost B1

Per Rücklese wurde die Gleichmäßigkeit der Kompostverteilung auf dem Boden überprüft (nur bei A-Ansätzen). Hierzu wurden 6 Zufallsstellen ausgewählt (im 20 Schritt-Abstand die Reihe entlangehend),

an denen die aufgestreute Kompostmenge einer 0,25 m² großen Fläche gesammelt und deren Volumen bestimmt wurde (**Abb. 40**). Der Vergleich brachte keine signifikanten Unterschiede (Wahrscheinlichkeit $P = 98 \%$), d.h. die angewandte Streuweise streut gleichmäßig, sodass jeweils ein Volumen von 20 l pro m² aufgebracht wurde. Kompostvolumen und hergeleitete Kohlemasse im Flächenbezug s. Tab. 10.

Tab. 10. Umrechnungstabelle Aufbringmengen Kompost (ca. 20 l/m²) und Kohle in TM pro m² in A1

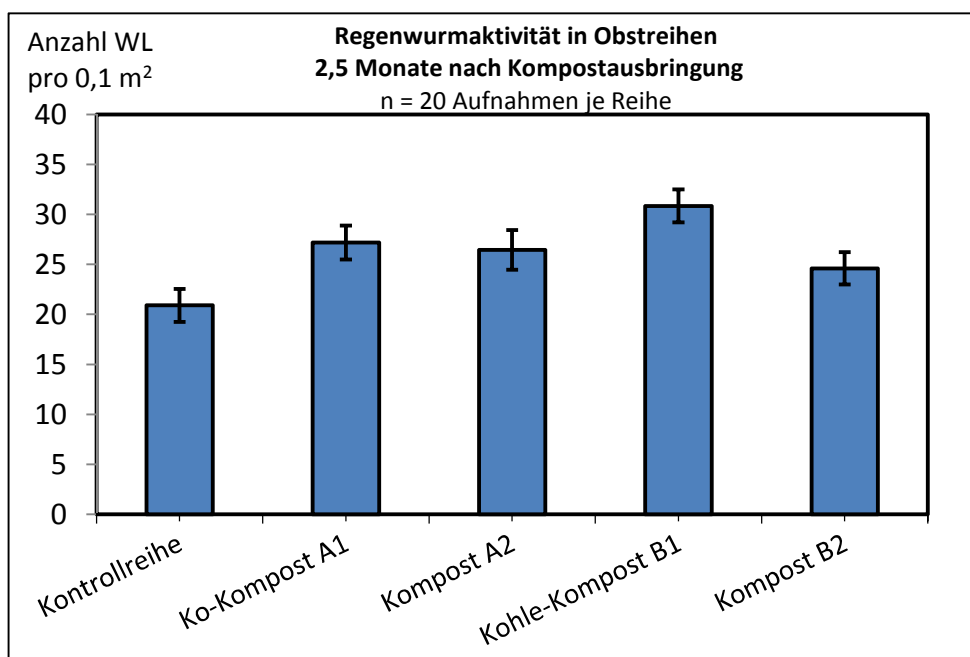
Kompost	A1	A2	B1	B2
Mittelwert ausgebrachte Volumina in l/m ² (durch Probelese bestimmt)	19,2	20,7	n.b.	n.b.
Kohleprozent in Gew. % (durch Auszählung Tab. 6 bestimmt)	6,13	0	4,56	0
Ungefähre Kohlemenge in kg/m ² bzw. t/ha tatsächliche Streufläche (jede Miete wurde entlang 220 m ausgebracht)	0,353	0	0,262	0

5.2. Aufnahme des Bodenparameters „Regenwurmaktivität“

Die Verwendung von Kompost hat mehrere positive Wirkungen auf den Boden. Dies betrifft auch die Attraktivität als Lebensraum für bodenaktive Lebewesen. Einig der Regenwurmart, die im Feld vorkommen, werden durch das zusätzliche Nahrungsangebot in der Streuauflage besonders angezogen (**Abb. 42**).

Am 27.09.13 wurde die Häufigkeit von Wurmlosungen (**Abb. 43**) mittels einer Schnell-Methode (Ref. 4). entlang der Obstreihen als Indiz für die jeweilige Regenwurmaktivität aufgenommen. Hierzu wurde ein Holzrahmen genutzt, der in 64 Minifelder unterteilt ist und eine Fläche von 0,1 m² einfasst (**Abb. 44**). Für eine sichtfreie Bodenoberfläche wurde abdeckender Bewuchs vorsichtig entfernt. Durch Auflegen des Rahmens wurden die in den Minifeldern in der Aufsicht ganz oder teilweise sichtbaren Wurmlosungen (WL) als „Treffer“ gezählt und die Gesamtzahl der „Treffer“ pro Rahmen bestimmt. Die Auszählung wurde für jede der 5 Anwendungsvarianten 20 Mal wiederholt. Der Rahmen wurde hierfür den Reihen entlanggehend im Abstand von 5 Schrittlängen aufgelegt, wobei auf einen Abstand von 15 cm zum Obststamm geachtet wurde. **Diagramm 4** zeigt das Auszählungsergebnis.

Diagramm 4: Frequenz der Regenwurmlosungen in Obstreihen in allen 5 Varianten



Im Vergleich zur Kontrollreihe (ohne Kompost) zeigten sämtliche Reihen mit Kompost- bzw. Ko-/Kohle-Kompostanwendung einen deutlichen Anstieg der Wurmlosungsfrequenz. Die prozentuale Zunahme gegenüber unbehandelten Reihen bewegte sich für alle Varianten zwischen 17 und 30 %.

Innerhalb der A-Varianten hatte die Zahl der Wurmlosungen gleichermaßen zugenommen. Eine weitere Schlussfolgerung im Vergleich zwischen A1 und A2 ist aufgrund der Störungen während der Kompostierung jedoch nicht möglich.

Im Vergleich der beiden B-Varianten war jedoch eine deutliche zahlenmäßig Zunahme der Wurmlosungen in der Variante mit Kohle vorhanden. Die Anwesenheit von Pflanzkohle hatte offensichtlich ein häufigeres Aufsuchen von Regenwürmern bewirkt. Im Vergleich zum Leer-Kompost B2 waren auf der Obstreihe mit Kohle-Kompost (B1) 25 % mehr Wurmlosungen vorhanden ($P = 98 \%$). Das bedeutet einen starken Effekt, der im Hinblick auf die Leistungen von Regenwürmern für die Bodenstruktur (Ton-Humuskomplexe, Krümelstruktur), Bodendurchlüftung und -lockerung als sehr positiv zu beurteilen ist.

Fazit Feldaufnahme Regenwurmaktivität: Ausgereifte Kompostgaben, die Pflanzkohle enthielten, bedeuteten ein erhöhtes Plus für die Regenwurmaktivität in den Obstreihen bzw. der Anbaufläche. Kohle-Kompost hatte eine um 25% positivere Wirkung als Kompost allein.

6. Derzeit geltende rechtliche Rahmenbedingungen

Die Verwendung von Zusatzstoffen zur Bodenverbesserungen ist rechtlich nach der deutschen Düngemittelverordnung (DüMV) zu beurteilen. Dies gilt auch für Pflanzkohlen bzw. Holzkohlen. Wie in der DüMV dargelegt, sind diese nach den Bestimmungen des Düngemittelrechts lediglich als Ausgangsstoff für Kultursubstrate sowie als Trägersubstanz in Verbindung mit der Zugabe von Nährstoffen über zugelassene Düngemittel verkehrsfähig, sofern diese Kohle ausschließlich aus chemisch unbehandelten Holz hergestellt worden ist (Anlage 2 Tabelle 7, Zeile 7.1.10).

7. Diskursfrage: schafft Pflanzkohle Konkurrenzen zur Kompostierung?

Aufgrund der Erfahrung, dass neue Techniken, die die Nutzung der Ressource „Biomasse“ betreffen, Ungleichgewichte hervorrufen können, die vorher nicht absehbar waren, sollen auch Karbonisierungstechniken dahingehend hinterfragt werden. Nutzungskonkurrenzen mit nachfolgend erhöhtem Nutzungsdruck im Bereich natürlicher Ressourcen sind besser frühzeitig zu erkennen. Die Feststellung des Sachstands unter Einbezug neuer Erkenntnisse und die gleichzeitige Diskussion mit beteiligten Interessensgruppen trägt nicht nur zur Aufklärung bei, sondern schafft Möglichkeiten, unerwünschten Entwicklungen rechtzeitig gegenzusteuern.

Die Frage ist daher, ob aus einem vielleicht wachsenden Interesse für Biokohle-Anwendungen eine verstärkte Bedarfsdeckung aus Holz-Biomassen zu rechnen ist, die nach gegenwärtigem gesellschaftlichem Konsens eigentlich anders genutzt oder für die Erzeugung von Energie Vorrang haben sollten.

In der vorliegenden Studie wurden Obsthackschnitzel aus der Stockrodung eines Obstbaubetriebs nur versuchsweise genutzt, um Fragen der Mobilität und Flexibilität der Anlage zu klären. Wo die Rest-Biomasse für die eigene Wärmeerzeugung im Betrieb genutzt werden kann, soll die Verkohlung keine Konkurrenz aufbauen. Interessant wäre sie allenfalls bei minderen Qualitäten, aus denen zu schlechtes Heizmaterial hervorgeht. Bei nicht standardisiertem Material kommt es bei Hackschnitzelanlagen in der

Tat öfter zu Problemen. In anderen Fällen mag Pflegeschnitt, der bei der Streuobstwiesen- oder Naturschutzflächenpflege anfällt, vertretbare Möglichkeiten für die Verkohlung bieten. So kann die Umwandlung zu Pflanzenkohle eben für solches Material eine Lösung sein, das oft noch an Ort und Stelle verbrannt wird, weil eine andere Entsorgung oder Verwendung den Aufwand für Transport und Abgabegebühren nicht rechtfertigt. In dieser Hinsicht könnten sich Vorteile gerade für eine mobile Verkohlung bieten, die flexibel genug ist, um vor Ort eingesetzt werden zu können.

Das Verkohlungssystem Carbo-Mob (Ref. 3), das zum Test solcher vor-Ort Verkohlung in relativ kleinem Maßstab entwickelt wurde, wird derzeit auch mit Ansprechpartnern im Naturschutz eingesetzt, um die Machbarkeit mit Hilfe von Feldstudien näher zu untersuchen. Stellt sich diese Möglichkeit neben anderen Zielen wie die Erfüllung von Emissionsgrenzwerten und die Wirtschaftlichkeit als machbar heraus, kann sie für manche Reststoff-Bereiche ein Weg mit verschiedenen Synergiewirkungen sein. Wichtige Stichworte sind hier **Regionalität, ressourcenschonende Wertschöpfung, Kostensenkung im Naturschutz**. Klar ist jedoch, dass pro Anlage nur vergleichsweise geringe Mengen umsetzbar wären, sodass eine Deckung größerer Bedarfsmengen von Pflanzenkohle für Bodenanwendungen (d.h. eine große Mengennachfrage, die eher unwahrscheinlich ist), von vornherein ausgeschlossen wäre.

Auch wenn von der Nachfrage her keine großen Mengenströme von Pflanzenkohle zu erwarten sind, sollten Produktion und Handel früh an Leitfragen der **ökologischen Vertretbarkeit** geknüpft werden. Ökonomie und Ökologie müssen schon in der Anfangsphase jeder neuen Entwicklung Hand in Hand gehen und eng aneinander gekoppelt werden. Ähnlich wie für die Biomassenutzung für Bioenergie gefordert (Ref. 5) sollten auch hier Nachhaltigkeitskriterien zu Grunde gelegt werden. Weder Übernutzungen noch lange Transportstrecken sollten in Kauf genommen werden, um einen möglichen Bedarf an „Bodenkohle“ oder „Energie-Biokohle“ zu decken. Die Selbstverpflichtung sollte hierbei nicht nur beim Nutzer (Pflanzenkohle-Nachfrage), sondern auch schon beim Produzenten (Biomasse-Anbieter, Pflanzenkohle-Hersteller) verankert sein. Die Frage des Handlungsrahmens wäre mit Vertretern privater und öffentlicher Interessen, wie zum Beispiel Gewerbetreibende hier und Landkreise und Umweltverbände dort, näher zu beleuchten.

Die gegenwärtige Diskussion behandelt auch die Frage möglicher Nutzungskonkurrenzen im Bereich **Kompostierung** (Ref. 6, 7). Die Verwertung von Grünschnitt und kompostierfähigem Material zu Komposten ist bei günstigen Qualitäten ein hervorragendes Mittel, landwirtschaftliche Böden mit Strukturmaterial mit Langzeitdüngerwert zu versorgen. Dies wurde durch fundierte Langzeitstudien belegt (Ref. 8). Der Verwertungsweg sollte daher nicht nur primär weiterverfolgt, sondern auch eine stärkere Lobby erhalten. Es überrascht, dass die wertgebenden Eigenschaften von Kompost von landwirtschaftlichen Betrieben oft gering geschätzt werden. Laut Kompostierer ist es trotz wegfallender Gebühren vielerorts schwer, genügend Abnehmer zu finden. Die Gründe ergeben sich aus tatsächlich noch vorhandenen Verunreinigungen, die als störend empfunden werden (z.B. Plastikreste), oder sie rühren von Gerüchten über schlechtere Qualitäten aus früheren Zeiten.

Für die Verwendung von Pflanzenkohle an der Schnittstelle Kompost legte die vorliegende Studie neue Erkenntnisse dar, die den Zusatz zur Kompostierung aus ökologisch-praktischer Sicht zwar rechtfertigen, jedoch muss auch die Frage der Herkunft beantwortet werden. Als externe Quellen, die gleichzeitig ökologisch vertretbar sind, kämen primär die oben erläuterten in Frage. Darüber hinaus scheint jedoch auch Angeliefertes auf Kompostierplätzen im eingeschränkten Maß als lokale Quelle sinnvoll. Dies, ohne, dass Konkurrenzen oder verlustreicher Materialentzug aus guten Verwertungswegen ausgelöst würden. Oft wird bei der Kompostierung (v.a. am Feldrand) von zu holzreichem Material im Endprodukt gesprochen, sodass lange Rottezeiten nötig wären, um den Nachteil aufzufangen. Bei zu kurzen Zeiten kann ein hoher Holzanteil (bzw. Grobanteil aus Holz) nach der Ausbringung zu zeitweiliger

Nährstofffixierung führen. Auf der anderen Seite führen lange Kompostierzeiten zu höheren Stoffverlusten. Vor diesem Hintergrund mag es lohnen, die Vorteile auszuloten, die eine Verkohlung einer begrenzten Holzfraktion mit nachfolgendem Kohlezusatz in der Kompost-Rotte bedeuten könnte. Auch Siebreste, die nach der Rotte anfallen, könnte über den Weg der Pflanzkohle ein derartiger lokaler Stoffkreislauf in Frage kommen, wenn Schadstoffe auch hier ausgeschlossen werden können. Bestätigen sich die positiven Effekte der Pflanzkohle auf die Rotte, wie sie die Studie dokumentiert könnte das Konzept der Ko-Kompostierung möglicherweise eine höhere Inwertsetzung des Komposts selbst bedeuten, eventuell sogar höher als die aerobe Verrottung sämtlicher angefahrener Materialien. Weitere Vorteile könnten kürzere Rottezeiten sein bis hin zu einer höheren Wertschätzung bei den Abnehmern.

8. Zusammenfassung

Die fast einjährige Studie durchlief modellhaft einen Stoffkreislauf, bei dem Abfallholz aus eigenen Plantagen ortsnah mit einer mobilen Anlage verkohlt werden sollte. Nach Mischung der Kohle mit Kompost bzw. nach Ko-Kompostierung von Grünschnitt in Anwesenheit von Kohle sollte der aufgewertete Kompost wieder auf Obstflächen ausgebracht und so der Kreislauf geschlossen werden. Maßgebliche Ziele waren dabei die Verbesserung von Bodenfunktionen sowie die effiziente und ökologische Verwendung von Restbiomasse. Daneben sollte die grundsätzliche Machbarkeit mobiler Verkohlung für regionale Kurzeiteinsätze getestet werden.

Die eingesetzte Pyrolysetechnik zur mobilen Verkohlung von Restbiomasse erwies sich als flexibel und anpassungsfähig genug, im Bedarfsfall hofnah eingesetzt zu werden. Mit dem Anlagentyp von BiG wurde für Obsthack nicht nur bei geringer Feuchte ein gutes Biomasse-Kohleverhältnis festgestellt, sondern wurden auch stellenweise schlechtere Qualitäten problemlos verarbeitet. Die resultierenden Pflanzkohlen wurden u.a. auf Schwermetalle und PAK analysiert und nach Vorgaben der Düngemittelverordnung und anderer Boden-Schutzverordnungen als gefahrlos für die Bodenanwendung eingestuft. Die Kohle-Kompostmischungen zeigten auch im standardisierten Biotest (Regenwürmer, Pflanzenverträglichkeit) keinerlei negative Wirkungen.

Im Kreislaufmodell hat die Verwendung von Kompost (aus Grünschnittsammlung des Landkreises) eine zentrale Rolle. Sie überzeugt zum einen, weil sie eine wertgebende Abfallverwertung darstellt und zum anderen wichtige Bodeneigenschaften fördert, indem sie dem Boden Strukturmaterial und ökologisch gut verträglichen Dünger wieder zur Verfügung stellt. Im Fallbeispiel wird regional anfallender Grünschnitt-Abfall in eigener Regie kompostiert. Darüberhinausgehend wurde die Frage gestellt, ob Pflanzkohle hierbei einen gesteigerten Nutzen bringt. In der Tat wurden in Anwesenheit von Pflanzkohle einige Vorteile für den Kompostierungsprozess bemerkt. Offensichtlich bewirkt Kohle einen ausgleichenden Effekt auf den Rotteprozess, sei es durch den Einfluss auf den Wasserhaushalt (Schwamm-Wirkung) oder aus anderen Gründen wie den der besseren Durchlüftung und des höheren pH-Wertes. Negative Einflüsse, wie sie bei der Kompostierung am Feltrand und besonders auf kleinere Mieten wirken können, scheinen durch Pflanzkohle gepuffert zu werden.

Dem vergleichbar könnte für Pflanzkohle auch ein harmonisierender Effekt für Böden angenommen werden. Aufgrund ihrer Langlebigkeit stellt sie zudem ein Ausnahme-Element als „Kohlenstoff“ dar, das den Turnus von Kompostgaben nachhaltig unterstützen könnte ohne selbst permanent erneuert werden zu müssen.

Der gegebene Rahmen der Studie erlaubte es nicht, die Anwendung von Kohle in Kompost durch langjährig angelegte Untersuchungen einzuschätzen. Dennoch konnte eine wichtige Beobachtung

bezüglich der Bodeneigenschaften gemacht werden. So wirkte sich die Mitverwendung von Kohle bei Kompostgaben in Obstflächen vorteilhaft auf die wichtige Bodenfunktion der Regenwurmmaktivität aus. An Hand von Häufigkeiten von Wurmlösungen wurde eine stärkere Tätigkeit von Regenwürmern (Bioturbation) in Anwesenheit von Kohle detektiert. Dies ist deswegen interessant, weil Bodeneigenschaften durch Bioturbation in Richtung einer besseren Lockerung, Durchlüftung und Drainage verändert werden. Es ist außerdem bekannt, dass Regenwürmer die Krümelstruktur des Bodens fördern und mitentscheidend sind für die Ausbildung von Ton-Humus-Komplexen.

Einzelne Faktoren von „Kohle im eigenen Stoffkreislauf“ in ökonomischer Hinsicht einzuschätzen, ist derzeit noch schwierig. Die Anwendungserfahrung „á la Terra preta“ in hiesigen Breiten ist noch sehr kurz und die Frage des Kohle-Inputs pro Fläche allgemein noch relativ offen, auch weil die Verteilung und Wirkung von Boden- und anderen Standortverhältnissen abhängen. Das bisherige Gesamtergebnis anderer Studien für Kohleanwendung bringt die Kohle im Fall gut versorgter Böden weniger wegen schneller Ertragssteigerungen als vielmehr wegen zunächst struktureller Bodenverbesserungen in die Diskussion. Angesichts des noch relativ unklaren Wirkungspotentials der Kohle (v.a. für besser versorgte Böden) scheinen die momentanen Preiseinschätzungen (ca. 300 Euro/t für Biokohle aus Pyrolyse) aus Sicht vieler Anwender in der konventionellen Landwirtschaft als zu hoch, wenn von Mindestgaben von 10 t/ha gesprochen wird.

Zieht man jedoch die vorliegende Beobachtung in Betracht, scheinen auch schon geringere Kohlegaben Effekte hervorzurufen, die durch bloße Kompostgaben in dem Maß nicht erreicht werden. Im Hinblick auf die angestrebte Bodenlockerung wäre daher ein wichtiges Ziel erreicht, wenn sich die positiven Effekte aufgrund erhöhter Bioturbation einstellen und fortsetzen. Die Investition läge im vorliegenden Betrieb und obigen Preisbeispiel bei 1800 Euro/ha bei einmaliger Anwendung. Die hofeigene Verkohlung würde vermutlich keinen geringeren Kohlepreis bedeuten, da die Kapazität der Anlage zugunsten der Mobilität begrenzt bleiben muss. Bei eigener Restholz-Verwendung fallen allerdings Kosten für die Biomasse viel geringer aus.

Ökologische und ökonomische Vorteile der Mitverwendung von Kohle bei der (Eigen)-Kompostierung

In der vorliegenden Studie wurden zwei Zugabe-Varianten erprobt. Während eine 1-monatige Mischungs-Variante („Kohle-Kompost“) Schlussfolgerungen hinsichtlich einer Wirkung der Kohle auf Bodenfunktionen erlaubte, waren für die Mit-Kompostierung („Ko-Kompost“) aufgrund höherer Unregelmäßigkeit des Ausgangsmaterials und fehlender Ausreifung keine trennscharfen Aussagen hierzu möglich. Dennoch ergaben sich während der Rotte Qualitätsunterschiede, die auf die Kohle zurückgehen könnten und mit ihren physikalischen Eigenschaften in Verbindung stehen. In der Beimengung von ca. 1/10 Vol zu frischem Grünguthäcksel schien die Zugabe von Kohle den nachfolgenden Rotteprozess besser gegen negative Außeneinflüsse zu puffern und so gegen Störungen in Temperaturverlauf, Wasserregime und der mikrobiellen Aktivität zu schützen. Konnte für Kohle mit den Funktionen Durchlüftung und Wasserbindung eine ausgleichende Wirkung auf die Rotte angenommen werden, gab es auch umgekehrt Anzeichen für Vorteilhaftes für die Kohle selbst. So wies der Kohle-Besatz durch Ascomyceten-Pilze, die auch auf Kompostgut üblich waren (Abb. 36, 37), auf die Eigenschaft der Kohle als Nährstoffträger bzw. Nährstoffschwamm hin. Neben der Schwammfunktion für Nährstoffe legt die Beobachtung auch eine bessere Anpassung und Vorbereitung der noch „blanken“ Kohle für die spätere Nutzung in Böden dar. Die Möglichkeit, dass dieselbe Schwammfunktion auch direkt ausgleichend auf den gesamten Stoffwechsel und auf Nährstoffverluste einer Kompostrotte wirken könnte, macht weitere Synergien denkbar. Die Frage müsste allerdings mit genaueren Untersuchungen, die auch den Gaswechsel einschließen, angegangen werden.

Für die Grünschnittabnahme zur Eigen-Kompostierung legt das obige Resultat Vorteile bei der Mitverwendung von Kohle bei der Kompostierung auch aus ökonomischen Gründen nahe. Auch wenn die Abnahme von Grünabfällen kostenlos ist oder sogar etwas ausgezahlt wird, kann der hohe Aufwand für die Eigen-Kompostierung (personeller Aufwand und Investitionen für Kompostwender und Kompoststreuer) in Frage gestellt werden, wenn sich Stoff- und Qualitätsverluste einstellen. Wie im Fallbeispiel auseinandergesetzt, kann dies aufgrund von Außenbedingungen leicht geschehen, die sich dann ungünstig auf die Rottebedingungen auswirken (s. Leer-Kompost). Wenn Pflanzkohle solche Risiken abfangen hilft und die Wertigkeit des organischen Materials aufrechterhält, müsste sich auch eine neue Bewertung und auch Preiseinschätzung der Pflanzkohle ergeben.

Schlussbewertung der Biokohleanwendung in der vorliegenden Studie

Insgesamt legen die Beobachtungen nahe, dass die Mitverwendung von Kohle bei der Kompostierung positive Wirkungen und Synergien hervorruft, sowohl was die Qualität und Risiken der Kompostrotte angeht als auch die Bodenqualität in Bezug auf die Bioturbation durch Regenwürmer. Dies kann für Böden mit hoher Dichte von besonderer Bedeutung sein.



Abb. 45 Nahaufnahme Apfelreihe mit kurz zuvor aufgestreuter Kohle-Kompostlage



Abb. 46 Der teilweise schwere und dichte Boden kann sicher mit Kompost aufgelockert werden. Die Pflanzkohle könnte dies vermutlich nachhaltig unterstützen.

Literaturliste

- Ref. 1. BiGchar (www.blackisgreen.net)
- Ref.2. Pieplow, Scheub, Schmidt (2013) Terra Preta. Die schwarze Revolution aus dem Regenwald. Oekom Verlag. Stiftungsgemeinschaft anstiftung & ertomis (Hrsg.)
- Ref. 3 Projekt Carbo-Mob, mobile Pyrolyse:
https://www.badenova.de/web/de/umweltundregion/innovationsfonds_1/projekte_1/innovationsfondsdetail_223808.html
- Ref. 4. Holweg (2013): <http://eprints.dbges.de/851/>
- Ref. 5 Positionspapier BfN zu Bioenergie:
http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_position_bioenergie_naturschutz.pdf
- Ref. 6 Positionspapier LNV e.V. zu Bioenergie: <http://lnv-bw.de/lnv-position-mehr-nachhaltigkeit-bei-der-bioenergie/>
- Ref.7 BUND Einschätzung Terra preta AK Bodenschutz:
http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/sonstiges/130906_bund_sonstiges_bio_kohle_terrapreta_einschaetzung.pdf
- Ref. 8 Kluge, R. et al., 2008: Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft, Abschlussbericht 2008, Projektleitung und Hrsg.: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg – LTZ, Karlsruhe, gefördert durch das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum BW und Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., April 2008, 126 Seiten, 36 Abbildungen, 35 Tabellen,

Abkürzungen

BGK Bundesgütegemeinschaft Kompost

FG = Frischgewicht

TM = Trockenmasse

TS = Trockensubstanz

Daten der Grüngutuntersuchung (Tab. 7) mit freundlicher Genehmigung d. Landkreis Emmendingen