



Abschlussbericht der Operationellen Gruppe Innovation Kompostsysteme Bodenfruchtbarkeit

Juni 2015-März 2019

„Innovation Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit!“

im Rahmen der Europäischen
Innovationspartnerschaft Agrar (EIP-Agri)

Ö K O R I N G 
Versuchs- und Beratungsring Ökologischer Landbau im Norden e. V.

Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch
die Europäische Union - Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
und das Land Schleswig-Holstein
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete



Inhaltsverzeichnis

A Kurzdarstellung

A I. Ausgangssituation und Bedarf	4
A II. Projektziel und Aufgabenstellung	5
A III. Mitglieder der OG (Operationelle Gruppe)	5
A IV. Projektgebiet	6
A V. Projektfristen	6
A VI. Budget	6
A VII. Ablauf	7
A VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse	7

B Eingehende Darstellung

B I. Verwendung der Zuwendung	9
B II. Ausgangssituation und Aufgabe des Projektes	
a) Ausgangssituation	9
b) Projektaufgabenstellung	10
B III. Die OG	
a) Zusammenarbeit	10
b) Mehrwert des Formates	11
c) Zukunft nach Projektende	11
B IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes	
a) Zielerreichung	12
b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen	12
c) Projektverlauf	13
d) Vorgehensweise und Ergebnisse	16
1. Grundsätze Kompost und spezielle Aspekte	16
i. Besondere Aspekte der Kompostierung	16
ii. Vorstellung Kompostierungssysteme CMC und MC	18
2. Ergebnisse zu Kompost	21
i. Ausgangsmaterialien, verwendete Mischungen	21
ii. Prozess der Kompostierung, Jahreszeitliche Verteilung, Aufsetzen einer Kompostmiete nach CMC und MC System	22
iii. Arbeitswirtschaftliche Beurteilung der Systeme	24
iv. Temperaturentwicklung während Kompostierungsprozess, Tool: Erstellung einer Temperaturvergleichskurve, Temperaturverläufe Einzelbeispiele	26
v. Analytierte Inhaltstoffe der Komposte, Veränderungen der Inhaltstoffe nach Alter der Kompostmieten, „weiße Schicht“	29
vi. Untersuchungen Komposte für ein Qualitätsmanagement	35
vii. Untersuchungen auf Mikroorganismenaktivität,- vorkommen ausgewählter Komposte	35
viii. FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte	36
ix. Austretende Perkolate aus Kompostmieten	37
3. Wirkung eingesetzter Komposte und -tees auf Kulturpflanzen und Ackerböden in Praxisversuchen	37
i. Erträge Kompostdüngung, Pflanzenkohle und Komposttees in unterschiedlichen Kulturen	38

ii. Bodenbearbeitung und Kompostdüngung optimieren	45
4. Bodenanalysen Lufa, KAK	
i. Bodenanalysen nach VDLufa Messmethode	48
ii. Bodenanalysen für die Ermittlung der Kationenaustauschkapazität	49
e) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Zielen	52
f) Nebenergebnisse	52
g) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	52
B V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis	52
B VI. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse	53
B VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	53
B VIII. Administration und Bürokratie	53
B IX. Innovationsbüro (Innovationsdienstleister, IDL)	54
B X. Kommunikations- und Disseminationskonzept	54
a) Kommunikation der Ergebnisse	54
b) Grundsätzliche Schlussfolgerungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI.	54

C Anhang

C I. Abkürzungen	55
C II Mikroskopie Komposte und Keimzahlbestimmung mit Beurteilung MO's	55
C III. Mikroskopie Boden und Keimzahlbestimmung mit Beurteilung MO's	56
C IV. FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte	56
C V. Unterschiedliche Verfahren für ein Kompost-Qualitätsmanagement	56
C VI. Leitfaden für die Erzeugung von MC- und CMC- Komposten	56
C VII. KAK-Vergleichsuntersuchung Laboranalysen mit Düngempfehlung	56
C VIII. Literatur	56

A Kurzdarstellung

A I. Ausgangssituation und Bedarf

Die Bodenfruchtbarkeit kann durch Einsatz von Kompost verbessert werden. Gerade bei ökologisch wirtschaftenden Betriebe soll dessen Verwendung auch zu höheren Erträgen der Kulturpflanzen beitragen. Um ergänzend zu klassischen Verfahren der Humusanreicherung (wie Klee gras-, Untersaat- und Zwischenfrucht-Anbau) innovative Strategien mittels neuer, praxistauglicher Kompostierungssysteme zu erarbeiten und zu erproben, gründeten interessierte Landwirte einen Arbeitskreis. Als Aufgabe stellte sich der Vergleich alternativer Systeme auf Basis entweder betriebseigen erzeugter oder von regionalen Kompostwerken zugekaufter Komposte. Fragen zu geeigneten Zuschlagsstoffen, Qualitätsmanagementsystemen und arbeitswirtschaftlich sinnvollen Methoden waren offen.

Bisher gebräuchliche Verfahren der Kompostherstellung wurden arbeitswirtschaftlich als zu zeitaufwendig und kostenintensiv angesehen, weil sie das mehrmalige Umsetzen der Kompostmiete mit Spezialmaschinen (Kompostwender) erforderten. Ein anderes und extensives Kompostierungssystem, das sogenannte „MC-Verfahren“ (Mikrobielle Carbonisierung), wurde von Dipl.Ing. Gartenbau und Agrochemie-Ing. Walter Witte vorgeschlagen, bedurfte aber praktischer Weiterentwicklung.

Als Zuschlagsstoff für die Kompostmieten sollte Pflanzenkohle wichtige Nährstoffe, besonders Stickstoff, speichern und dann an die Pflanzenwurzeln abgeben.

Die Beurteilung der selbst erstellten Komposte hinsichtlich der erreichten Qualitäten war ein Thema, da nicht immer höhere Erträge der Kulturen durch eine Kompostgabe beobachtet werden konnten, und daher systematische Erfassungen für konkrete Aussagen erwartet wurden.

Mehr Information über die Wirkung auf Erträge durch die Gabe von „Komposttees“ (Auszüge aus Komposten, die prophylaktisch die Gesundheit der Kulturpflanzen fördern) war erwünscht.

Das Ausbringungsmanagement der eingesetzten Komposte und die dazu passende Bodenbearbeitung sind weitere Erfolgsbausteine für nachhaltige Erträge der Kulturpflanzen. Einfache oberflächliche Verdichtung des Bodens durch Walzen nach jedem Bodenbearbeitungsgang soll zu einer Erhöhung des CO₂ Gehaltes im Boden führen und damit die Versorgung der Pflanzen durch die angepasste Tätigkeit der Mikroorganismen verbessern.

Folgende Fragen bewegten die Betriebsleiter:

- Kann betriebseigene Kompostierung auch arbeitswirtschaftlich „extensiv“ durchgeführt werden?
- Wie kann eine gute Qualität von betriebseigen erzeugten Komposten erreicht werden, welche Inhaltsstoffe liegen vor?
- Wie kann der Betriebsleiter einfach die erreichte Qualität des Kompostes messen?
- Zeigt eine Kompostgabe Auswirkung auf die Bodennährstoffe, insbesondere den Humusgehalt?
- Können Kompostgaben bzw. Komposttee (=Kompostauszüge) Erträge erhöhen?
- Kann der Einsatz von Kompost durch humusschonende Bodenbearbeitungstechniken optimiert werden?
- Wirkt eingesetzte Pflanzenkohle als Zuschlagstoff zu einer Kompostdüngung ertragssteigernd?

A II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel der OG-Mitglieder war es, mit innovativen Methoden Komposte herzustellen, die dabei stattfindenden Prozesse mit ihren Inhaltstoffen kennen zu lernen und deren Wirkungen, auch zugekaufter Komposte, zu untersuchen.

1. Kompost

Dazu wurden betriebseigenen erstellte Komposte untersucht auf Temperatur-entwicklung, Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien und Arbeitswirtschaft. Von diesen und zugekauften Komposten sollten die maßgeblichen Inhaltstoffe ermittelt werden.

Neue Testmethoden zur Einschätzung der erreichbaren Qualitäten konnten dafür in Anspruch genommen werden, z.B. Mikroskopie der Mikrobiologie und FTIR-Spektroskopie.

Einfache Methoden zur Qualitätsbestimmung verwendete Henning Knutzen, um sie auf Praxistauglichkeit zu prüfen. Darauf aufbauend entwickelte er mit einem Labor neue, weiterführende Tests.

Einige von den OG-Mitgliedern wollten Pflanzenkohle als Ausgangssubstrat einsetzen. Daher wurde vorher recherchiert, welche Auflagen nach Bio-Richtlinien (Vo EG Nr.834/2007 und Bio Vo EG Nr.889/2008) und der Düngemittelverordnung einzuhalten waren.

2. Wirkung eingesetzter Komposte und-tees auf Ackerböden und Kulturpflanzen in Praxisversuchen

Um die Wirksamkeit der eingesetzten Komposte beurteilen zu können, wurden geeignete Ackerflächen ausgesucht, die entweder auf die übliche Weise oder mit Kompost, bzw. Komposttee gedüngt waren. Dort waren jeweils Bodenanalysen, und Ernteschnitte durchzuführen. Ob durch eine praxisübliche Kompostdüngung von ca. 10 t/ha der Nährstoffgehalt erhöht werden konnte, wurde nach Standard VDLufa Analysen untersucht.

Außerdem war die Kationenaustauschkapazität (kurz: KAK) von Interesse. Die Mitglieder wollten auch eine aussagefähige Düngungsempfehlung auf Basis der Analyseergebnisse. Um hier einen Überblick zu erhalten, wurde eine standardisierte Bodenprobe an unterschiedliche Beratungseinrichtungen gesendet. Die Auswirkung von Kompost auf die Erträge waren zu vergleichen, ein angepasstes Bodenbearbeitungsmanagement sollte erprobt werden.

A III. Mitglieder der OG

17 Betriebsleiter, von denen 16 ökologisch und einer konventionell produzieren, waren in das Projekt eingebunden, sowie als wissenschaftlicher Partner Dr. Ralf Loges, CAU Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, - Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau –

- 1 Henning Knutzen
- 2 Gerhard Göttisch, Betrieb Matthias Schiller
- 3 Sören Kötting
- 4 Henning und Siem Dührsen
- 5 Kay Axt
- 6 Gerhard Moser, Lukas Nossenheim, Krumbecker Hof
- 7 Frank Scholz, Hof Dannwisch
- 8 Klaus Thomsen, Wohlerthof
- 9 Hauke Zetl
- 10 Hans-Peter Kruse, Wolfgang Siller
- 11 Rudolf Walch, Detlef Hack Lämmerhof

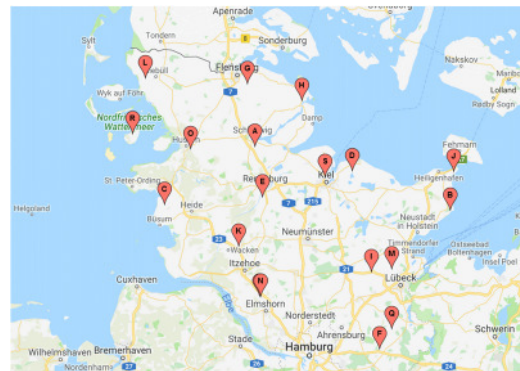
- 12 Tobias Melfsen, MJ GbR
- 13 Heinrich Thees
- 14 Claus-Jürgen Andresen
- 15 Harry Lieske
- 16 Dieter Greve
- 17 Wulf Kruse
- 19 Karsten Hildebrandt, Buschberghof
- 20 Dr. Ralf Loges, CAU Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,
- Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau -
- 21 Romana Holle, Götz Daniel, Ökoring im Norden e.V.

Forschungs- und Versuchseinrichtungen:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau (Dr. Ralf Loges)

A IV. Projektgebiet

Die Betriebe waren über ganz Schleswig-Holstein und damit über die Naturräume Marsch, Geest und Östliches Hügelland verteilt, wie aus der Karte ersichtlich. Nördlich von Elmshorn lagen zwei Betriebe nahe beieinander („P“ wird durch den Buchstaben „N“ verdeckt).



Grafik 1: Karte örtliche Verteilung der beteiligten OG-Mitglieder in Schleswig-Holstein

A V. Projektlaufzeit und -dauer

Die offizielle Projektlaufzeit begann am 01.10.2015. Nach Genehmigung eines vorzeitigen Vorhabenbeginns startete das Projekt am 1.6.2015. Reguläres Projektende war nach dreijähriger Laufzeit der 31.5.2018. Einem Antrag der OG auf kostenneutrale Verlängerung des Projektzeitraumes bis zum 31.3.2019 stimmte das MELUND zu.

Gründe für die notwendige Verlängerung waren

1. das Einbeziehen einer dritten Anbausaison zur Bewertung der Ernteergebnisse in der Vegetationszeit 2018
2. verzögerte Analyseergebnisse durch einen Engpass im Labor des Projektpartners CAU, wodurch die Auswertungen der erfassten Daten nicht wie ursprünglich geplant umgesetzt werden konnten

A VI. Budget

Es wurden 194.311,18 € für das Projekt bewilligt. Diese Summe war aufgeteilt in Budgets von 31.737,30 € für Administration und schwerpunktmäßig Öffentlichkeitsarbeit und von 162.573,88 € für die Durchführung. Insgesamt wurden 168.511,16 € Mittel für das Projekt abgerufen.

A VII. Ablauf des Vorhabens

Für den Ablauf des Projektes sind die einzelnen Arbeitspakete in Tabelle 1 zusammengestellt.

Der Zeitplan zeigt grau unterlegt die Arbeitspakete vor der Verlängerung, ohne farbliche Kennzeichnung nach der Verlängerung. Eine ausführliche Beschreibung des Projektablaufs folgt in Teil B Kapitel IV. c).

Tabelle 1: „indikativer Zeitplan“

Detailliert Projektaufgaben	Verantwortliche Personen	2015				2016				2017				2018				2019
		1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.	2. Quart.	3. Quart.	4. Quart.	1. Quart.
Teil A																		
Koordinierung der OG, Öffentlichkeitsarbeit																		
Geschäftsführung	Daniel/Holle																	
Organisation des Projektablaufes, Koordinieren der Projektpartner	Holle			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vorstellung des Projektes auf Fachveranstaltungen, Artikel für Fachpresse, z.B. Bauernblatt	Holle																	
Erstellen Zwischenbericht, Verwendungsnachweis	Holle				x					x								
Erstellen Abschlussbericht,	Holle																	x
Teil B																		
Projekt Durchführung																		
Durchführung Projektstart-Arbeitskreistreffen und gemeinsam erarbeitete Ergebnisse in Projektlauf integrieren	Holle, Dr. Loges, Knutzen			x														
Kompostthermometer für alle beteiligten Betriebsleiter beschaffen	Holle			x														
Betreuung der beteiligten Betriebe für erproben Kompostsysteme; Probenahmen, Analysen, Datenerfassung und -aufbereitung erhobener Parameter	Holle, teilnehmende Betriebsleiter, Dr. Loges, Knutzen, Boku Wien			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Erstellung Leitfaden QM Kompost, Schnellbewertung für Betriebsleiter	Holle/Knutzen			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17 Praxisbetrieben in den Naturräume WK-Geest-östliches Hügelland betreuen, Feldproben nehmen, analysieren	Holle, teilnehmende Betriebsleiter, Dr. Loges, Knutzen, Prof. Fritz			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6 "bottom up meeting" vorbereiten: bisher gewonnene Ergebnisse Praktiker-Forscher	Holle					x	x			x						x	x	x
"bottom up meeting" durchführen mit Projekt-Landwirten, Forscher, Berater; bisher gewonnene Erkenntnisse werden in laufendes Projekt integriert	Holle, teilnehmende Betriebsleiter, Dr. Loges, Knutzen					x	x			x						x	x	x
Fachreferenten zu speziellen Fragen, Einladung zu einzelnen "bottom up meetings", Exkursion							x			x						x	x	x

A VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

- **Kann betriebseigene Kompostierung auch arbeitswirtschaftlich „extensiv“ durchgeführt werden?**

Die Kompostierungsverfahren CMC (Controlled Microbial Composting) und MC (Mikrobielle Carbonisierung) wurden verglichen. Das CMC-Verfahren ist eine etablierte Methode, das MC-Verfahren relativ neu (Dissertationsarbeit Claus-Robert Wonschik 2017). Dieses Verfahren ist arbeitswirtschaftlich weniger intensiv, da die zu kompostierenden Substrate nur einmalig aufgesetzt werden, während sie im CMC-Verfahren ca. 3-10 Mal mit einem Kompostwender umgesetzt werden.

Der Kompost nach dem CMC-Verfahren ergab wegen der wiederholten Belüftung eine andere Konsistenz als im MC-Verfahren. Die nach dem MC-Verfahren erzeugten Komposte waren weniger einheitlich und entsprachen optisch keinem Kompost im klassischen Sinne, sondern eher einem Rottematerial. Im optimalen Fall besaßen sie im gleichen Rahmen Huminstoffe wie CMC-Komposte.

Für das MC-Verfahren erwies sich als arbeitswirtschaftlich optimal ein Stallmist mit ausreichendem Strohanteil. Die Durchmischung mehrerer Ausgangsmaterialien konnte mit einem Miststreuer günstiger als mit einem Kompostwender durchgeführt werden.

- **Welche Qualität kann von betriebseigenen erzeugten Komposten erreicht werden, welche Inhaltstoffe liegen vor?**

Die Erfahrungen der OG-Mitglieder zeigen, dass ein erfolgreicher Kompostierungsprozess von vielen Faktoren abhängt:

Ausschlaggebend ist die Qualität der **Rohstoffe**, die in einem gewissen Verhältnis fäulnisfähig (ca. 35%) zu ligninhaltig (ca. 65%) gemischt werden müssen.

Überaltertes fäulnisfähiges Ausgangsmaterial (z.B. Mist) beeinträchtigt den Kompostierungsprozess, ebenso wie verpilzte ligninhaltige Holzhackschnitzel.

Die gute Durchmischung der einzelnen Komponenten ist entscheidend für einen erfolgreichen Start des Rottens. Ein Mischen nur mit der Baggerschaufel hat sich als

ungenügend herausgestellt, dagegen bewährten sich Miststreuer und Kompostwender.

Während der ersten 12 Wochen ist darauf zu achten, dass wegen der größeren Wärme der Miete durch den Kamineffekt nicht zu viel Wasser verdunstet. Vorsorglich kann z.B. Wasser oder Jauche zugeführt werden. Beim MC-System, wo die Miete nicht umgewendet wird, besteht die Gefahr, dass später zugegebene Flüssigkeit von der Außenschicht nicht mehr aufgenommen werden kann. Der Kompostierungsprozess kann aber auch über die Winterperiode durch zu viel Nässe stoppen. Hier ist ggf. der Start der Kompostierung Richtung Frühling zu verlegen oder die Miete mit Kompostvlies abzudecken.

Als Besonderheit bildete sich im MC-Kompost eine weiße Mycel-Schicht, die während des Rottevorgangs Richtung Mietenkern wanderte. Nach zwei, bzw. acht Wochen konnten neu in dieser Zone höhere Stickstoff- und Kohlenstoffgehalte gemessen werden: folglich begünstigt diese Aktivität die Mikroorganismen. Die Inhaltstoffe der beiden unterschiedlichen Verfahren CMC und MC, wurden in Kompostproben jünger und älter als 8 Wochen gegliedert. Sie ergaben für N und C keine erkenntlichen Unterschiede. Das C/N-Verhältnis lag im Durchschnitt für die MC-Komposte tendenziell etwas höher. Der Trockenmasse- und Rohaschegehalt der älteren Kompostproben lag im CMC-Verfahren auf einem höheren Niveau als in der MC-Variante. Dies lag an einer höheren Wasserabgabe durch die Mietenumsetzung und größerem Erdanteil in den Mischungen.

Die FTIR-Spektroskopie zeigte verschiedene Qualitäten der Proben hinsichtlich organischer und mineralischer Bestandteile und des Huminstoff-Gehaltes.

Bei ausgewählten Komposten wurden mikroskopisch die Anzahl von Bakterien und Pilzen und ihr Verhältnis zueinander festgestellt und gab einen Hinweis auf die erreichte Qualität. Mehrere Kompost- und Bodenproben enthielten Plastikpartikel. In untersuchten Perkolaten der Kompostmieten wurde nur ein sehr geringer N-Gehalt gefunden.

- **Wie kann der Betriebsleiter einfach die erreichte Qualität des Kompostes messen?**

Eine einfache Prüfung des Kompostierungsverlaufes ist durch Temperaturmessungen möglich. Eine ermittelte Temperaturvergleichskurve erlaubt dem Betriebsleiter die gemessenen Werte der eigenen Miete jeweils für das Kompostsystem CMC und MC taggenau abzugleichen.

Bekannt Tests, die ein Praktiker zur Bestimmung der Kompostqualität einfach umsetzen kann wurden durchgeführt und für eine schnelle Rückmeldung der Ergebnisse weiterentwickelt. Der Aufwand dafür gestaltete sich als zu hoch und die Ergebnisse als z.T. zu ungenau. Deshalb wurde zusammen mit einem Labor an einfachen, innovativen Untersuchungen hinsichtlich der biologischen Verträglichkeit von Kompost auf die Kulturpflanzen gearbeitet. Es wurde ein Teichlinsen- und Chromatographie-Test durchgeführt und die Abbaurate der Organik bestimmt.

- **Zeigt eine Kompostgabe Auswirkung auf die Bodennährstoffe, insbesondere den Humusgehalt?**

Durch Bodenprobenanalysen nach VDLufa konnte keine Anreicherung der Hauptnährstoffe P, K und Mg durch eine Kompostgabe von 10 t/ha nachgewiesen werden. Auch die KAK-Analysen zeigten keine Tendenz. Der Humusgehalt wurde in Annäherung über den C-Gehalt geschätzt; diese Messungen ergaben keine Aufschlüsse. Gleiches gilt für N-Gehalt, Nmin-Werte und pH-Werte.

- **Können Kompostgaben bzw. Komposttee Erträge erhöhen?**

In den Versuchsjahren 2016-2018 durchgeführte Praxisversuche mit unterschiedlichen Kulturpflanzen zeigte die Düngung mit Kompost, im Unterschied zu der mit

anderen Düngemitteln, mindestens eine gleichhohe, tendenzielle oder sogar signifikante Steigerung des Ertrages. Bemerkenswert war der Mehrertrag im Dürrejahr 2018, der durch den positiven Einfluss auf Bodenleben und -struktur zu erklären ist. Auch Kompostteegaben scheinen gerade in trockenen Jahren die Ertragsbildung von Kulturpflanzen zu fördern. Hier konnten innovativ signifikante Mehrerträge aufgezeigt werden.

- **Kann der Einsatz von Kompost durch humusschonende Bodenbearbeitungstechniken optimiert werden?**

Im Anbaujahr 2018 konnte durch das systematische Walzen nach jeder lockernden Bodenbearbeitung zu der Düngung mit ausgereiftem Kompost ein tendenziell höherer Ertrag beobachtet werden. Dagegen fixierte der 6 Wochen alte, noch nicht fertig gereifte Kompost Nährstoffe für seine weitere Rotte, wodurch kein Stickstoff an die Pflanze abgegeben wurde und damit auch kein Effekt auf den Ertrag vorlag. Signifikant positiv gesteigert werden konnte der N-Gehalt im Korn durch Walzen in der Variante ohne Kompost, negativ bei der Düngung mit jungem Kompost. Die innovative Kombination der Abfolge einzelner Bodenbearbeitungen ist weiter zu untersuchen.

- **Wirkt Pflanzenkohle als Zuschlagstoff zu einer Kompostdüngung ertragssteigernd?**

Weder der Ertrag pro Hektar noch der Stickstoffgehalt im Korn konnte durch Zugabe von Pflanzenkohle gesteigert werden. Die Kohle war entweder zu Beginn des Kompostierungsprozesses beigemischt oder als zusätzliche Gabe direkt auf die Ackerfläche ausgebracht worden. Bei direkter Ausbringung wurde der Stickstoffgehalt der Pflanzenkohle durch vorheriges Tränken mit Jauche erhöht.

B Eingehende Darstellung

B I. Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendungen des Projektes im Detail sind folgender Auflistung zu entnehmen:

Tabelle 2: „Projektbudget“

	Budget	abgerufene Mittel	Rest-Mittel
Bewilligungsbescheid 28.9.2015	194.311,18 €		
davon Leitung, Büropauschale und Öffentlichkeitsarbeit	31.737,30 €		
davon Durchführung	162.573,88 €		
Selbstanzeige	- 1.372,52 €		
Abzug MELUND	- 12.940,39 €		
Änderungsbescheid 11.6.2019 insgesamt max. Förderung	179.998,27 €	168.511,16 €	11.487,11 €

B II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

a) Ausgangssituation

Gesucht wurden praxistaugliche Kompostierungssysteme, besonders für ökologisch wirtschaftende Betriebe, die einen höheren Humusgehalt im Boden und höhere Erträge der Kulturpflanzen bewirken.

Zu diesem Zweck hatten Öko-Landwirte, die in Bezug auf die langfristige Steigerung ihrer Bodenhumusgehalte ungenügende Fortschritte bekundeten, bereits im Vorfeld

dieses Projektes den Arbeitskreis Humus gegründet, um ergänzend zu den klassischen Verfahren der Humussteigerung (Klee gras-, Untersaat- und Zwischenfruchtanbau), innovative Strategien zur Humusmehrung mit Unterstützung durch neue Kompostierungssysteme zu erarbeiten.

Als Ansätze wurden die betriebseigenen erzeugten Komposte sowie die Zusammenarbeit mit regionalen Kompostwerken gesehen. Die Anbauverbände Naturland und Bioland entwickelten in 2014 neue Richtlinien für den Einsatz von „Premium“-Komposten aus Bioabfällen aus der getrennten Sammlung aus Haushaltungen (Biotonne), neben dem schon lange erlaubten Einsatz von Grünschnittkomposten. Dadurch standen einer größeren Anzahl von ökologisch produzierenden Betrieben neue Komposte mit einem höheren N-Gehalt zur Verfügung.

Bisher gebräuchliche Verfahren der Kompostherstellung werden arbeitswirtschaftlich als zu zeitaufwendig und kostenintensiv angesehen, weil sie das mehrmalige Umsetzen der Kompostmiete mit Spezialmaschinen (Kompostwender) erfordern. Ein anderes und extensives Kompostierungssystem, das sogenannte „MC-Verfahren“ (Mikrobielle Carbonisierung), wurde von Dipl.Ing. Gartenbau Agrochemie-Ing. Walter Witte in Rendsburg 2013 vorgestellt, bedurfte aber praktischer Weiterentwicklung. Eine Dissertation war in der Zeit zu diesem Thema gestartet, die 2017 veröffentlicht wurde (Wonschik, Claus-Robert, 2017: „Mikrobielle Carbonisierung - Untersuchung und Bewertung von Verfahren und Produkt“).

Betriebseigener organischer Kompost, der zum Beispiel aus Wirtschaftsdüngern, Stroh und anderen Pflanzenernterückständen oder Grünschnitt besteht, wird ein hohes Potential zur Steigerung des Humusgehaltes und damit der Bodenfruchtbarkeit zugewiesen. Durch den Zuschlagsstoff Pflanzenkohle soll diese Humuswirkung noch erhöht werden. Sie speichert wichtige Nährstoffe, besonders Stickstoff, und schützt diesen so vor ungewolltem Auswaschen in das Grundwasser. Die Nährstoffe werden dann bei Bedarf an die Pflanzenwurzeln abgegeben. Ihre Wirkung auf die Erträge sollte untersucht werden.

b) Projektaufgabenstellung

Bisher wurden nicht immer durch eine Kompostgabe höhere Erträge der Kulturen beobachtet, und daher wurden systematische Erfassungen zu dieser Thematik erwartet. Für die Beurteilung der selbst erstellten Komposte hinsichtlich der erreichten Qualitäten sollten deshalb verschiedene Messmethoden erprobt werden, um die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften erfassen zu können. Als Ziel wurde ein Kompost gesehen, der die Erträge der Kulturpflanzen steigert und Huminstoffe für den Boden bereitgestellt.

Als weiteres Verfahren wurden aus den erstellten Komposten Auszüge als „Tees“ aufbereitet und zur profilaktischen Gesundheitsförderung der Kulturpflanzen eingesetzt. In diesem Verfahren werden die im Kompost vorhandenen Bakterien stark vermehrt, die dann zu bestimmten Wachstumsstadien der Kulturpflanzen ausgebracht werden. In den Niederlanden, Kanada, Neuseeland, Südafrika, Schweiz, USA und Österreich wurden mit diesem System positive Ergebnisse erzielt, in Deutschland war diese Art der Düngung bisher kaum verbreitet.

Das Ausbringungsmanagement der eingesetzten Komposte und die dazu passende Bodenbearbeitung sind weitere Erfolgsbausteine für nachhaltige Erträge der Kulturpflanzen. Einfache oberflächliche Verdichtung des Bodens durch Walzen nach jedem Bodenbearbeitungsgang soll zu einer Erhöhung des CO₂ Gehaltes durch eine geringere Ausgasung aus dem Boden und der Bildung von Kohlenstoffsäure im Boden sorgen. Die Versorgung der Pflanzen wird dadurch verbessert und die Tätigkeit der Mikroorganismen angepasst.

B III. Die OG in Bezug auf

a) Zusammenarbeit

Es erfolgte ein Starttreffen mit inhaltlichen Vorlagen durch den Leadpartner, die von den OG-Gruppenmitgliedern diskutiert und an ihre Bedürfnisse angepasst wurden. Im ursprünglichen Konzept war z.B. die Prozessbegleitung eines betriebseigenen Kompostes vorgesehen, bzw. die Verwendung eines zugekauften Kompostes, der dann auf eine Fläche ausgebracht werden sollte mit anschließender Erntebeprobung. Dies war praktisch nicht durchgängig möglich, da häufig eine Abfolge von unterschiedlichen Komposten auf einer Fläche erfolgte oder Komposte vor der Ausbringung gemischt wurden. Auch merkten Landwirte an, dass mit Messdaten erfasste Komposte auf die Kultur Klee gras ausgebracht werden sollten, zu der keine Ertrags-erhebung geplant war. Daher wurde die Untersuchung der Komposte unterteilt in den Prozessablauf und der Wirkung auf die Ernte.

Die OG-Mitglieder einigten sich auf ein Konzept, in dem sich jeder nach seinen Bedürfnissen einbringen konnte. So wollten von Beginn an einige Betriebsleiter keinen betriebseigenen Kompost herstellen, aber zugekauften Kompost zu Kulturpflanzen erproben, andere planten nur eine Kompostierung, aber keine Flächenversuche. Für die Ertragserhebungen wäre es sinnvoll gewesen, wenn ein zuordnungsbarer und mit Messdaten selbst erzeugter, begleiteter Kompost mit entsprechenden Ertragserhebungen auf eine definierte Fläche ausgebracht worden wäre. Dies konnte nur vereinzelt umgesetzt werden.

Um die Kosten im Projekt möglichst gering zu halten erhoben die OG-Mitglieder selber Temperaturdaten des Kompostierungsprozesses zu mindestens 30 Terminen und vermerkten diese in einem Kompostprotokoll. Der größte Anteil der Kompostproben wurden von den OG-Mitgliedern genommen und eingefroren an die Leadpartnerin weitergegeben, die sie in eine Kühlzelle der CAU Kiel transportierte. Diese Proben sollten jeweils zum Aufsetzen des Kompostes, nach 12 Wochen und zum Termin Ausbringen des Kompostes auf die Versuchsfläche erfolgen. Bodenproben und Ernteschnitte wurden in den meisten Fällen von der Leadpartnerin durchgeführt. Dr. Loges, CAU Kiel, und sein Team führten als wissenschaftliche Partner die meisten Analysen für dieses Projekt durch und bereiteten darüber hinaus Proben auf für die Weitergabe an andere Institute. Auch die statistische Auswertung wurde von der CAU unterstützt.

Die während des Projektablaufes auftretenden Fragen wurden einerseits auf den durchgeführten OG-Treffen besprochen, andererseits durch telefonischen Kontakt fortlaufend geklärt.

b) Mehrwert des Formates

Die Ziele des Projektes ergaben sich aus Ideen und Fragen, die nicht im bestehenden Arbeitskreis geklärt werden konnten. Schon vor der Antragstellung wurde Kontakt zu Wissenschaftlern gesucht, leider ohne Erfolg. Das EIP Projekt bot hier eine Plattform für die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern für ein erweitertes Netzwerk. Das Format der OG erlaubte einen thematisch bezogenen intensiven Wissensaustausch und das gemeinsame Entwickeln von Umsetzungsstrategien. Durch die Gruppentreffen konnten einzelne Fragestellungen intensiv erörtert und innovative Lösungen für die Prozesse in der Kompostierung und ihre Auswirkungen auf die Erträge gefunden werden.

c) Zukunft nach Projektende

Die OG-Mitglieder planen sich im Oktober dieses Jahres auf einem Treffen über die Projektergebnisse weiter auszutauschen. In welcher Form und Zusammensetzung die Gruppe zukünftig weiterarbeitet wird von den dort ermittelten neuen Fragen abhängen.

B IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes

a) Zielerreichung

Die zum Projektstart gesetzten Ziele wurden erreicht und es wurden zusätzlich neue Erkenntnisse gewonnen. Durch die Ergebnisse, die Mischungsverhältnisse, Arbeitsaufwand, Prozessablauf und Inhaltstoffe für die beiden untersuchten Kompostsysteme umfassten, konnten neue Orientierungswerte für die betriebseigene Kompostierung dem Landwirt vor Ort gegeben werden.

Die Kompostqualität ist entscheidend erstens für das kurzfristige Ziel einer Ertragssteigerung und zweitens für die langfristige Huminstoffbereitstellung im Boden. Die erstellten Temperaturvergleichskurven der untersuchten Kompostierungsverfahren unterstützen die Qualitätskontrolle der Verfahren.

Evtl. auftretende Mängel im fertig kompostierten Substrat waren mit der FTIR-Spektroskopie gut ersichtlich. Innovative, einfache Tests wurden entwickelt, die aber im Rahmen dieses Projektes nicht bis zur Praxisreife entwickelt wurden.

Die Gabe von Komposttee führte im Dürrejahr 2018 zu signifikanten Mehrerträgen der untersuchten Kulturpflanzen Hafer und Ackerbohnen. Die ausgebrachten Mikroorganismen reduzierten den Trockenstress für die Kulturpflanzen.

Eine Kompostdüngung von ca. 8-10 t/ha mit einem ausgereiften Kompost, selbst erzeugt oder zugekauft, bewirkte Mehrerträge. Empfehlenswert ist die Basensättigung des Bodens vor der Kompostdüngung im Blick zu behalten, insbesondere ein „zuviel“ an Calcium.

Vielversprechend war die verbesserte Bodenbearbeitung durch Walzen („Deckelung“), um mehr CO₂ im Boden zu halten.

b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Ursprünglich geplant waren Probenahmen zum Start/Aufsetzen der Komposte, nach 8 Wochen und zum Termin des Ausbringens auf die Ackerfläche. Dies wurde von den teilnehmenden OG-Mitgliedern so nicht umgesetzt, woraufhin in der Auswertung Proben bis 8 Wochen und ab 8 Wochen zusammengefasst wurden.

Die von den OG-Mitgliedern genommenen und eingefrorenen Kompostproben zeigten unterschiedliche Qualitäten: Von sehr gut für das Labor weiter zu verwenden, bis fehlende notwendige Angaben, die folglich nicht ausgewertet werden konnten. Die Ernteschnitte Ackerbohne 2016 wurden fälschlich eingefroren: von diesen Proben konnten keine Ertragshebungen durchgeführt werden, hier bestand einer der wenigen Kommunikationsfehler. Ebenso wie in zwei Fällen, in denen die Versuchsflächen vor den vereinbarten Terminen der händisch durchzuführenden Ernteschnitte gedroschen wurden. Auch konnten einzelne Versuche wegen widriger Rahmenbedingungen nicht geerntet werden, z.B. erfolgte eine vorzeitige Getreide-GPS Ernte, oder es lag ein zu ungleichmäßiger Feldaufgang vor (Dürrejahr 2018). Aber auch wegen zu hoher Niederschläge fielen Versuche aus, so war für Herbst 2017 ein Spinatversuch geplant gewesen.

Eine Sendung an ein externes Labor mit 59 Bodenproben für KAK-Analysen in die USA ging verloren. Die geplante Auswertung der KAK-Analysen konnte wegen unzureichender Rückstellmengen dieser Bodenproben daraufhin nur in einem reduzierten Umfang erfolgen.

Die Analyseergebnisse lagen, bedingt durch Laborengpässe in der CAU Kiel, z.T. zeitlich erst nach der Ausbringung des Komposts in der neuen Vegetationszeit vor. Dadurch konnten nur bedingt Änderungsempfehlungen zur Kompostierung und Einsatz auf dem Acker innerhalb des Projektes in der OG gegeben werden. Aus diesem Grund, als auch um in einer dritten Vegetationsperiode die Ernteergebnisse abzusichern, wurde das ursprüngliche Projektende vom 31.5.2018 auf den 31.3.2019 verlegt.

c) Projektverlauf

Das erste OG-Treffen wurde auf dem Betrieb Hof Dannwisch mit dem Betriebsleiter Frank Scholz durchgeführt.

Die geplanten Schritte für die Umsetzung des Projektes wurden mit den teilnehmenden OG-Mitgliedern abgestimmt. Es wurden insgesamt sieben Projekttreffen durchgeführt, jeweils auf einem der OG-Mitgliedsbetriebe und drei Fortbildungsveranstaltungen mit von den OG-Gruppe gewünschten Referenten. Alle OG-Mitglieder erhielten die Protokolle der Treffen, damit auch verhinderte Betriebsleiter auf dem aktuellen Stand waren.



Bild 1: Betriebsleiter Frank Scholz, Hof Dannwisch, 1. von rechts, erklärt Vorgehensweise der Kompostierung



Bild 2: OG-Mitglieder sahen sich Versuchsmiete an



Bild 3: Dr. Ralf Loges, OG-Mitglied und wissenschaftlicher - Partner demonstriert Möglichkeiten von Probenahmen



Bild 4: OG-Mitgliedertreffen Buschberghof mit Betriebsleiter Karsten Hildebrandt



Bild 5: OG-Mitgliedertreffen auf Betrieb von Henning Knutzen

Die Herstellung der untersuchten Komposte erfolgte von Projektbeginn bis Ende 2018 auf den beteiligten Betrieben. Sie wurden nach den beiden CMC- und MC-Verfahren erstellt.



Bild 6



Bild 7



Bild 8

Bild 6: beladen von Miststreuer mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialien,
Bild 7 und 8 Aufsetzen von MC-Mieten



Bild 9



Bild 10



Bild 11

Bild 9: 1,90 m hohe MC Miete wird von außen mit Radlader angedrückt
Bild 10: Material Holzhacksschnitzel, frisch und nicht verpilzt
Bild 11: MC Miete mit Kürbis bewachsen zur Kontrolle ausreichender Feuchte



Bild 12: MC mit Schweine-
mist auf Feuchte kontrolliert: da belüftet
ist o.k.



Bild 13: MC-Miete trocken,



Bild 14: MC-Miete zu naß



Bild 15: aufsetzen CMC Miete



Bild 16: Kompostwender



Bild 17: 14 Wochen alte CMC Miete



Bild 18: vergleichbare Stab-Kompostthermometer wurden für jedes OG- Mitglied angeschafft



Bild 19: Betriebsleiter kauften z.T. selber Kontrollthermometer



Bild 20: Betriebsleiter legten Versuche an

In den Jahren 2016, 2017 und 2018 wurden Feldversuche mit Kompostdüngungen durchgeführt.

Komposttee wurde in 2017 und 2018 erprobt, der Versuch 2016 wurde wegen Probleme mit der Ausbringung auf die Ackerfläche frühzeitig abgebrochen. In 2018 wurde die Optimierung der Bodenbearbeitung getestet.



Bild 21: Bodenprobenahme



Bild 22: Ernteschnitt in Hafer

Es wurden zu jedem Feldversuch Bodenproben im Juni genommen und Ernterhebungen per Hand in jeweils vier Wiederholungen durchgeführt. Für jeden Meterschnitt wurden immer zweimal $\frac{1}{2}$ m erfasst. Für die Ertragsberechnung pro ha wurde der Reihenabstand berücksichtigt.

Vereinzelt wurden Perkolatproben von MC-Mieten genommen.

Qualitätsmanagement (QM)



Bild 23: QM von Henning
Knutzen

Bild 24: Kutscheratest

Bild 25: Kressetest



Bild 26: Keimtest auf unterschiedlichen Komposten

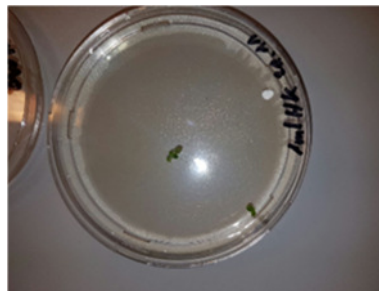


Bild 27: Test mit Teichlinsen

Zum Abschluss der Projektlaufzeit wurden von OG-Mitglieder ursprünglich vier gewünschte Referenten für Fortbildungsveranstaltungen eingeladen. Eine Veranstaltung musste leider wegen Krankheit des Referenten abgesagt werden. Näheres ist unter X. Kommunikations- und Disseminationskonzept zu finden.

d) Vorgehensweise und Ergebnisse

1. Kompostieren: Grundsätze

Organisches Abfallmaterial pflanzlicher und/oder tierischer Herkunft wird durch intensiven Ab- und Umbau von Mikroorganismen wieder in ein für Pflanzen verfügbares Substrat verwandelt: dieser Kompostierungs-Prozess wird von Landwirten und Kompostwerken eingesetzt, um die Nährstoffe wieder in den natürlichen Kreislauf zurück zu führen.

Im engeren Sinne wird Kompost als ein Produkt eines aeroben Vorganges definiert; es gibt auch „anaeroben Rottemist“, in der eine Fermentation stattfindet.

Für erfolgreiche Kompostierung sind viele physikalische und chemische Parameter zu berücksichtigen:

Sauerstoff- und Feuchtegehalt, Temperatur, Struktur und Dichte, C/N-Verhältnis und pH-Wert.

Auf dieser Grundlage produzieren Mikroorganismen die im Kompost gewünschten „Huminstoffe“.

Wie die Kompostierung grundsätzlich funktioniert und die o.g. Faktoren sie beeinflussen, ist gut nachvollziehbar im Abschlußbericht (1999-2001) der ITA mit dem Titel „Stickstoffverfügbarkeit von Komposten im Ökolandbau“ S. 15-33 erklärt.

i. Besondere Aspekte der Kompostierung

Die OG-Mitglieder diskutierten über den Stellenwert des Sauerstoffgehaltes während der Kompostierung:

- Ist für einen gelingenden Kompost der Prozess aerob oder anaerob zu führen?
- Kann der Vorgang des Rottens der Kompostmiete mittels einfacher Messungen, z.B. der Temperatur, verfolgt werden?
- Welchen Einfluss hat dieser Prozess auf den Huminstoff-Gehalt des Endproduktes?
- wie erklärt sich das in einigen Fällen ausbleibende Wirken der Kompostgabe?

Sauerstoffgehalt (O₂) in der Kompostmiete: aerober und anaerober Kompostierungsprozess

Weil in der Literatur unterschiedliche Auffassungen darüber mitgeteilt werden, muss der Sauerstoffgehalt (O₂) einer Kompostmiete besonders betrachtet werden. Eine Meinung ist, dass für einen geregelten Kompostierungsprozess durch laufende Sauerstoffzuführung aerobe Verhältnisse gewährleistet werden müssen. Die entgegenstehende Ansicht besagt, dass die Aktivität der Mikroben in der Miete dadurch angeregt würde und daher kurz nach dem Wenden bereits wieder anaerobe Verhältnisse vorliegen. Eine Umsetzung der Miete ist folglich nicht zwingend erforderlich, wenn eine ausreichende Porosität gegeben ist.

Jedenfalls gibt es innerhalb einer Kompostmiete anaerobe Zonen, gerade während der thermophilen Phase.

Der Bedarf an Sauerstoff verändert sich während der Kompostierung.

Zusammenfassend betrachtet werden aerobe Bedingungen für die Kompostierung erreicht, indem gleichzeitig die Struktur des Ausgangsmaterials, Größe und Form der Miete, deren Ausrichtung in Bezug auf die Hauptwindrichtung und deren Wassergehalt beachtet wird.

Temperatur

Frisches organisches Material durchläuft bei der aeroben Rotte charakteristische Temperaturstadien, sofern günstige Bedingungen gegeben sind:

- die mesophile Phase (Temperaturanstieg bis ca. 50 °C)
- die thermophile Phase (Phase hoher Temperaturbereiche, bis max. 70 °C)
- die Abkühlungsphase

Wesentliche Akteure dieses Prozesses sind Mikroorganismen: Bakterien (Einzeller), Aktinomyzeten (fädenbildende Bakterien) und Pilze. Der mikrobielle Abbau der organischen Substanz durch Kompostierung ist ein exothermer Prozess und führt zu einer Selbsterhitzung. Umgekehrt lässt sich von der Temperaturentwicklung in den Mieten Rückschlüsse auf die mikrobielle Aktivität bzw. das Rottestadium ziehen.

Oberhalb von Temperaturen über 65-70°C nimmt die mikrobielle Aktivität stark ab, Stickstoffverluste nehmen zu. Optimale Abbauraten wurden bei Temperaturen von 55°C ermittelt, unter 65°C wurde ein starker Celluloseabbau gefunden.

Generell laufen alle mikrobiellen Umsetzprozesse bei erhöhter Temperatur beschleunigt ab, was natürlicherweise im Mietenkern eher zu erwarten ist, bei steilem Rückgang zu den Randbereichen hin.

Daher hat das Oberflächen-/Volumenverhältnis Einfluss auf die Mietentemperatur.

Huminstoffe im Kompost

Kompostierung kann nicht als Humifizierung im engeren Sinne bezeichnet werden, weil diese erst im Boden (Ton-Humus-Komplex) bei geringeren Temperaturen mit anderer Mikroflora und diversen Bodenkomponenten abläuft. Begünstigt durch länger dauernde Bio-Aktivität, in der aerobe Milieubedingungen sich mit anaeroben Phasen

abwechseln, entstehen dabei Humusvorläufer, die Huminstoffe. Eine zu intensive Belüftung fördert eine Mineralisierung. Lignin kann die Huminsäurebildung unterstützen.

Wirkung von Kompostdüngung auf den Ertrag der Kulturpflanzen

Hat ein Kompost seine aktive Phase abgeschlossen, d.h. es liegen nach der thermophilen Phase gleichbleibende Temperaturen vor, dann wird er als stabil bezeichnet. Ein stabiler Kompost entwickelt sich dann über die Zeit weiter, als steigender Reifegrad benannt.

Die Düngewirkungen der einzelnen Komposte fallen daher nach dem Ausbringen zu den Kulturpflanzen unterschiedlich aus:

Ein noch aktiver, instabiler Kompost verursacht eine Festlegung von Nährstoffen im Boden: dies wirkt ertragsmindernd auf die Kulturpflanzen.

Dagegen zeigt ein stabiler und kaum gereifter Kompost ein verhältnismäßig hohes Potential Stickstoff zu mineralisieren: dies wirkt sich ertragssteigernd auf die Kulturpflanzen aus. Diese Komposte wurden hauptsächlich in dem hier vorgestellten EIP-Projekt eingesetzt.

Bei einem stabilen und stark gereiften Kompost wiederum wird verhältnismäßig wenig Stickstoff freigesetzt. Im ersten Düngejahr sind kaum Ertragsersteigerungen der Kulturpflanzen zu erwarten, sondern erst über mehrere Jahre, u.a., da das Bodenleben positiv beeinflusst wird.

Bei einem Rottemist handelt es sich um eine Fermentation, nicht um eine Kompostierung. Die Fermentation ist ein sehr langsamer biochemischer und biologischer Umbauprozess: ein ca. ein Jahr alter Rottemist hat etwa die gleichen Eigenschaften hinsichtlich des Kohlenstoff- und organischen Substanzabbaus wie ein ein Monat alter sieben-mal umgesetzter Kompost. Das Ende der Fermentationsphase liegt bei einem bis zu anderthalb Jahren nach dem Aufschichten. Ist der Rottemist noch aktiv, so legt er Stickstoff im Boden fest, ist er stabilisiert, so enthält er eine hohe Konzentrationen mineralischen Stickstoffs, da keine Huminstoffe gebildet wurden.

ii. Vorstellung Kompostierungssysteme CMC und MC

Die angelegten Mieten wurden aufgliedert in zwei Kompostierungsverfahren:

CMC (Controlled Microbial Composting)-Verfahren nach Lübke/Hildebrandt

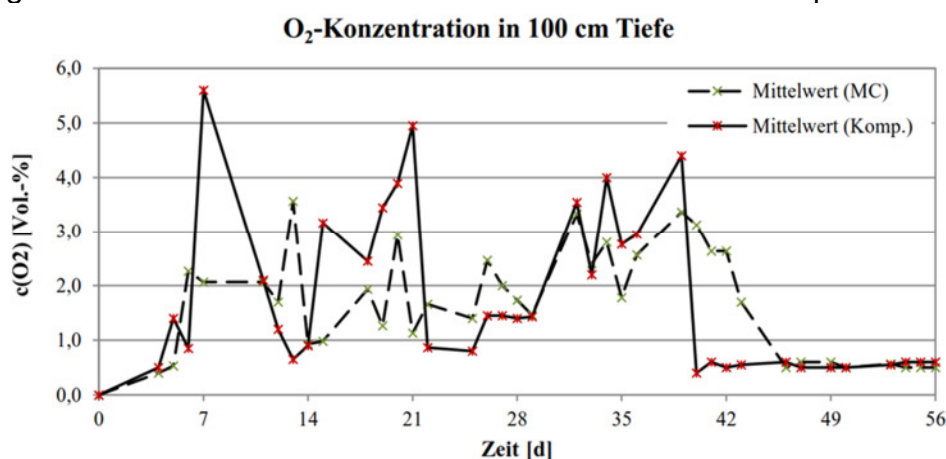
Das bewährte CMC Kompostierungssystem, nach Lübke/Hildebrandt aus Österreich, hat als Ziel anaerobe Prozesse zu verhindern. Gewährleistet wird dies z.B. mit der Messung der Temperatur, die zu Beginn für die Hygienisierung auf 50-65°C ansteigen soll. Ebenfalls wird der CO₂ Gehalt im Kompost bestimmt: steigt der CO₂-Gehalt, dann wird die Kompostmiete mit einem Kompostwender umgesetzt, um einen ausreichenden Sauerstoffgehalt zu gewährleisten. Dies kann zu Beginn eine fast tägliche Umsetzung bedeuten. In der Praxis werden die Mieten oft nur 3-malig umgesetzt. Deshalb wird in diesem Projekt von „CMC-System“ gesprochen, da betriebsindividuelle Abweichungen in der Häufigkeit der Umsetzung etc. vorliegen. Das CMC-Verfahren bedeutet eine gute Prozesssteuerung, aber auch einen höheren Aufwand an Maschineninvestition (Kompostwender) und Arbeitszeit (mehrmaliges umsetzen der Miete). Die Mieten sollen mindestens 8 Wochen kompostieren.

MC (Mikrobielle Carbonisierung)-Verfahren nach Witte

Das im Vergleich dazu extensiver arbeitswirtschaftlich einzustufende MC-System wurde von Dipl.Ing. Gartenbau Agrochemie-Ing. Walter Witte auf einem Vortrag 2013

in Rendsburg vorgestellt. Bei diesem Kompostierungssystem wird die Kompostmiete nur einmalig aufgesetzt und es darf kein neues Material auf das schon kompostierende Material gelangen, da phototrophe Bakterien eine wichtige Rolle für den Start der Kompostierung spielen. Auch darf die Miete nicht weiter für die gelingende Umsetzungs- und Aufbauarbeit der Mikroorganismen bewegt werden. Es soll ein anaerobes Milieu für eine Milchsäuregärung entstehen, da nur unter diesen Bedingungen Huminstoffe gebildet werden. Für diesen Prozess wird die Außenschicht leicht angedrückt, um einen zu hohen Sauerstoffeintrag in die Miete zu verhindern. Den Bakterien schreibt Walter Witte dabei eine wichtige Funktion für den Aufbau dieser Stoffe zu. Deshalb sollte die Temperatur $< 50^{\circ}\text{C}$ liegen, damit die Mikroorganismen für den Huminstoffaufbau aktiv bleiben.

Zu diesem MC-System wurde eine Dissertation von Claus-Robert Wonschik 2017 veröffentlicht: Die Untersuchungen zeigen, dass die Endsubstrate der Mikrobiellen Carbonisierung eine hohe Kohlenstoffeffizienz von etwa 90 Prozent aufwiesen. Aerob behandelte Kompostmieten besaßen im Gegensatz dazu eine Kohlenstoffeffizienz von 40 bis 60 Prozent. Allerdings büßten die MC-Komposte nach etwa einem halben Jahr an Stabilität ein und begannen langsam weiter zu mineralisieren. Als weitere positive Eigenschaft zeigen die MC-Komposte mit den höheren Kohlenstoffgehalten im Vergleich zu konventionellen Komposten ein höheres Wasserhaltevermögen. In Bezug zu den übrigen Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, Phosphor und Schwefel wurden keine signifikant höheren Konzentrationen in den MC-Komposten im Vergleich zu den konventionell erzeugten Komposten festgestellt. Hinsichtlich der Seuchen- und Phytohygiene wurden die MC-Substrate nach einer achtwöchigen Behandlung als unbedenklich eingestuft und hielten die Vorgaben der Bioabfallverordnung bezüglich der Prüfkriterien und Indikatororganismen ein. Aus Vorsorgegründen wurde eine zwölfwöchige Behandlung empfohlen, da die physikalischen Hygienisierungsfaktoren der Bioabfallverordnung, im speziellen die Temperaturführung, nicht eingehalten wurden. Dies ist im Wesentlichen auf die mesophilen Prozessbedingungen bei der Mikrobiellen Carbonisierung zurückzuführen. Der im Rahmen der Dissertation durchgeführte Pflanzversuch zeigte Vorteile der Anwendung von MC-Kompost: der Biomassezuwachs von Maispflanzen lag mehr als dreimal so hoch wie bei konventionellem Kompost.



Grafik 2: Aus Dissertation von Claus-Robert Wonschik 2017: O₂-Konzentration in 100 cm Tiefe

Die grundlegende Frage nach dem O₂ Gehalt in den MC-Mieten im Vergleich zu mehrmals gewendeten und damit belüfteten Mieten ist der Grafik 2 aus der Dissertation von Claus-Robert Wonschik zu entnehmen: Es wurde gemessen, dass die O₂-Gehalte im Durchschnitt in beiden Mietensystemen vergleichbar waren. Als

Ursache wird die Erhöhung der Schüttdichte durch die mehrmaligen Umsetzungsvorgänge der Substrate gesehen. Ein weiterer Grund für die vergleichsweise niedrigen Sauerstoffgehalte in den mehrmals gewendeten Komposten ist die vorliegende Biozönose, die auf Sauerstoff als Oxidationsmittel angepasst ist. In der Praxis wurde vor Beginn dieses EIP-Projektes in einem Versuch das MC-System erprobt, wobei Festmist mit geringem Anteil Holzhackschnitzeln wie zur Silageherstellung mit Schlepperreifen sehr gut rückverdichtet wurde. Das gemischte und stark rückverfestigte Material entwickelte keine höhere Temperatur als die Umgebungstemperatur und zeigte auch nach 4 Monaten keine Verrottungsanzeichen.

Für eine gelingende MC Kompostierung muß folglich ein lockeres Material mit ausreichend Struktur für einen ausreichenden mieteninternen Gasaustausch vorliegen. Nur die Außenseiten werden u.a. für eine zu hohe Verdunstung der Miete rückverdichtet. Eine ausreichende/nicht zu hohe **Feuchte** stellt in diesem System eine größere Herausforderung als im CMC-System da: sie muss während des gesamten Kompostierungsprozesses erreicht werden, damit der Prozess nicht stoppt.

Mit einem Wassergehalt im Bereich von 30-70 % (optimal 50%) finden aerobe Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen statt, die einerseits nur aus wässriger Lösung Nährstoffe aufnehmen können und andererseits Sauerstoff benötigen. Der Wassergehalt ändert sich während des Kompostierungsprozesses ständig, da z.B. durch Abbau organischer Substanz Wasser freigesetzt wird. Durch ein hohes Luftporenvolumen wird die Verdunstung gefördert, durch nasses, strukturschwaches Material gehemmt.

Fazit

Die CMC- (Lübke/Hildebrandt) und MC- (Witte) Verfahren erscheinen auf dem ersten Blick gegensätzlich, da die CMC-Kompostierung als ein aerober Vorgang benannt wird (laufend nach Bedarf Sauerstoff durch Umsetzen der Miete eintragen), das MC-System dagegen als anaerober Prozess (einmal Material aufsetzen, von außen rückverfestigen) benannt wird. Praktisch umfassen während des Kompostierungsprozesses beide Verfahren aerobe und anaerobe Phasen.

In der Definition der klassischen Kompostierung (CMC) als „nur aeroben Vorgang“ wird eine höhere Mineralisierung in Kauf genommen, um ein Endsubstrat zu erhalten, in dem Pflanzen ohne noch störende Abbauprodukte direkt wachsen können.

Im Endprodukt der MC-Kompostierung sind die Strukturteile, je nach Ausgangsmaterial, noch deutlich zu sehen (z.T. Aussehen eines Rottemistes).

Beide Systeme haben ihre Berechtigung: im CMC-System kann in den Prozess definiert durch Umsetzen eingegriffen werden, wenn die Kompostierungsbedingungen nicht optimal sind (Temperatur, Feuchte, Sauerstoffgehalt).

Im MC-Verfahren können gute Kompostergebnisse erreicht werden, wenn das Mietenmaterial ausreichend Struktur und Hohlräume für einen Mindestsauerstoffgehalt und auch Feuchte enthält. Eine reine Fermentation bedeutet einen sehr langen Zeitraum der Umsetzung (> ein Jahr).

Weitere Informationen sind im Anhang dem „QM Leitfaden für CMC- und MC-Kompost“ zu entnehmen.

Eine gelingende Kompostierung ist daher komplex und es können viele Fehler gemacht werden!

Für die Praxis sind wichtige Punkte:

- Zerkleinern: je größer die Oberfläche des Materials ist, desto besser/schneller können Mikroorganismen dieses umbauen
- Mischen: je homogener die Einzelkomponenten gemischt sind, desto gleichmäßiger läuft der Kompostierungsprozess ab, der Einsatz unterschiedlicher, sich ergänzender Komponenten versprechen Stabilität (C:N Verhältnis)
- Prozessführung: der Kompostierende hat sich für eines der Kompostierungsverfahren zu entscheiden und entsprechende Rahmenbedingungen zu schaffen
- Prüfen: Prozess über Temperatur und Feuchtigkeit prüfen; Endprodukt auf biologische Wertigkeit kontrollieren

2. Ergebnisse zu Kompost

Um die Prozessvorgänge während der Kompostierung zu erhellen, wurden die Inhaltstoffe der unterschiedlichen Kompostierungssysteme in unterschiedlich altem Material untersucht. Die verwendeten Ausgangsmaterialien als Mischungskomponenten wurden benannt und ihr prozentualer Anteil geschätzt, die für die betriebseigene Komposte eingesetzt wurden.

Der Trockenmassegehalt, pH-Wert, der gesamte C- und N-Gehalt und daraus abgeleitet das C/N Verhältnis wurden ermittelt.

Die Temperaturentwicklung begleiteten OG-Mitglieder intensiv in 45 erfassten Kompostvarianten durch durchgeführte Messungen. Mit Hilfe einer FT-IR Spektroskopie wurden ausgewählter Kompost- und Bodenproben detailliert charakterisiert. Eine mikroskopische Analyse auf das Vorkommen von Mikroorganismen rundete die wissenschaftliche „Kompost-Beleuchtung“ ab.

i. Ausgangsmaterialien, verwendete Mischungen

Für das System CMC wird eine ausgewogene Mischung von unterschiedlichen Ausgangskomponenten empfohlen. Es wird für eine stabile Kompostierung eine gute Mischung die Ausgangssubstrate gefordert: z.B.

fein aufgefaserter Strauchschnitt als **Kohlenstoff-Lieferant**, keine Sägespäne!, Grünzeug wie Grasschnitt als **Stickstoff-Lieferant**, Ton- oder lehmhaltige Erde, kein zu sandiger Boden (notwendig für die Ton-Humus-Komplexbildung), alternativ Bentonit; **Kompost-Erde** mit bereits gut entwickelter, aerober Mikroflora (Pilze und Bakterien) **als Impfung**; sie helfen, den Abbau der organischen Masse und anschließenden Humusaufbau optimal in Gang zu bringen. Dieser Anteil reifen Kompostes hilft auch durch seine Speicherfähigkeit bei der Feuchtigkeitsregulierung in der neu aufgesetzten Miete.

Zur Aufsetzung einer Miete nach dem System MC nach Auskunft Herr Witte (Vortrag 2013) ist **fäulnisgeeignetes** mit **ligninhaltigem** Substrat einmal zu mischen, von außen rückzuverfestigen und folgend liegen zu lassen.

An **ligninhaltigen Substanzen** sind max. 50-80% für die Gesamtmiete zu verwenden. Dafür können als Rohstoffe Stroh (Weizen enthält 6% Lignin, Hafer und Gerste ca. 2%), Hackschnitzel, Schilf und Spelz eingesetzt werden. Silage ist schon vergoren und kann daher für die Mikrobielle Carbonisierung nicht eingesetzt werden.

Fäulnisfähige Substanzen sind hier als eiweißhaltiges Material definiert. Es ist mit max. 20-50% für die Gesamtmiete zu verwenden.

Rohstoffe sind junges, zartes Klee gras, Mist: davon Kot und Harn = Jauche oder Gülle, Biogasgülle, Hühnertrockenkot (HTK)

Eine „**fertige Backmischung**“ stellt Mist mit mindestens 50% Strohanteil dar.

Im Projekt wurden diese „fertigen Backmischungen“ mit zu 100% von einem Ausgangsmaterial (Rindermist, Pferdemit) nur in drei der intensiv untersuchten

Komposten erprobt. In allen anderen Kompostmieten wurden unterschiedliche Ausgangsmaterialien zusammengemischt.

Tabelle 3: eingesetzte Ausgangssubstrate

wenn Ausgangsmaterial eingesetzt, dann	Min	Max
verwendetes Material in Volumen%	Volumen %	Volumen %
Rindermist-Tieflaufstall 800kg/m ²	26	89
Rindermist-Tretmist	10	100
Pferdemist	10	100
Hühnermist	3	33
Schafmist	48	48
Ziegenmist	10	20
Biologasärssubstrat, viel Klee gras, wenig Rindermist	40	40
Unkrautsamen/Kaff aus Getreidereinigung	2	70
Schweinemist 800kg/m ²	9	98
überständiges Gras / Franzosenkraut	7	13
Grasschnitt	2	14
Grasschnitt jung	18	18
Heulage	1	6
Weizenstroh	1	1,7
Haferstroh	6	6
Dinkelspelz	2	2
Holz hackschnitzel 350kg/m ²	1	14
Grünschnitt z.T. von öffentlicher Sammelstelle	3	31
Erde 2000kg/m ²	5	12
alter Kompost	2,7	26
Jauche Rind	8	8
Molke	0,1	0,1
Pflanzkohle	10	10
Gesteinsmehl	vorab im Stall auf Mist	
Demeter Präparate	ja auf Demeterbetrieben	
Plocher	vorab im Stall auf Mist	
Pfeifer-Lübke-Starter+ Wasser	8	8

Es wurden folgende Ausgangssubstrate für die untersuchten Kompostmieten erfasst:

Dreieck in Spalte bei Max oben rechts: dieses Ausgangsmaterial wurde jeweils nur in einer Kompostierung eingesetzt.

Hier ein Beispiel für eine Kompostmischung nach System CMC:

- 47% Rindermist,
- 32% Schweinemist,
- 10% Holz hackschnitzel
- 2% Stroh
- 7% Erde
- 2% reifer Kompost

Beispiele System MC:

- 100% Schweine- oder
- 100% Rindermist;

- 67% Rindermist
- 33% Hühnermist

Wichtig ist bei dem Einsatz der einzelnen Komponenten, dass z.B. auf dem Mistlagerplatz gesammeltes Material nicht schon so alt ist, dass keine Rotte mehr starten kann. In diesem Fall wird die Miete nach dem MC-System nicht die gewünschte Temperatur von mindestens 35°C erreichen.

ii. Prozess der Kompostierung

Jahreszeitliche Verteilung des Aufsetzens der Kompostmieten

Die äußeren Rahmenbedingungen wie hohe Niederschlagsmengen und langanhaltende Winde mit sehr niedrigen Temperaturen nehmen ggf. Einfluß auf die Kompostierungsprozesse. Deshalb wurden die Aufsetztermine der Kompostmieten den Kalendervierteljahren zugeordnet.

Die 46 intensiv durch Aufnahme der Temperaturen und Mischungsverhältnisse begleiteten Mieten waren über das ganze Jahr relativ gleichmäßig verteilt aufgesetzt worden. Lediglich der Anteil der CMC Mieten im ersten Kalendervierteljahr war etwas unterdurchschnittlich vertreten.

Tabelle 4:
Verteilung Aufsetz-
termine der
Kompostmieten
über die
Vegetationszeit
Aufsetzen einer
Kompostmiete nach dem CMC-Verfahren

Komposte aufgesetzt ab 3. KVJ 2015 bis 2. KVJ 2018				
die intensiv begleitet wurden				
Anzahl Mieten	1.KVJ	2.KVJ	3. KVJ	4.KVJ
gesamt	10	14	13	8
davon CMC	2	8	5	3
davon MC	8	6	8	5

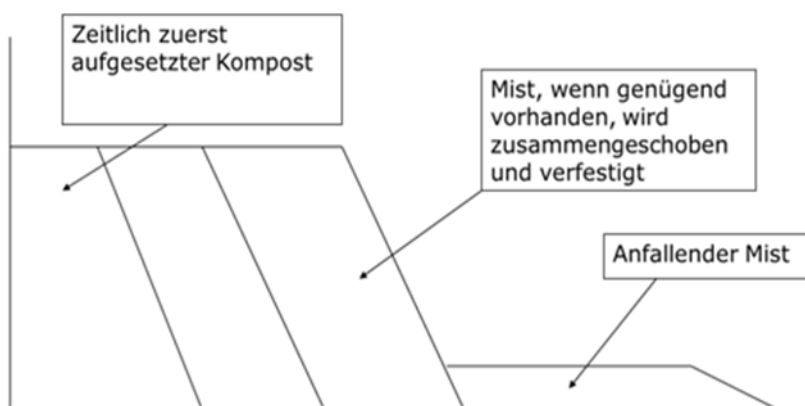
Meist wird eine Schicht Stroh auf den zukünftigen Mietenplatz, z.B. von einem Strohballen, ausgerollt, dann werden die einzelnen Ausgangsmaterialien mit Kippern auf den mit Stroh markierten Mietenplatz abgeladen und ggf. weiter mit dem Frontlader gleichmäßig verteilt. Alle Materialien werden dann durch den Kompostwender gemischt, ggf. ist für das erste Mal Wenden eine zweite Durchfahrt für ein gutes Mischungsergebnis notwendig. Oft sind Kompostwender mit einem Tank und Sprüheinrichtung ausgestattet: wird das Kompostmaterial zu trocken, so kann die notwendige Flüssigkeit zugeführt werden. Auch weitere kompostfördernde Zusatzstoffe (z.B. Präparate, spezielle Mikroorganismen) können so zugefügt werden.

Aufsetzen einer Kompostmiete nach dem MC-Verfahren

Die gesammelten Ausgangsmaterialien sollen auch in diesem Verfahren möglichst homogen gemischt werden. Betrieblich wurde öfters dafür ein Frontlader eingesetzt. Dies ist nur für schon vorher homogene Substrate ausreichend, wie z.B. gut gemischter Rindermist. Sonst wurde die erzielte Homogenität als ungenügend eingestuft.

Für eine akzeptable homogene Durchmischung der Einzelkomponenten haben sich Düngerstreuer mit waagrecht liegender Mischwalze bewährt, die nur so langsam vorwärtsfahren, bis die gewünschte Mietenhöhe erreicht wird. Die Düngerstreuer als solche werden mit einem Frontlader beschickt, der abwechselnd die einzelnen Komponenten auflädt, z.B. abwechselnd sechs Schaufeln Rindermist, zwei Schaufeln Hühnermist und eine Schaufel Holzhackschnitzel.

War auf dem Betrieb ein Kompostwender vorhanden, so wurde auch dieser eingesetzt, um die einzelnen Ausgangsmaterialien gut zu mischen. Anschließend wurden die gemischten Komponenten in die gewünschte Form mit einem Frontlader, Bagger oder Radlader gebracht.



Grafik 3: Bei einer „fertige Backmischung“, wird der anfallende Frischmist auf der Mistplatte (max. 2-3 Wochen) gesammelt, bis genügend Material vorhanden ist. Anschließend wird er mit dem Frontlader hochgeschoben, ohne dass frisches

Material über den schon aufgesetzten Abschnitt fällt. Dies kann als einmaliges Umsetzen gewertet werden. Nachfolgend wird mit dem Frontlader die Außenschicht angedrückt. Liegen weitere Ausgangsmaterialien, wie Gemüsereste, Holzhack-

schnitzel, etc. vor, so sind alle gut zu homogenisieren: z.B. sind die unterschiedlichen Materialien wechselweise mit dem Frontlader auf einen Miststreuer zu geben, der dann eine Mischung durchführt.

.....iii. Arbeitswirtschaftliche Beurteilung der Systeme

CMC-Verfahren: das angesammelte Material ist homogen zu mischen und aufzusetzen. „Stressfaktor“ ist die neu zu beschaffende Technik eines Kompostumsetzers, die Investitionskosten bedeutet! Bisher steht kein Lohnunternehmer/ Maschinenring in Schleswig-Holstein für das Wenden von Kompostmieten zur Verfügung: in Österreich ist dies möglich, da landwirtschaftliches Kompostieren weiter verbreitet ist. Für die Anschaffung eines Gerätes ist die Entscheidung zu treffen, ob ein gebrauchtes Gerät mit entsprechenden Reparaturkosten oder ein Neukauf mit evtl. Lohnarbeit auf anderen Betrieben in das eigene Betriebskonzept passt. Zudem sind die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien für ein gutes Gelingen des Kompostierungsprozesses termingerecht vorrätig zu halten. Ein wiederkehrender arbeitswirtschaftlicher Aufwand entsteht durch die termingerecht durchzuführenden Umsetzungen.

Vorteil: der Prozess wird laufend kontrolliert und kann bei Bedarf korrigiert werden; nach ca. 8-10 Wochen der Kompostierung liegt ein Material vor, in dem Pflanzen sofort wachsen können.

MC-Verfahren: die angesammelten Komponenten sind homogen zu mischen und aufzusetzen.

„Stressfaktor“ ist die ggf. zusätzlich auf dem Betrieb einzuführende Miststreuer-Technik, die aber einfacher als ein Kompostwender zu organisieren ist. Auch hier sind alle Komponenten termingerecht für ein gutes Gelingen vorrätig zu halten, insbesondere ligninhaltiges Material ohne Pilzbesatz. Nach ca. 12 Wochen liegt kein „Kompost“ im Sinne von Pflanzenerde vor, sondern gut vorgerottetes Material, das sich besser als Mist streuen lässt; der Kompostierungsprozess kann leichter als bei dem CMC-Verfahren ungewollt stoppen, wenn die Miete innen zu trocken oder nass wird.

Vorteil: arbeitswirtschaftlich überschaubar, weniger Verlust von Kohlenstoff während des Prozesses

Tabelle 5: Arbeitswirtschaft, Kosten mit Kompostwender

Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³			Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³		
CMC-System: unterschiedliche Ausgangssubstrate			MC-System: unterschiedliche Ausgangssubstrate aufsetzen mit Kompostwender		
angenommene Maße für Miete	25 m lang, 2,70 m breit, 1,5 m hoch			25 m lang, 2,70 m breit, 1,5 m hoch	
Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt	Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt
mit Frontlader/Radlader Ausgangssubstrate jeweils auf Hänger aufladen, anschließend zum Mietenplatz fahren	Radlader mit Fahrer und Diesel ca. 60 €/h, Schlepper mit Kipper 8 to Zuladung, inkl. Mann und Diesel ca. 70 €/h; hofnahe Lage angenommen: 8 Fahren mit Kipper ca. 2 h =	260 €	mit Frontlader/Radlader Ausgangssubstrate jeweils auf Hänger aufladen, anschließend zum Mietenplatz fahren	Radlader mit Fahrer und Diesel ca. 60 €/h, Schlepper mit Kipper 8 to Zuladung, 70 €/h inkl. Mann und Diesel; hofnahe Lage angenommen: bei 60 to 8 Fahren mit Kipper ca. 2 h =	260 €
optional Feldmietenplatz vorab mit Stroh auslegen: Rundballen mit Ballenauflöser	MR-Satz Rundballenauflöser	16 €	optional Feldmietenplatz vorab mit Stroh auslegen:	MR-Satz Rundballenauflöser 4,10€ inkl. Diesel und	16 €

als Unterlage (alternativ kleine Mieten: Strohrundballen händisch abrollen)	4,10€ inkl. Diesel und AK/Ballen; 4 Rundballen		Rundballen mit Ballenauflöser als Unterlage (alternativ kleine Mieten: Strohrundballen händisch abrollen)	AK/Ballen; 4 Rundballen	
Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³			Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³		
CMC-System: unterschiedliche Ausgangssubstrate			MC-System: unterschiedliche Ausgangssubstrate aufsetzen mit Kompostwender		
angenommene Maße für Miete	25 m lang, 2,70 m breit, 1,5 m hoch			25 m lang, 2,70 m breit, 1,5 m hoch	
Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt	Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt
unterschiedliche Materialien werden in z.B. 3 Strängen als lange "Würste" nebeneinander abgelegt (z.B. 1. Strang Rindermist, 2. Strang Grünschnitt, 3. Strang Hühnermist mit altem Kompost und Erde) Kosten s.o., anschließend mit quer arbeitenden Frontlader/Radlader auf eine Miete zusammenschieben	Radlader mit Mann und Diesel ca. 60 €/h; ca. 1,5 h	90 €	Einmaliges aufsetzen: unterschiedliche Materialien werden von Kippern in z.B. 3 Strängen als lange "Würste" nebeneinander abgelegt (z.B. 1. Strang Rindermist, 2. Strang Grünschnitt, 3. Strang Hühnermist mit altem Kompost und Erde) anschließend mit quer arbeitenden Frontlader/Radlader auf eine Miete zusammenschieben	Radlader mit Mann und Diesel ca. 60 €/h; ca. 1,5 h	90 €
diese eine, zusammengeschobene 25 m lange Miete wird anschließend mit Kompostwender je nach Bedarf 1-3 mal gewendet: bis Material gut homogen gemischt ist	2 mal wenden zum Aufsetztermin mit Kompostumsetzer für ausreichende Homogenität: Kosten für Kompostwender bewegen sich in weiter Spanne, s. Exkurs Kompostwender, hier angenommen 30 cent/m ³ plus Schlepper Fahrer und Diesel 50 €/h, hier für 100 m ³ , 25 m Mietenlänge: zweimal insg. 2*1/2 h	110 €	diese eine, zusammengeschobene 25 m lange Miete wird dann mit Kompostwender sofort je nach Bedarf 1-3 mal gewendet: bis Material gut homogen gemischt ist.	2 mal wenden zum Aufsetztermin mit Kompostumsetzer für ausreichende Homogenität: Kosten für Kompostwender bewegen sich in weiter Spanne, s. Exkurs Kompostwender, hier angenommen 30 cent/m ³ plus Schlepper Fahrer und Diesel 50 €/h, hier für 100 m ³ , 25 m Mietenlänge: zweimal insg. 2*1/2 h	110 €
angenommen 3 mal weiteres Umsetzen mit Kompostwender	hier 3 mal weiteres wenden für gesamte Kompostierungszeit angenommen: mit 30 cent/m ³ (30 €/Umsetzen bei 100 m ³) plus Schlepper und Fahrer 50 €/h, für 100 m ³ 1/2 h	165 €	Anschließend wird die Oberfläche mit Frontlader/Radlader angedrückt und Miete in der gesamten Rottezeit nicht weiter bewegt	Radlader inkl. Fahrer und Diesel 60 €/h drückt Mietenoberfläche an: 1 h	60 €
Maschinen- und Arbeitskosten für 100 m ³ Start-Kompostmiete (durch Rotteprozess vermindert sich Gesamtvolumen)		641 €			536 €
wiederholtes Umsetzen mit Kompostwender: beim ersten wenden wird mehr Zeit benötigt, bei mehrmaligem umsetzen schneller; nach österreichischem System 4-7 mal Umsetzen/Woche); Kompostwender mit Tank für ggf. Flüssigkeit zugeben zu empfehlen: damit wird kontinuierlich ausreichende Feuchte im Kompost erreicht; Problem über Winter, wenn Miete durch Niederschläge zu nass wird: hier hilft Abdecken mit Kompostvlies.					

Tabelle 6 Arbeitswirtschaft, Kosten für MC-System mit Miststreuer, Frontlader/Radlader

Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³			Ausgangsannahme für Vergleich: Miete 100 m ³ , Substrat 0,6 to/m ³		
System MC: unterschiedliche Ausgangssubstrate aufsetzen mit Miststreuer			MC fertige Backmischung=strohhaltiger Rinder-Schweine- oder Pferdemist		
	14 m lang, 3,5 m breit, 2 m hoch			6 m lang, 5,5 m breit, 3 m hoch	
Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt	Arbeitsschritte	pauschalisierte Werte	€/Arbeits-schritt
mit Radlader ausreichend feuchte Ausgangssubstrate jeweils abwechselnd im gewünschten Mischungsverhältnis auf Miststreuer aufladen, anschließend wird Kompostmiete in hier angenommener hofnahen Lage erstellt	Radlader mit Fahrer und Diesel ca. 60 €/h: 2 h angenommen; Schlepper mit Miststreuer 6 to Zuladung (entspricht 10 m ³) inkl. Mann und Diesel, entspricht 10 Fuhren; 20 €/Fuhre	320 €			
optional Feldmietenplatz vorab mit Stroh auslegen:Rundballen mit Ballenauflöser als Unterlage oder Strohrundballen händisch abrollen		16 €			
Miststreuer wirft auf den gewünschten Kompostplatz die Ausbringmenge mit Seitenblech auf 3,5 m breite aus: Ausbringmenge variiert durch Fahrgeschwindigkeit des Zugfahrzeugs (hier: sehr gering) und durch die einstellbare Vorschubgeschwindigkeit des Kratzbodens (hier: hoch)	Kosten s. oben für Aufsetzen in "einer Fuhre" enthalten;		Auf Mistplatte ausreichend gesammeltes Ausgangssubstrat wird an dem Ort des Kompostierens zusammen-, bzw. hochgeschoben mit Frontlader/Radlader, vorher ggf. mit Jauche/Wasser/Gülle anfeuchten;	Radlader mit Fahrer und Diesel ca. 60 €/h: 1,5 h angenommen	90 €
Oberfläche fertiger Miete wird mit Frontlader/Radlader von außen angedrückt	Radlader inkl. Fahrer und Diesel 60 €/h drückt Mietenoberfläche an: 1 h	60 €	Oberfläche fertiger Miete wird mit Frontlader/Radlader von außen angedrückt	Radlader inkl. Fahrer und Diesel 60 €/h drückt Mietenoberfläche an: 1 h	60 €
Maschinen- und Arbeitskosten für 100 m ³ Start-Kompostmiete (durch Rotteprozess vermindert sich Gesamtvolumen)		396 €			150 €

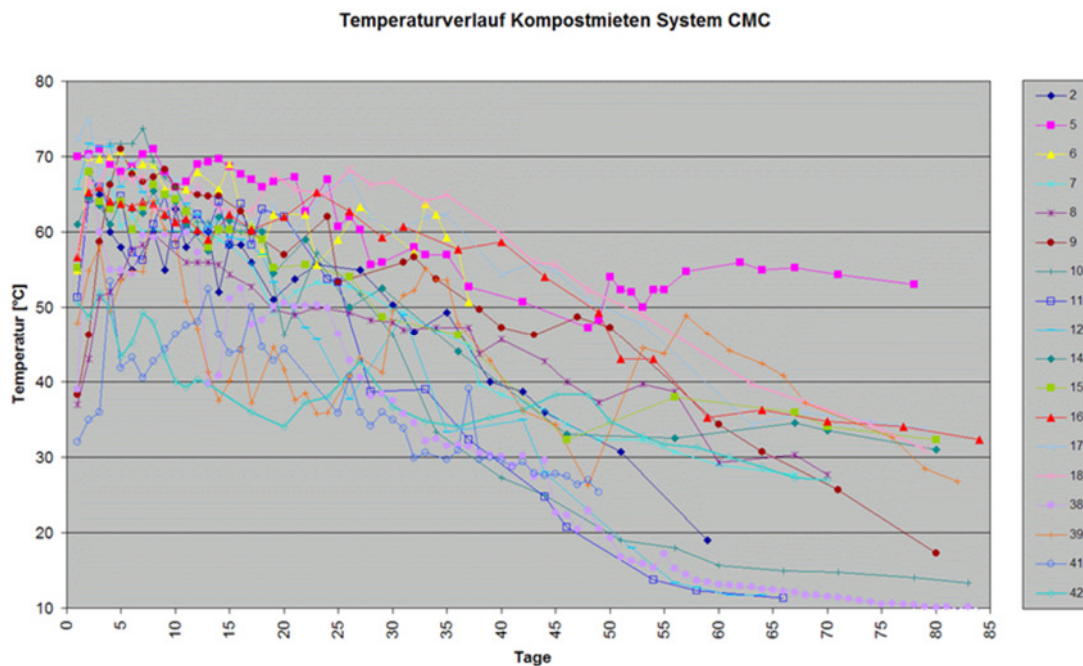
Fazit: am günstigsten arbeitswirtschaftlich ist eine „fertige Backmischung“ nach dem MC-System aufzusetzen, gefolgt von dem Einsatz mit Düngerstreuer als „Mischer“, wenn mehrere Komponenten vorliegen.

Wird die Miete mit einem Kompostwender aufgesetzt, egal ob für das MC- oder CMC- System, so sind die Vorbereitung und das erste Mal wenden (oft zwei Mal direkt aufeinander folgend, um eine ausreichende Homogenität zu erreichen) kostenintensiver. Die im CMC-System dann folgenden Kosten für das Umsetzen zu kalkulieren ist schwierig, da für eine kleinere Mietenbetreuung viel Rüstzeit für An- und Abbau des Kompostwenders an den Schlepper plus Fahrt zum Mietenplatz anfallen können. Zudem schwanken die Kosten des Kompostwenders extrem, je nach betriebsindividueller Situation.

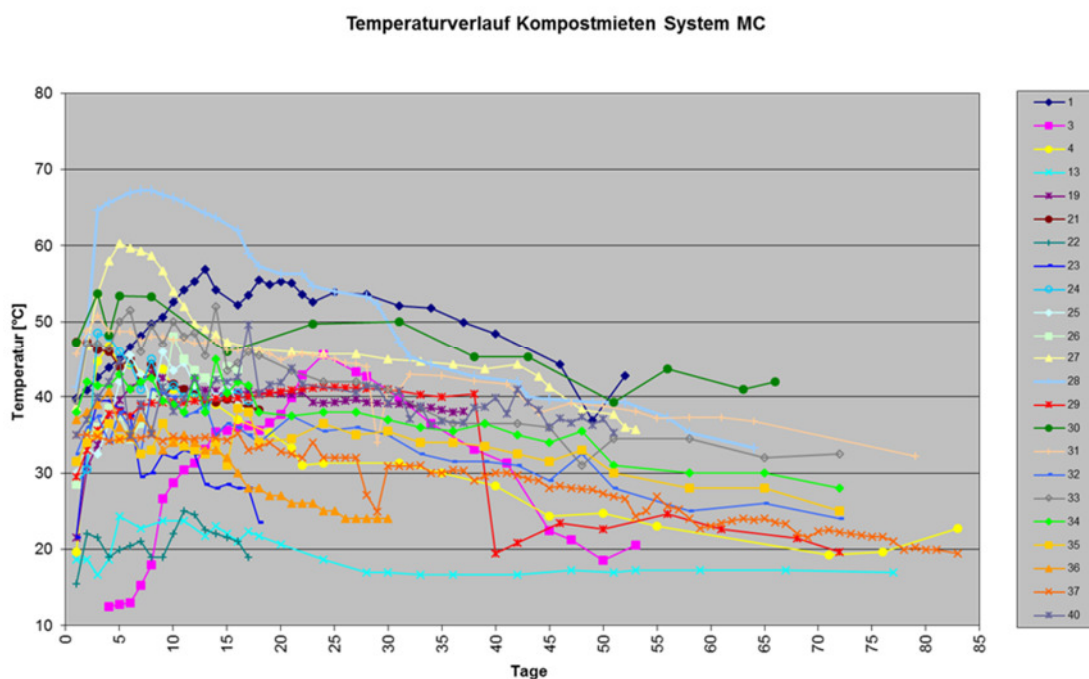
iv. Temperaturentwicklung während des Kompostierungsprozesses, Erstellung einer Temperaturvergleichskurve

Elf OG-Mitglieder protokollierten Temperatur-Messungen normalerweise von drei verschiedenen Stellen (vorne, mittig und hinten) von 45 betriebseigenen erstellten Kompostvarianten. Dies erfolgte in der ersten und zweiten Woche täglich, später im Abstand von drei Tagen und ab der achten Woche einmal wöchentlich. Im Allgemeinen wurden diese Daten über einen Zeitraum von 12 Wochen, also für 84

Tage, erhoben. Die aus den je drei Messstellen vereinheitlichten Daten sind in den folgenden beiden Grafiken gesondert für die zwei untersuchten Kompostsysteme dargestellt.



Grafik 4: Temperaturverläufe aller analysierten CMC-Mieten

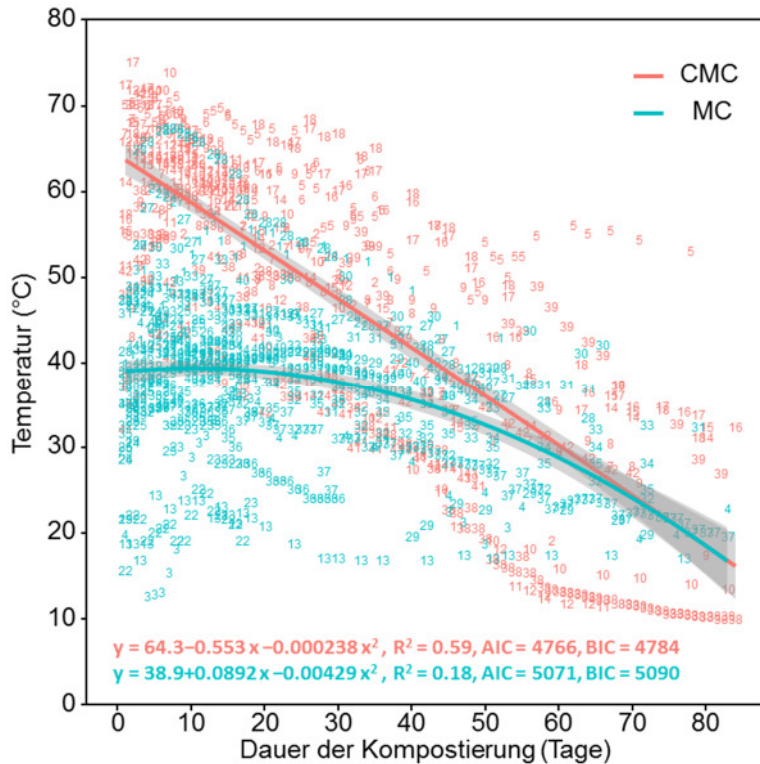


Grafik 5: Temperaturverläufe aller analysierten MC-Mieten

Diese Temperaturverläufe wurden statistisch ausgewertet und, wie aus der nächsten Grafik zu ersehen, mittels zweier quadratischer Polynom-Funktionen für die beiden deutlich unterschiedlichen Temperaturverläufe der Kompostsysteme approximiert, wobei sie nach etwa 10 Wochen praktisch in eins fallen. Für das System CMC lautet das Polynom der Approximationsfunktion $-0,000238x^2 - 0,553x + 64,3$, für das System MC entsprechend $-0,00429x^2 + 0,0892x + 38,9$.

Tool: Eigene Temperaturmessungen können mit der ermittelten Temperaturvergleichskurve für das CMC- und MC-System abgeglichen werden!

Diese Annäherungsformeln gestatten dem Praktiker den Vergleich seiner eigenen Messungen mit dem idealisierten Verlauf der Temperaturkurven für das jeweils von ihm gebrauchte System, entweder durch direkten Vergleich mit den Kurven der Grafik oder durch exakte Rechnung mit dem Taschenrechner gemäß folgendem

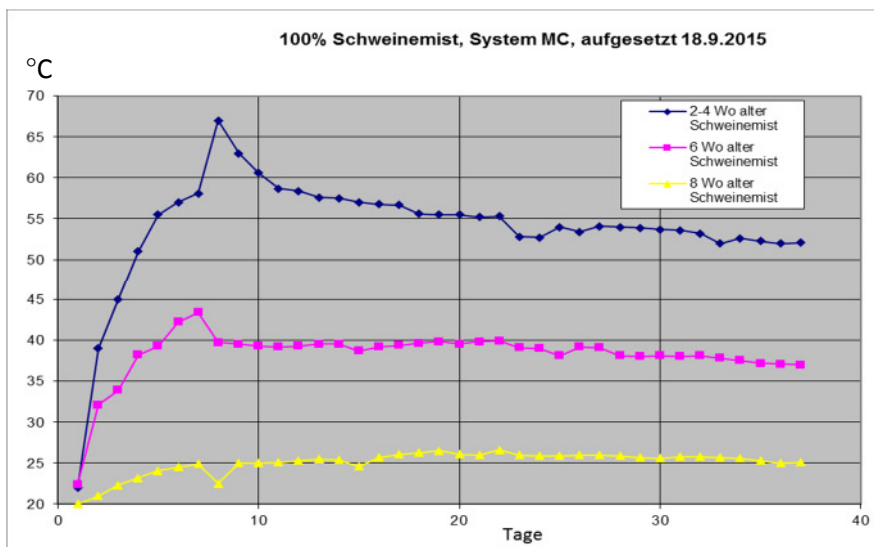


Beispiel: Um für seine Kompostmiete nach dem CMC-System die am **30. Tag** zu erwartende Temperatur zu ermitteln, würde er beim Einsetzen der 30 für die X-Variable der Formel den Ausdruck $-0,000238 * (30)^2 - 0,553 * 30 + 64,3$ erhalten, was ihm einen **Richtwert von 47,5° Celsius** liefert. In analoger Weise ergäbe sich für das MC-Kompostsystem eine Temperatur von $-0,00429 * (30)^2 + 0,0892 * 30 + 38,9 =$ **37,7° Celsius**, also einen um etwa 10° Celsius niedrigeren Richtwert. Das Einzeichnen seiner Messwerte in eine Grafik

Grafik 6: Temperaturvergleichskurve

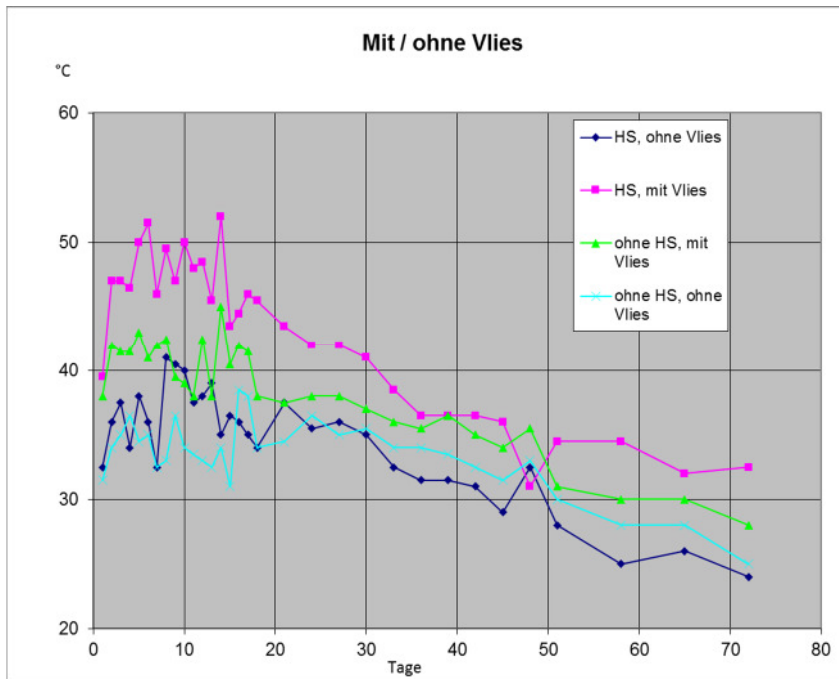
erlaubt ihm den unmittelbar anschaulichen Vergleich der Performance seiner eigenen Kompostmiete mit den Erwartungswerten gemäß den hier mitgeteilten Approximationen.

Temperaturverläufe Einzelbeispiele:



Grafik 7: 100% Schweinemist, MC-System: Die Miete wurde mit unterschiedlich altem Schweinemist von der Mistplatte beschickt. In dem Miststapel auf der Mistplatte rottete der ältere Mist schon vor. Dadurch konnte mit dem 8 Wochen alten Material keine höhere Temperatur

in der am 18.9.2015 aufgesetzte Miete erreicht werden. Sehr gut ist der umso höhere Temperaturverlauf zu sehen, desto jünger das fäulnisfähige Ausgangsmaterial war.



Grafik 8: In der am 8.6.2015 aufgesetzten Kompostmiete nach dem MC-System wurden vier unterschiedliche Varianten beprobt. Es wurde einmal eine Mischung mit Holzhackschnitzel: 53,3% Rindermist, 33% Schweinemist, 6,7% Holzhackschnitzel und 6,7% Erde verglichen zu einer Mischung ohne Holzhackschnitzel: 50% Rindermist, 43,8% Schweinemist und 6,3% Erde. Zudem wurde jeweils

die Hälfte jeder Variante mit einem Kompostvlies abgedeckt.

Wie zu erwarten, lag die Temperaturkurve in beiden Varianten mit der Vliesabdeckung höher als ohne.



Bild 28: Als Besonderheit zeigten alle MC-Komposte Hutpilze nach 9-15 Tagen, die nach ein paar Tagen wieder verschwanden.

v. Analytierte Inhaltstoffe der Komposte

Insgesamt wurden im Projektzeitraum 274 Kompostproben untersucht, 159 Kompostproben zu dem MC-System (davon 4 speziell zu „weißer Schicht“, s.u.), 97 zu dem CMC-System.

14 Kompostproben stammten von Kompostwerken, die die OG-Mitglieder erworben hatten. Ebenfalls wurden 29 Ausgangssubstrate analysiert, die für die betriebseigene Kompostierung eingesetzt wurden und 5 Perkolatproben.

Die Inhaltstoffe von pH-Werten, N, C und C/N Verhältnissen der betriebseigenen aufgesetzten Komposte sind in der Tabelle 5 neben den Werten aus RAL- Prüfzeugnissen für Grünschnitt und Biotonne zu finden. Es wurden für die betriebseigenen erstellten Komposte jeweils der Min-Max-Wert und der Durchschnitt ausgewiesen. Die große Bandbreite für die einzelnen Inhaltstoffe zeigt auf, wie unterschiedlich die einzelnen Kompostmieten zu bewerten sind. Die Durchschnittswerte für die betriebseigenen erstellten Komposte für den pH- und N-Wert sind vergleichbar mit den Werten der RAL-Grünschnittkomposte, C-Gehalt und das C/N Verhältnis fallen niedriger aus.

Tabelle 7: Vergleich Inhaltstoffe betriebseigen erstellter Komposte mit RAL Biotonne/Grünschnitt

	Einheit	bisher untersuchte Komposte des EIP-Projekt "Innovation Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit"			Beispiel RAL Kompost Jahreszeugnis 2017/18 Betriebsmittel für EU-Ökoverordnung (Nr.889/2008)	
		Min Wert	Max Wert	Ø	Grünschnitt	Biotonne
n=252						
pH-Wert	in FM	5,7	8,7	7,9	8,1	6,8
N	kg/t FM	2,0	12,9	5,4	5,2	8,2
C	kg/t FM	33	162	76	145	189
C/N		8	65	13	16	12

Die Auswertungstabellen listen zu den einzelnen Betrachtungen jeweils die Durchschnitts-, Min-, Max- und Medianwerte auf. In Tabelle 8 und 9 sind alle Werte von dem jeweils erfassten CMC- und MC-Kompostsystem zusammengestellt. Die in der Praxis geläufigen Werte sind grün unterlegt: einmal kg Stickstoff je Tonne Originalsubstrat und kg Kohlenstoff je Tonne Originalsubstrat. Zwischen beiden Verfahren lassen sich keine bemerkenswerten Unterschiede bezüglich der Inhaltstoffe feststellen. Die Schwankungsbreite der Min-Max Werte der unterschiedlichen Proben waren sehr ausgeprägt.

Tabelle 8: alle Kompostproben CMC-System

	Trockenmasse-gehalt TM in % der Frischmasse	pH-Wert im Frisch-substrat	Erd- bzw. Mineralanteil pr. Rohasche-Gehalt		Stickstoffgehalt (N total)			Kohlenstoffgehalt (C total)			C/N-Verhältnis
	% der Trockenmasse in der Frischmasse	ph Wert	% der Frischmasse im Originalsubstrat	% TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Stickstoff je Tonne Original-Substrat	% N in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Original-substrat	kg Kohlenstoff je Tonne Original-Substrat	% C in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	C-gehalt dividiert durch N-gehalt
Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC	Kompost System CMC
alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben
Durchsch	44,7	8,0	30,0	64,0	0,55	5,5	1,29	7,7	76,8	18,6	14,3
Min	21,2	6,1	2,0	4,5	0,29	2,9	0,51	3,3	33,0	6,0	7,8
Max	70,4	8,7	61,0	89,6	1,07	10,7	2,52	15,7	156,8	42,8	26,8
Median	44,0	8,0	30,6	69,1	0,50	5,0	1,19	7,3	72,6	17,2	13,4
n=	97										

Tabelle 9: alle Kompostproben MC-System

	Trockenmasse-gehalt TM in % der Frischmasse	pH-Wert im Frisch-substrat	Erd- bzw. Mineralanteil pr. Rohasche-Gehalt		Stickstoffgehalt (N total)			Kohlenstoffgehalt (C total)			C/N-Verhältnis
	% der Trockenmasse in der Frischmasse	ph Wert	% der Frischmasse im Originalsubstrat	% TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Stickstoff je Tonne Original-Substrat	% N in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Original-substrat	kg Kohlenstoff je Tonne Original-Substrat	% C in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	C-gehalt dividiert durch N-gehalt
Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC	Kompost System MC
alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben	alle Proben
Durchschnitt	34,0	7,8	19,3	52,1	0,53	5,3	1,72	7,8	78,4	25,7	15,5
Min	14,5	5,7	0,8	2,2	0,20	2,0	0,45	3,5	35,3	5,5	9,0
Max	70,8	8,7	63,7	89,9	1,29	12,9	3,92	16,2	162,0	46,6	65,4
Median	32,6	7,9	16,8	53,8	0,49	4,9	1,66	7,6	76,0	25,0	14,2
n=	155	15 Werte FM und pH-Wert nicht analysiert, diese Werte wurden in der Tabelle nicht verrechnet									

Erfolgreich durchgeführte Kompostierungsprozesse zeigten visuell spätestens nach 16 Wochen einen stabilen, ausreichend gerotteten Eindruck, wobei sie auch schon

nach ca. 8 Wochen ausreichend kompostiert sein konnten, je nach Prozessverlauf. Deshalb interessierte, ob die Inhaltstoffe in dem Zeitraum vor und nach 8 Wochen gravierende Veränderungen in den Absolutwerten von Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) und in ihrem C/N Verhältnis aufwiesen.

Veränderungen der Inhaltstoffe nach Alter der Kompostmieten

In den Auswertungen Grafik 3 bis 8 sind die Daten beider Verfahren jeweils untergliedert in Probenahmen aus Komposten, die jünger als 8 Wochen und älter als 8 Wochen waren. Im CMC-Verfahren waren die Proben jünger als maximal 5,7 Wochen, im Verfahren nach System Witte maximal 6,6 Wochen, da sonst mehrere Proben nicht berücksichtigt werden konnten.

Die **Stickstoffwerte** (N) zeigten sowohl über die beiden Kompostierungssysteme als auch im Alterungsprozess keine gravierenden Unterschiede, die Bandbreite der einzelnen Werte war sehr hoch.

Die Kohlenstoffwerte (C) des CMC Verfahrens lagen im Durchschnitt ($=\bar{x}$) der Proben bei den jünger als 8 Wochen alten Proben (n=47) höher (87 kg C/to Originalsubstrat) als in den älteren als 8 Wochen alten (n=36) (62 kg C/to Originalsubstrat).

Auch die **Kohlenstoffwerte** (C) des MC Verfahrens lagen im Durchschnitt ($=\bar{x}$) der Proben bei den jünger als 8 Wochen alten Proben höher (n=49) (92 kg C/to Originalsubstrat) als in den älteren als 8 Wochen alten Proben (n=80) (70 kg C/to Originalsubstrat).

In den Ergebnissen aus der Dissertation von Claus-Robert Wonschik (2017) wurde eine hohe Kohlenstoffeffizienz von etwa 90 Prozent für das MC-Kompostierungsverfahren ausgewiesen. Im Gegensatz dazu zeigten dort aerob behandelte Reststoffe nur eine Kohlenstoffeffizienz von 40 bis 60 Prozent.

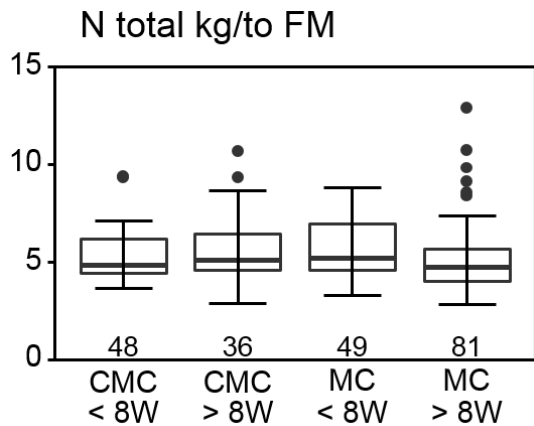
Die in der Breite aufgenommenen Daten in diesem Projekt wiesen diesen Zusammenhang nicht direkt nach, da die Varianz zwischen den einzelnen Kompostmieten zu groß war; eine gleiche Tendenz wie in der Dissertation von Wonschik (2017) ist aber in den Durchschnittswerten von jungen zu alten Kompostproben zu erkennen: im Vergleich der Kompostsysteme wird weniger Kohlenstoff abgebaut (C% in TM: MC-System: 5,9% Verlust, CMC-System: 9,6% Verlust).

Dies stützt vielleicht auch die in Kapitel 2.5.6 genannte These der Dissertation, dass bei der Mikrobiellen Carbonisierung Bakterien den Wiedereinbau von zuvor mineralisiertem Kohlenstoff vornehmen können. Es wird in diesem Kontext (4.3.1) aber auch erwähnt, dass die MC-Komposte nach etwa einem halben Jahr an Stabilität einbüßen und langsam beginnen weiter zu mineralisieren.

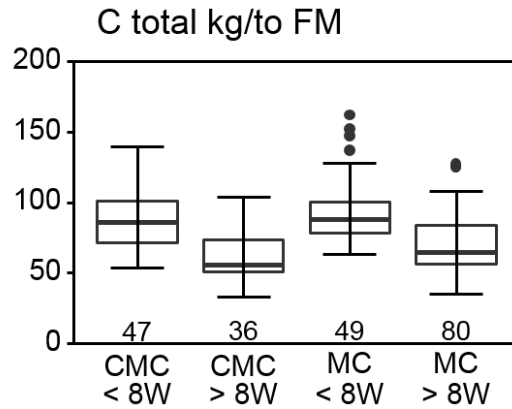
Das **C/N Verhältnis** nahm in beiden Kompostsystemen über den Kompostierungsprozess ab: Im CMC-System von den jünger als 8 Wochen alten Proben von durchschnittlich 16,7 C/N zu älter als 8 Wochen alte Proben durchschnittlich 11 C/N, im MC System bei Proben jünger als 8 Wochen von durchschnittlich 17,3 C/N ab zu älteren Proben zu einem durchschnittlichen C/N Verhältnis von 14,1. Laut Faustzahlen sollen fertige Komposte ein C/N-Verhältnis von 10-20 aufweisen. Ein C/N Verhältnis von 10 spricht für eine schnelle N-Düngung, ein steigendes C/N Verhältnis steht für eine Langzeitdüngerwirkung mit wachsendem Potential für Humusaufbau.

Das enger werdende C/N-Verhältnis wurde in den untersuchten Komposten hauptsächlich durch den Schwund an Kohlenstoff verursacht, der im MC-System im Durchschnitt etwas geringer ausfiel: wird das C/N Verhältnis der jünger als 8 Wochen alten Proben gleich 100% gesetzt, dann sinkt es im CMC-System in den Proben älter als 8 Wochen auf 66%, im MC Verfahren auf 82%.

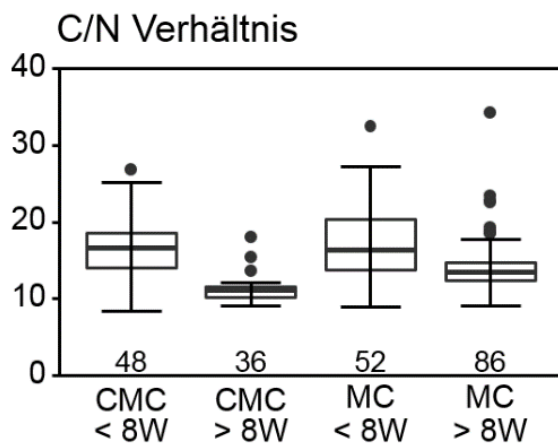
Zu berücksichtigen in diesem vorliegenden EIP-Projekt war, dass in beiden Kompostierungsverfahren die Min-Max Werte in einer großen Spannungsweite vorlagen. Die zusammengestellten Daten stammten in den beiden Altersabschnitten auch nicht immer von den gleichen Kompostmieten.



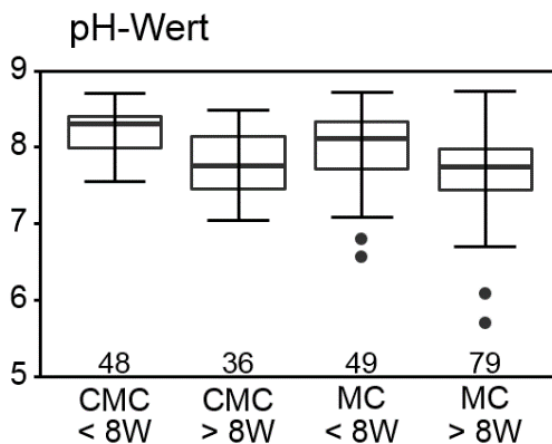
Grafik 8: N kg/to FM nach CMC/MC und Alter



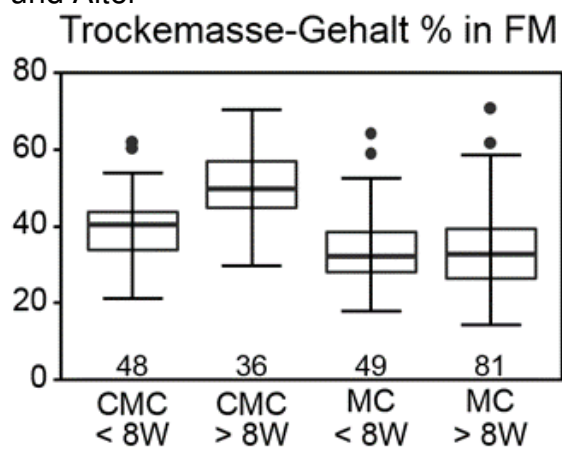
Grafik 9: C kg/to FM nach CMC/MC und Alter



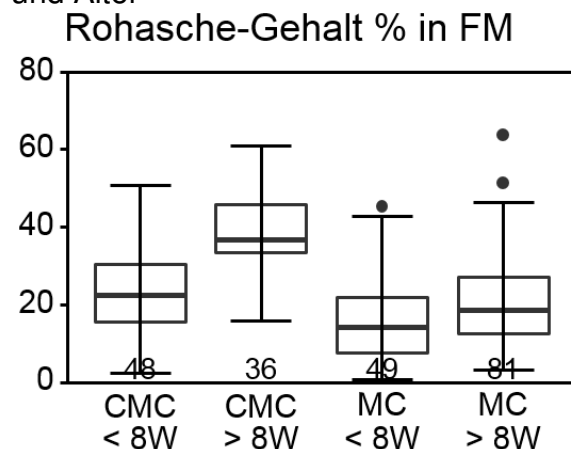
Grafik 10: C/N Verhältnis nach CMC/MC und Alter



Grafik 11: pH-Wert nach CMC/MC und Alter



Grafik 12: TM in% in FM nach CMC/MC und Alter



Grafik 13: Rohasche % in FM nach CMC/MC und Alter

Der **pH-Wert** nimmt in beiden Kompostierungssystemen im Ø der Proben ab von jünger als 8 Wochen alte Proben mit pH-Werten um 8-8,2 gegenüber älter als 8 Wochen alten Proben auf pH-Werte 7,7-7,8. Erst pH-Werte unter 7 weisen in älteren Komposten auf eine unzureichende Sauerstoffversorgung hin.

Trockenmasse-Gehalt, Wassergehalt: der Trockenmassegehalt der EIP-Projektproben lag im Durchschnitt der jüngeren und älteren Proben bei ca. 34-50%. Mikrobielle Umsetzprozesse (aerob) finden zwischen einem Trockenmasse-Gehalt von 30-70 % statt. Auffällig waren die auf einem höheren Niveau liegenden Trockenmassegehalte für die älteren CMC-Proben. Es ist von einer höheren Wasserverdunstung durch das mehrmalige Umsetzen der Mieten auszugehen. In der Praxis pflüggelöst ist z.B. das Pflanzen von Kürbis auf die Kompostmiete als Anzeiger: Lässt er die Blätter hängen, so wird mit einem Rasensprenger beregnet.

Der **Rohasche-Gehalt** schwankte in weiten Grenzen. Dies ist auf die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien zurückzuführen, besonders die variabel eingesetzten Erdanteile im CMC-System sind hier wiederzufinden.

Fazit: Da die Anteile der Ausgangskomponenten je Kompostmiete betriebsindividuell zusammengestellt wurden, lagen entsprechend große Schwankungen in den erhobenen Analysen von pH-Wert, TM-, Rohasche-, Stickstoff- und Kohlenstoff-Gehalt vor. Nachzuvollziehen ist dies in den statistischen Auswertungen, die nach den CMC- und MC-Kompostierungssystemen in zwei Altersstufen jünger 8 Wochen und älter 8 Wochen aufgeteilt wurden.

Beobachtung weiße Schicht im System MC

Als eine Besonderheit im MC-Kompostierungssystem entstand eine ca. 20-30 cm breite weiße Schicht, die im Prozessverlauf von ca. 10 cm Tiefe sich nach unten zum Mittelpunkt der Kompostmiete auf ca. 80 cm in 8 Wochen verlagerte. Diese Schicht wurde von einer Miete zu verschiedenen Terminen standardmäßig auf die Inhaltstoffe analysiert und eine Probe zur mikrobiologischen Bestimmung an Prof. Fritz, Boku Wien, direkt vom Betriebsleiter per Expresspost versandt.

Tabelle 10: Proben „weiße Schicht“

	Trockenmassegehalt TM in % der Frischmasse	pH-Wert im Frischsubstrat	Erd- bzw. Mineralanteil		Stickstoffgehalt (N total)			Kohlenstoffgehalt (C total)				C/N-Verhältnis
	% der Trockenmasse in der Frischmasse	ph Wert	% der Frischmasse im Originalsubstrat	% TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Stickstoff je Tonne Original-Substrat	% N in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Kohlenstoff je Tonne Original-Substrat	% C in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	Humus in %	C-gehalt dividiert durch N-gehalt
Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht	Kompost System Witte weiße Schicht
Durchschnitt	42,8	7,8	8,7	19,8	1,40	14,0	3,20	17,6	176,5	41,5	30,4	13,7
Min	33,7	6,9	4,9	14,7	0,83	8,3	2,47	14,9	148,8	38,3	25,7	9,3
Max	48,4	8,4	12,7	27,3	1,90	19,0	4,10	20,3	203,1	44,2	35,0	17,9
Median	46,4	8,2	8,5	17,6	1,46	14,6	3,01	17,8	177,5	42,0	30,6	13,9
n=	3											

In der folgenden Tabelle wurden die Proben nach dem unterschiedlichen Prozessalter einer Miete aufgelistet.

Tabelle 11: Proben „weiße Schicht“ Inhaltswerte in unterschiedlichem Alter der Miete:

Alter in Wochen Kompost bei Termin Probenahme	Tiefe Entnahme Probe, regulär ca. 40 cm tief	Temperatur regulär in 40 cm Tiefe	Trockenmasse-	pH-Wert	Erd- bzw. Mineralanteil	Stickstoffgehalt (N total)			Kohlenstoffgehalt (C total)			C/N-Verhältnis	
			gehalt TM in % der Frischmasse	im Frisch- substrat pH Wert	pr. Rohasche-Gehalt	% der Frischmasse im Originalsubstrat	% TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Stickstoff je Tonne Original- Substrat	% N in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Original- substrat	kg Kohlenstoff je Tonne Original- Substrat	% C in TM, wenn das Material komplett trocken wäre
0,1 Wochen	10 cm	ca. 40°C	33,8	8,1	6,6	19,7	1,26	12,6	3,7	14,0	140,0	41,4	11,1
0,7 Wochen	25 cm	ca. 60°C	33,7	8,4	4,9	14,7	0,83	8,3	2,5	14,9	148,8	44,2	17,9
2,0 Wochen	35 cm	ca. 70°C	48,4	8,2	8,5	17,6	1,46	14,6	3,0	20,3	203,1	42,0	13,9
8,0 Wochen	45 cm	ca. 25°C	46,4	6,9	12,7	27,3	1,90	19,0	4,1	17,8	177,5	38,3	9,3

Tabelle 12: „Standard“ Kompostproben Inhaltswerte für Vergleich zur „weißen Schicht“

Proben- nummer	beprobtes Objekt	Alter in Wochen Kompost bei Termin Probenahme	Tiefe Erntnahme Probe, regulär ca. 40 cm tief	Temperatur regulär in 40 cm Tiefe	Trockenmasse-	pH-Wert	Erd- bzw. Mineralanteil	Stickstoffgehalt (N total)			Kohlenstoffgehalt (C total)			C/N-Verhältnis	
					gehalt TM in % der Frischmasse	im Frisch- substrat pH Wert	pr. Rohasche-Gehalt	% der Frischmasse im Originalsubstrat	% TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Originalsubstrat	kg Stickstoff je Tonne Original- Substrat	% N in TM, wenn das Material komplett trocken wäre	% der Frischmasse im Original- substrat	kg Kohlenstoff je Tonne Original- Substrat	% C in TM, wenn das Material komplett trocken wäre
Kompost 490 gesamt		2,0 Wochen	40	ca. 70°C	37,3	8,0	6,1	16,3	0,87	8,7	2,3	16,2	162,0	43,4	18,7
Kompost 489 gesamt		8,0 Wochen	40	ca. 25°C	32,8	7,5	8,4	25,7	1,29	12,9	3,9	12,5	125,5	38,2	9,8

Im Vergleich zu der im Durchschnitt auf ca. 40 cm Tiefe entnommener Kompostprobe zeigte die „weiße Schicht“ höhere Inhaltstoffe für Stickstoff und Kohlenstoff im Alter von 2 und 8 Wochen, s. Tabellen 10 und 11. Welche Prozesse dort im Detail ablaufen, wäre in weiteren Untersuchungen zu klären.

Bilder CM-System weiße Schicht mit Stallrottemist



Bild 29: „weiße Schicht“, Lage im Kompost

Bild 30: wie Bild 29

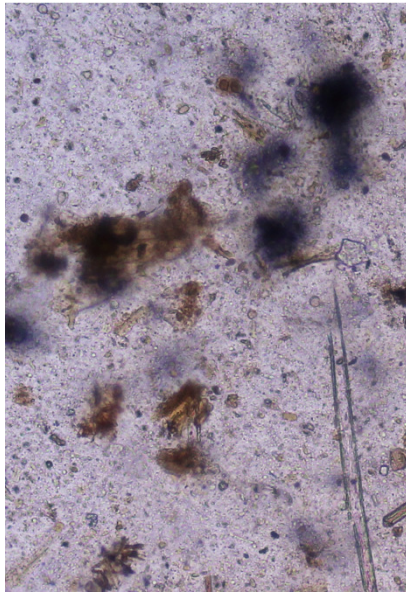
Bild 31: Mikroorganismen gut zu sehen



Bilder 29-31 vom 10.3.2017, MC Kompost, 5 Wochen alt
Bild 32 vom 25.7.2018 MC-Schweinemistmiete; Bild 33 weiße Schicht zu sehen: eine verschimmelte Schicht sieht ähnlich aus: ob es die gewünschte mit

Bild 32 Beispiel „weiße Schicht“ Bild 33 Beispiel „weiße Schicht“

Schwerpunkt Bakterienbesatz ist, ist am Geruch zu erkennen: die unerwünschte „verschimmelte Schicht“ hat den typischen „Brotsschimmelgeruch“; die mit Schwerpunkt Bakterienbesatz riecht neutral.



Analyse von Prof. Fritz, Boku Wien

In der Probe „weiße Schicht“ fanden sich außergewöhnlich hohe Mengen nicht abgebauter Pflanzenteile (faserig, Stroh) und eine ungewöhnlich hohe Konzentration an Bakterien; auch vergleichsweise viele Pilzhyphen (allerdings nicht dominierend) und Pilzsporen (extrem viele) lagen vor; die Keimzahlbestimmungen oder Keimtypencharakterisierungen waren aus dieser Probe nach Prof. Fritz nicht sinnvoll, da sich das Material in einem sehr frühen Abbau stadium befand und sich bis zu einem Reifestadium noch alles ändern würde.

Bild 34 links: Mikroskopfoto als Grundlage für die Bewertung

Fazit: in diesem Phänomen der sichtbaren „weißen Schicht“ befindet sich eine besonders aktive Zone für Abbau- bzw. Umbauprozesse. Wie sie sich mikrobiologisch für den gesamten Kompostierungsprozess einstufen lässt, kann hoffentlich in zukünftigen Untersuchungen geklärt werden.

vi. Untersuchungen von Komposten für ein Qualitätsmanagement

Es wurden verschiedene Tests für die biologische Verträglichkeit der unterschiedlichen Komposte durchgeführt, u.a. Kutschera- und Kressetests. Da sie keine ausreichend gewünschte Unterscheidungen der einzelnen Komposte ermöglichten, und auch nicht ausreichend einfach durchzuführen waren, wurde mit einem Labor an weiteren, innovativen Untersuchungen gearbeitet. Ein Wasserlinsentest. Chromatische Säulenbestimmung und Untersuchungen nach Abbaugrad „ABG5“ wurden durchgeführt. Die Ergebnisse dazu sind im Anhang CV „Unterschiedliche Verfahren für ein Kompost-Qualitätsmanagement“ zu finden.

vii. Untersuchung auf Mikroorganismenaktivität,- vorkommen ausgewählter Komposte

Frau Prof. Fritz nannte folgende Eckpunkte für das Vorkommen von Mikroorganismen in Komposten: Typisch für reife Komposte sind
Bakterien- bzw. Gesamtkeimzahl: ca. 10^7 bis 10^9 /g,
Pilze: ca. 10^4 bis 10^5 /g
Verhältnis Bakterien : Pilze bei ca. 1000 : 1 optimal

Wesentlich höhere Gesamtkeimzahlen deuten auf unreifen Kompost hin. Bei Pilzen ist die Zahl nicht direkt zu interpretieren - eher ist Verhältnis als Gesamtzahl entscheidend.

Ganz niedrige Pilzkeimzahlen legen nahe, dass der Kompost irgendein anderes Problem hat (evtl. Fungizidreste aus dem Inputmaterial)

In diesem Projekt wurden exemplarisch 9 Proben untersucht, s. Anhang CII und CIII.

Zwei Ergebnisse sind hier vorgestellt:

Analysen	Einheit	Ergebnis
Gesamtkeimzahl 22°C, PC-Agar, 72 h	KBE / g	11 x 10 ⁹
Gesamtkeimzahl 37°C, PC-Agar, 48h	KBE / g	10 x 10 ⁹
Hefe- & Pilzkeimzahl, YGC-Agar, 48 h	KBE / g	1 x 10 ³

Probe Nr. 27, MC Verfahren,
22 Wochen alt,
Ausgangsmaterial Rinder-,
Pferdemist und Grünschnitt

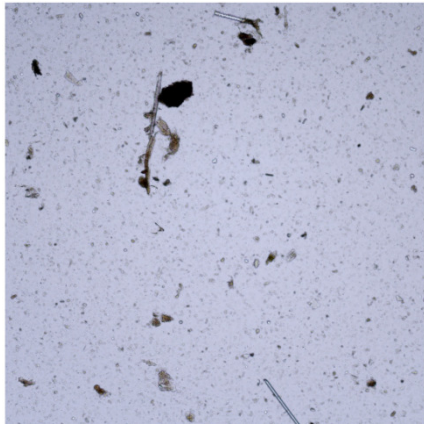


Bild 35: Mikroskopische Aufnahme aus dem wässrigen Extrakt der Kompostprobe. Hellfeld, 100x Vergrößerung.

Der wässrige Extrakt schäumt!
Viel Organik, darunter nicht abgebaute Pflanzenteile, sehr viele Bakterien, einige Actinomyceten, einige Pilze; etwas Humus → nicht vollständig reifer Kompost.
Mehrere Kunststofffasern.

Analysen	Einheit	Ergebnis
Gesamtkeimzahl 22°C, PC-Agar, 72 h	KBE / g	0,10 x 10 ⁹
Gesamtkeimzahl 37°C, PC-Agar, 48h	KBE / g	0,18 x 10 ⁹
Hefe- & Pilzkeimzahl, YGC-Agar, 48 h	KBE / g	0,13 x 10 ³

Probe Nr. 123, MC Verfahren,
20 Wochen alter Kompost,
Ausgangsmaterial
Rinderstapelmist,
Holzhackschnitzel

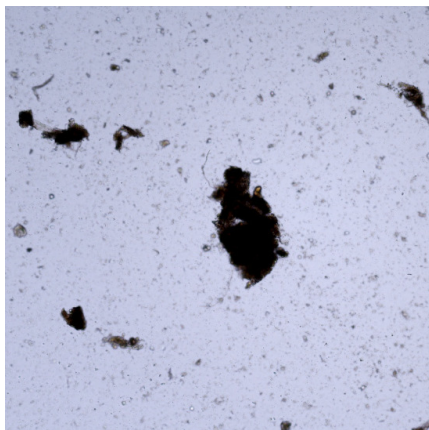


Bild 36: Mikroskopische Aufnahme aus dem wässrigen Extrakt der Kompostprobe. Hellfeld, 100x Vergrößerung.

Viel Organik, darunter wenige nicht abgebaute Pflanzenteile, viele Bakterien, einige Actinomyceten, wenige Pilze jedoch viele Pilzsporen;
Humusaggregate → reifer Kompost.

Fazit: die Mikrobiologie sieht in den einzelnen Komposten sehr unterschiedlich aus und kann wichtige Hinweise zu der Qualität des Kompostes geben. Die gefundenen Plastikpartikel sind als unerfreulich einzustufen.

viii. FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte

Als Ausgangssituation in diesem Projekt war eine der wichtigen Fragen, wie eine gute Qualität von betriebseigenen erzeugten Komposten erreicht werden kann, und welche Inhaltstoffe dabei vorliegen. Ein besonderes Interesse galt der Humifizierung: Huminstoffe können wichtige Nährstoffe, wie C und N, mit später positiven Auswirkungen auf die Bodenstabilität speichern.

Priv. Doz. Dr. Johannes Tintner-Olifiers und Priv. Doz. Dr. Ena Smidt, Universität für Bodenkultur, Wien, Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik

Institut für Physik und Materialwissenschaften, erhielten ausgesuchte Komposte und einzelne Böden des EIP Projektes und analysierten diese mit der FT-IR Spektroskopie. Im Anhang C IV erklären Sie ihre eingesetzte Methode und die daraus resultierenden Erkenntnisse im Detail.

Fazit: die Qualitäten der einzelnen Komposte ließen sich mit der FT-IR Spektroskopie Messmethode sehr gut unterscheiden. Noch in der Rotte befindliche Komposte konnten identifiziert werden, als auch die Qualität älterer, stabiler Komposte hinsichtlich organischer und mineralischer Anteile. Die „gelungenen“ Komposte mit einem höheren Huminstoffgehalt lagen in einem zuzuordnenden Bereich in der Auswertungsgrafik. Die Interpretation der Analysen zu den einzelnen Komposten Bedarf einer gewissen Übung und die zu jeder Probe gehörenden Auswertungsschreiben sind essentiell.

ix. Austretende Perkolate aus Kompostmieten



Austritte dunkelbrauner Perkolate aus den Mieten waren teilweise zu beobachten. Sporadische Untersuchungen von 5 Proben ergaben, dass die Flüssigkeiten sehr geringe Gehalte an Stickstoff aufwiesen. Für einen MC-Kompost wurden als höchst gemessener Wert 0,39 kg N gesamt/m³ Perkolat ermittelt (andere 0,17-0,21 kg

Bild 37: Austritt von Perkolat aus Kompostmiete

N/m³), davon 0,0017 kg als Nitrat/m³ Perkolat und 0,053 kg Ammonium-N/m³ Perkolat vorliegend. Der Anteil von Ammonium-N lag damit wesentlich höher als der von Nitrat.

Als Vergleichswert liegen in Rindergülle um 3-5 kg N gesamt/m³ vor. Die N-Gehalte im Perkolat aus den untersuchten Kompostmieten lagen folglich um eine Zehnerpotenz niedriger.

3. Wirkung eingesetzter Komposte und -tees auf Kulturpflanzen und Ackerböden in Praxisversuchen

Für die Ernteerhebung wurde in der CAU Kiel das Korngewicht als Frischmasse (FM), das sich auf 14% Feuchte bezieht, und Trockenmasse (TM) ermittelt, ebenfalls der Stickstoffgehalt (N) im Korn und das Strohgewicht. Dazu wurden die Erträge mit Hand als Meter-Ernteschnitte (2 * 0,5 m) in 4 Wiederholungen kurz vor der eigentlichen Ernte genommen und abhängig von dem Reihenabstand pro ha hochgerechnet. Dadurch lag das Ertragsniveau natürlich höher, als von real gedroschenen Flächen, da es keinen Druschverlust und Einbußen durch Randlagen, etc., gab. Die statistischen Auswertungen wurden unterstützt von Dr. Ralf Loges, CAU Kiel und seinem Team. Sie sind in den folgenden Grafiken der Ernteerhebungen zu sehen. Die Legende zu den Varianten:

oK = ohne Kompostdüngung

mK = mit Kompostdüngung

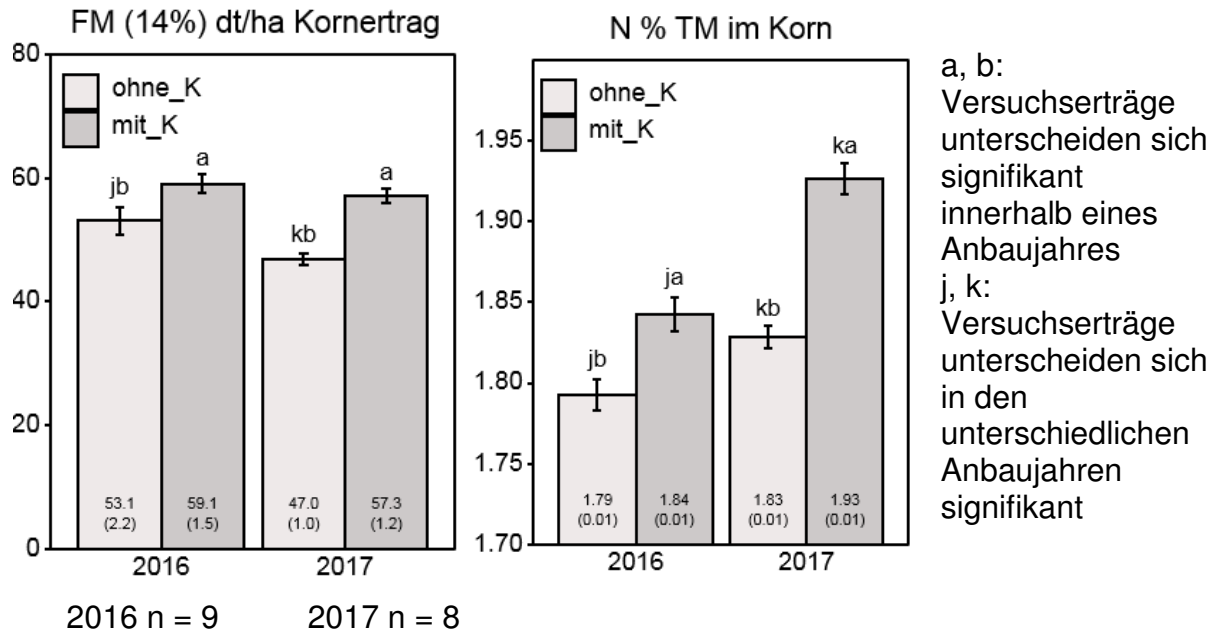
Es wurde die ermittelte TM/ha auf FM mit 14% Feuchtegehalt umgerechnet, da dies die übliche Verrechnungsgröße für den Getreideverkauf ab Hof ist.

Oberer Wert im Ertragsbalken: Durchschnittswert in dt/ha

Unterer Wert im Ertragsbalken: statistischer Standardfehler

i. Erträge Kompostdüngung, Pflanzenkohle und Komposttees in unterschiedlichen Kulturen

Kompostwirkung in biologisch wirtschaftenden Betrieben auf Erträge Sommergetreide 2016/2017



Grafik 14: Kornertrag FM (14%) dt/ha

Grafik 15: N% TM im Korn

Kompostwirkungen auf Erträge von Sommergetreide 2016/2017

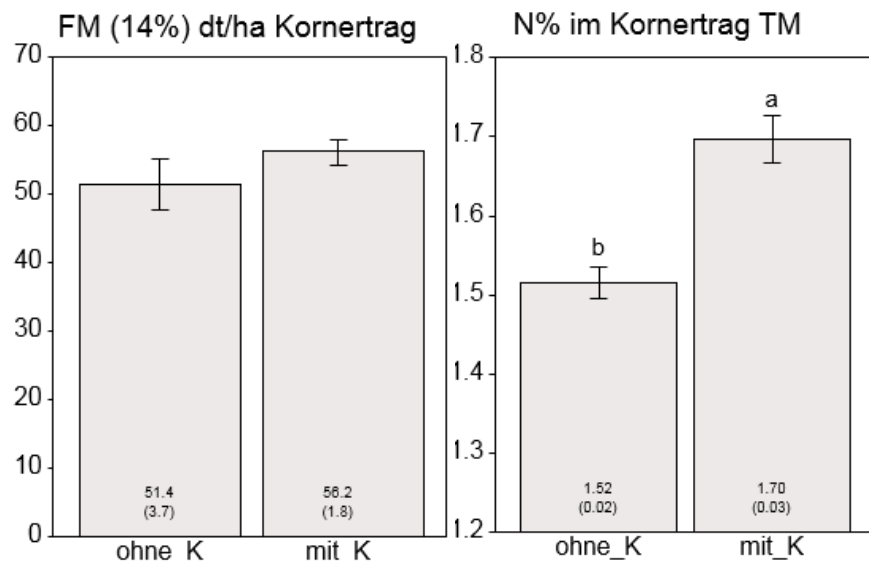
Die Sommergetreidearten Sommerweizen (n=11), Hafer (n=4), Sommertriticale (n=1), Sommergerste (n=1) zeigten in beiden Jahren jeweils einen signifikanten Mehrertrag (2016: 10%, 2017: 18%) durch die Zugabe von Kompost von ca. 8-10 to/ha im auslaufenden Winter vor dem Pflügen/Grubbern oder im Frühjahr auf die Kultur, wobei der Kompost nicht immer eingearbeitet wurde. Die eingesetzten Komposte waren insgesamt ausreichend in ihrer Reifung abgeschlossen, um Stickstoff an die Kulturpflanzen abzugeben. Rein optisch war dies den meisten Getreidebeständen nicht anzusehen. Auch für den N-Gehalt im Korn konnte ein statistisch signifikanter Mehrertrag ermittelt werden. Der Unterschied fiel in dem sehr niederschlagreichen Anbaujahr 2017 zwischen keiner Kompostgabe zu einer erfolgten Kompostgabe höher aus.

Fazit: in den beiden Versuchsjahren 2016/2017 konnte statistisch signifikant für biologisch angebautes Sommergetreide durch eine Kompostdüngung von ca. 10 to/ha sowohl für den Ertrag (10-18%) als auch Proteingehalt im Korn höhere Werte erreicht werden.

Das Vorurteil gegenüber einer Kompostgabe „schadet nichts, nützt nichts“ konnte damit für Sommergetreide widerlegt werden.

Kompostwirkung in biologisch wirtschaftenden Betrieben: Ø Erträge 2017 Wintergetreide

Auf den Versuchsflächen wurde Wintergetreide nur für die Ernte 2017 angebaut: Winterroggen,- triticale und –dinkel.



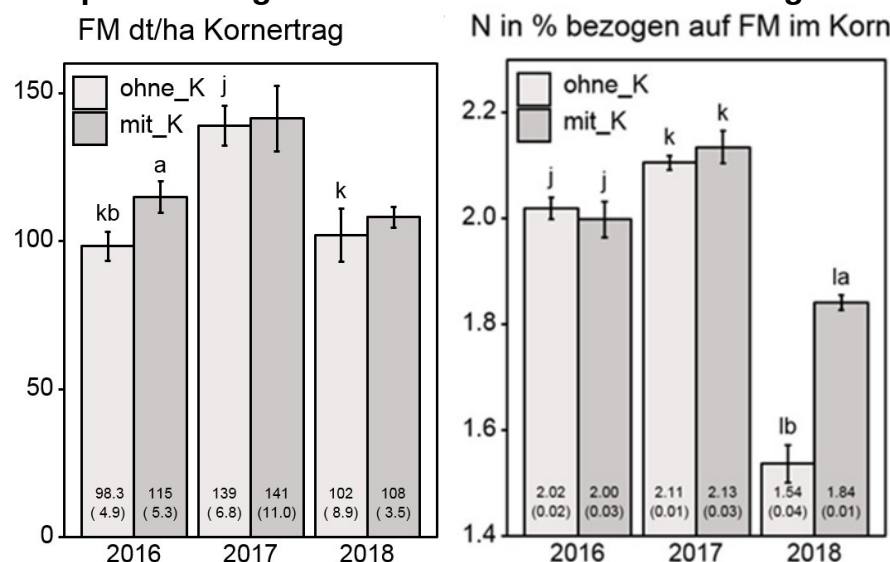
Die Erträge durch die Kompostdüngungen zeigten nur eine positive Tendenz, für die Ertragsentwicklung waren andere Faktoren als die Kompostdüngung ausschlaggebend, wie z.B. Bodentemperatur und Feuchtegehalt in entscheidenden Wachstumsstadien der Pflanze.

n=3; Grafik 16, Grafik 17: Komposteinsatz zu Wintergetreide Ertrag und N Gehalt

Eine signifikante Steigerung wurde in den Stickstoffgehalten der Körner analysiert. Es wurde durch die Kompostdüngung folglich mehr Protein in das Korn eingelagert. Die Kompostausbringung erfolgte vor der Aussaat auf die Stoppel mit 10-20 to/ha.

Fazit: durch den Einsatz von Kompostdüngung in dem Anbaujahr 2017 konnte kein statistisch signifikanter höherer Ernteertrag erreicht werden, aber es wurde signifikant mehr Protein im Korn gebildet.

Kompostwirkung im konventionellen Betrieb: Erträge 2016-2018



Kompostwirkung 2016-2018 zu Winterweizen in konventionellem Betrieb FM (14% Feuchte) Ertrag, N in % bezogen auf FM (14%) im Korn. Die Kompostdüngung zusätzlich zu der betriebsüblichen Düngung in Winterweizen erbrachte im Anbaujahr 2016

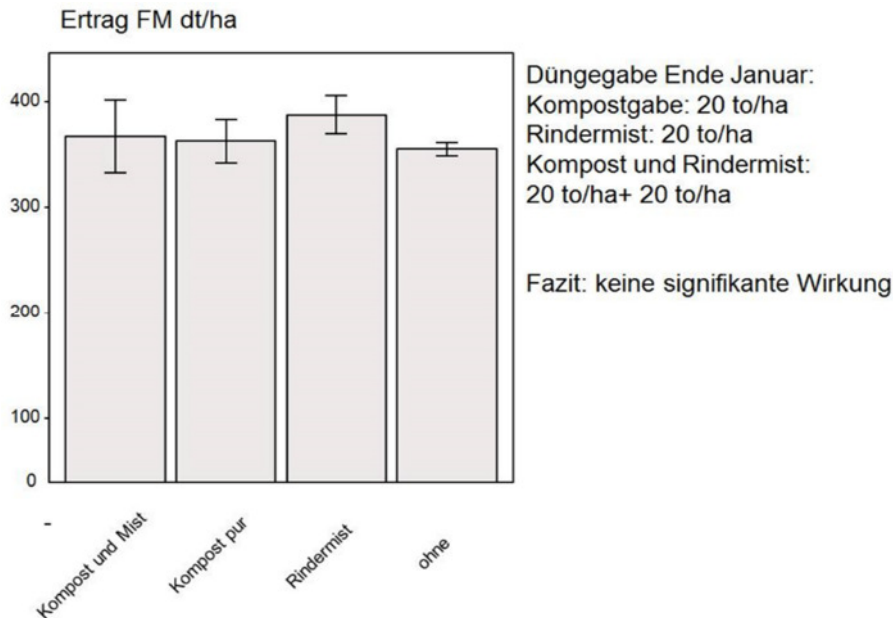
Grafik 18

Grafik 19

signifikant höhere Erträge und zeigte in den anderen Jahren immer eine positive Tendenz. Interessant ist der signifikant höhere N in %- Gehalt bezogen auf FM (14%) im Korn in dem Dürreanbaujahr 2018. Hier hat die Kompostdüngung die N Aufnahme in das Korn signifikant unterstützt.

Fazit: auch für konventionell wirtschaftende Betriebe ist die Kompostdüngung interessant, trotz ausreichenden mineralischem Düngungsangebot, da immer eine positive Ertragstendenz vorlag, mit sogar in einem Anbaujahr signifikant höherem Ertrag. In dem Dürrejahr 2018 unterstützte die Kompostdüngung signifikant die N-Einlagerung im Korn. Eine Rohprotein Qualitätssicherung kann somit in „Dürre Jahren“ unterstützt werden.

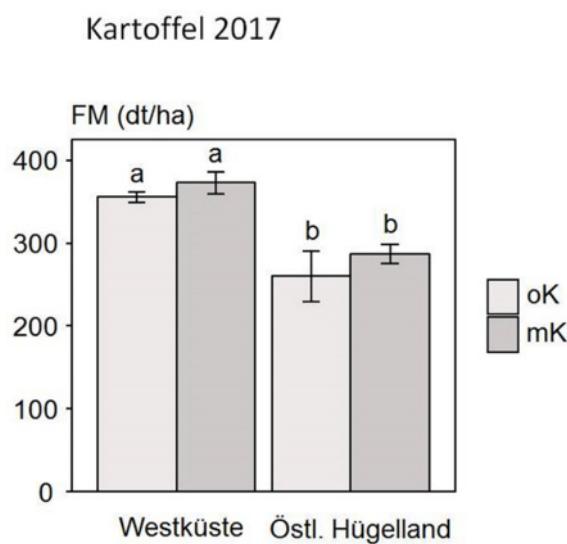
Wirkung Kompost und Mist auf Kartoffelsorte Linda 2017



Standort Westküste
 Die Erträge bilden die Rohware ab, es wurde keine Größensortierung durchgeführt.

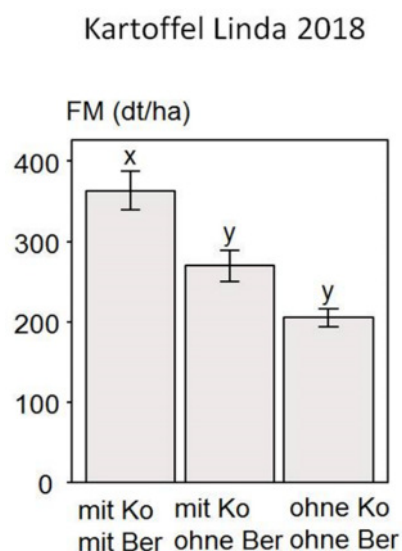
Grafik 20: Kartoffelanbau 2017: kein signifikanter Unterschied unterschiedlicher Wirtschaftsdüngergaben

Wirkung Kompost im Kartoffel- Anbau 2017 und im Dürrejahr 2018



ohne Ber= ohne Beregnung
 mit Ber= mit Beregnung

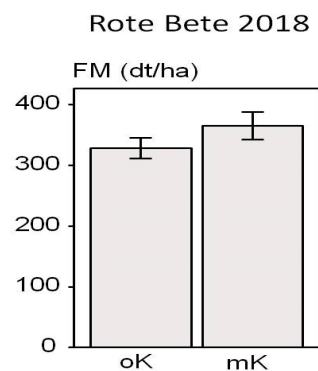
Grafik 21: Düngewirkung von 20 to/ha Kompost zu Kartoffeln Anbaujahr 2017



Grafik 22: Düngewirkung von 23 to/ha Kompost zu Kartoffeln im „Dürrejahr“ 2018

Fazit: In den Kartoffelanbauversuchen der beiden Erntejahre 2017 und 2018 wurden keine statistischen Mehrerträge generiert, es lagen aber immer positive Ertragstendenzen vor. Im Dürrejahr 2018 förderte, wie zu erwarten war, der Einsatz der Beregnung signifikant den Ertrag, wobei der Einsatz von Kompost auch hier die Ernte der Kartoffelpflanze tendenziell erhöhte im Vergleich ohne Kompostgabe.

Rote Bete



Die Düngewirkung des Kompostes auf Rote Bete wurde nur in dem Dürrejahr 2018 untersucht. Es konnte kein signifikanter Mehrertrag, aber eine positive Tendenz festgestellt werden. Es wurden 25 t/ha im Februar 2018 ausgebracht.



Grafik 23: Düngewirkung von Kompost zu Roter Bete in 2018

Bild 38: Rote Beete mit hängenden Blättern durch Trockenheit

2017 Versuche mit in den Kompost eingemischte Pflanzenkohle

Pflanzenkohle als neues Betriebsmittel interessierte die OG-Mitglieder dahingehend, ob mit ihrer Hilfe Erträge gesteigert und Humus angereichert (Stichwort: terra preta) werden kann. Zwei Biobetriebsleiter führten im Anbaujahr 2017 mit ihr Anbauversuche durch. Ein Betriebsleiter erzeugte für die Anbauversuche in einem selbst erbauten Kontiki die eingesetzte Pflanzenkohle betriebsintern. In einem Kontiki kann durch die besondere Bauform Pflanzenkohle durch weniger Sauerstoffzufuhr erzeugt werden: die Verbrennung findet nur an der Oberfläche des geschichteten Holzes statt, wodurch ein „Köhlerereffekt“ erzielt wird. Ist der Vorgang abgeschlossen, wird in den Kontiki kaltes Wasser eingeleitet, das „Quenschen“ genannt wird. Durch diese Maßnahme erhält die Pflanzenkohle größere Poren. Diese größeren Poren sind vorteilhaft, damit sich mehr Nährstoffe und MO's an die Oberfläche ansiedeln können. Der zweite Betriebsleiter kaufte analysierte und von der Biokontrolle genehmigte Ware zu.

Details Inhaltstoffe zur Pflanzenkohle

Die DüMV schreibt für alle Holzkohlen, die als Düngemittel verwendet werden, einen Kohlenstoffgehalt von mind. 80 % vor und als Biomasse unbehandeltes Holz. Hierzu solle nicht einmal das ausgesiebte Holzmaterial einer Grünschnittsammlung gehören.

Die PAK-Grenzwerte nach EBC für Futterkohle betragen 4 mg/kg, für Boden 10 mg/kg

Benzo-a-pyren (eine der PAK-Verbindungen) max. 0,025mg/kg

PCB Grenzwert (Summe Schadstoffe, von denen Dioxin eines ist) 0,75 ng TE/kg bei 88%TS max. (TE=Toxizitätsäquivalent)

Dioxine entstehen leicht bei behandeltem Holz oder wenn Papier mit in die Verkohlung gegeben wird, ansonsten besteht kein Anlass, sie regelmäßig zu überprüfen. Sie sind sehr teuer (ca. 300 € für eine Untersuchung). Das Dioxinproblem war in den 80ern groß geschrieben, weil zu dem Zeitpunkt angefangen wurde Müll-Plastik-Allerlei über die Pyrolyse zu beseitigen.



Bild 39: Kontiki mit Wasseranschluss

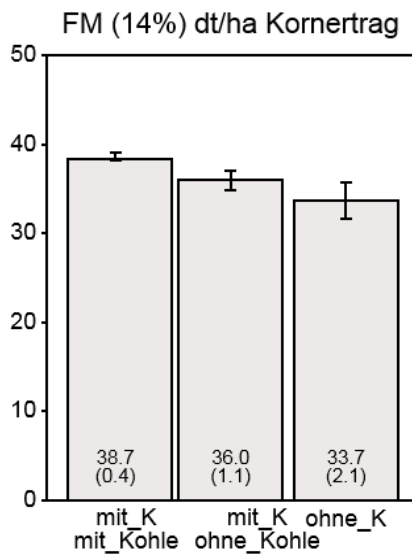


Bild 40: erzeugte Pflanzenkohle mit Kontiki

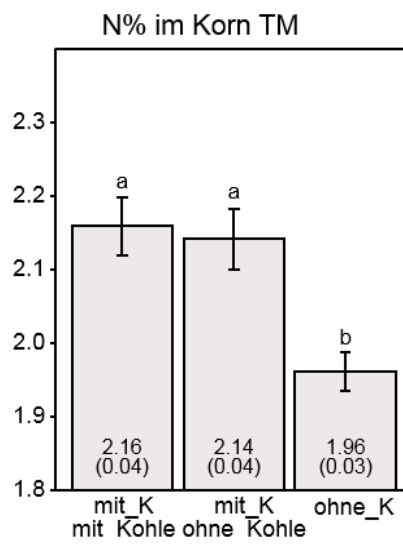


Bild 41: Anbauversuch 2017

Anbauversuche



Grafik 24



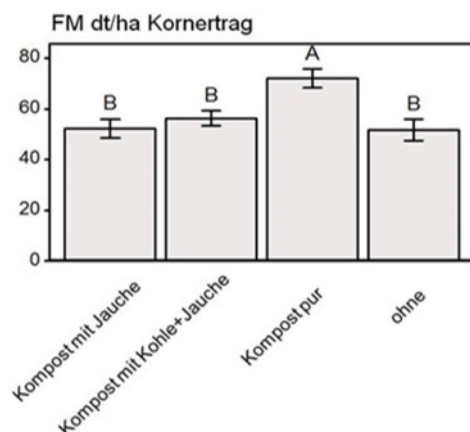
Grafik 25 Kompost ohne/mit Pflanzenkohle

Auf einem Standort im südlichen Schleswig-Holstein wurde ein CMC-Kompost einmal mit/ohne 10% Pflanzenkohle hergestellt. Diese beiden Varianten wurden zu Sommerweizen in dem Anbaujahr 2017 ausgebracht. Für den Ertrag ergaben sich keine signifikanten Steigerungen. Für den

Sickstoffgehalt im Korn ergaben sich nur gegenüber der Variante ohne Kompost signifikante Unterschiede, nicht zwischen den Varianten ohne/mit Kompost. In den erfolgten Mikroskopien zu Kompost, s. Anhang Proben Nr. 310 und 374, wurde „Humus“ gefunden, die auf die zugeführte Pflanzenkohle zurückzuführen ist. Ein positiver Langzeiteffekt für Mikroorganismen kann erwartet werden.

Standort Angeln Nord „special“ Ø Erträge 2017 über Getreidearten Sommergerste und Hafer

Erträge 2017 von Hafer und Sommergerste



Grafik 26: Auf dem Standort Angeln Nord wurden zusätzlich zu den regulären Varianten „ohne Kompostdüngung - mit Kompostdüngung“ weitere Varianten in Hafer, Sommergerste, Ackerbohnen und Silomais erprobt: Auf der Fläche wurde Grünschnittkompost Anfang April ausgebracht.

1) zu der Kompostdüngung wurde zusätzlich Jauche 10 m³/ha gegeben. Für die Versuchsfäche entsprach dies ein l/m².

2) zu dem Kompost wurde zusätzlich mit N „geladene“ Pflanzenkohle mit 10 l/m² am

18.5.2017 ausgebracht: diese wurde selber im Kontiki hergestellt, s.o., und vor dem Ausbringen auf dem Acker in einem Behälter zwei Wochen mit Jauche getränkt (es kam lange Zeit nur klares Wasser unten heraus), plus die unter 1) genannte ein l/m² Jauchegabe. Die Versuchsfläche für dies „specials „ umfaßte je 2 m².



Bild 42: verschiedene Kompostvarianten mit Jauche und Pflanzenkohle
 Zu der Kultur Ackerbohne wurden keine signifikanten Unterschiede der oben genannten Varianten festgestellt, weder in einem Anstieg des Ertrages, noch in dem Rohproteingehalt.
 Im Silomais wurde die ganze Fläche am 6.4.17 mit 20 t/ha Schweinemist gedüngt und am 20.4.2017 mit 18 m³/ha Rindergülle. Dies war eine Variante. Eine weitere war die oben unter 2) genannte Variante (wie zu Hafer und Sommergerste Pflanzenkohle und Jauche 18.5.2017 plus 17.1.2017 eigener Schweinemistkompost 10 to/ha). Als zusätzliche Varianten wurde einerseits Komposttee mit 200 l/ha am 4.6.2017 eingesetzt und andererseits am 17.1.2017 extra selbst hergestellter Kompost von 10 t/ha ausgebracht. Es wurden keine signifikanten Ertragsunterschiede festgestellt.

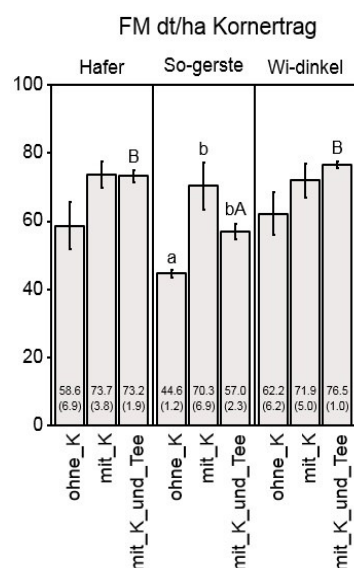
Fazit: Die Düngegabe „Kompost pur“ schnitt signifikant besser im Vergleich zu den anderen eingesetzten Varianten ab. Die Varianten „Kompost zusätzlich mit Jauche, Kompost zusätzlich mit Pflanzenkohle und Jauche“ lagen ertraglich auf dem gleichen Niveau wie die Variante ohne zusätzliche Düngung.

Komposttee hilft Pflanzen bei Trockenstress

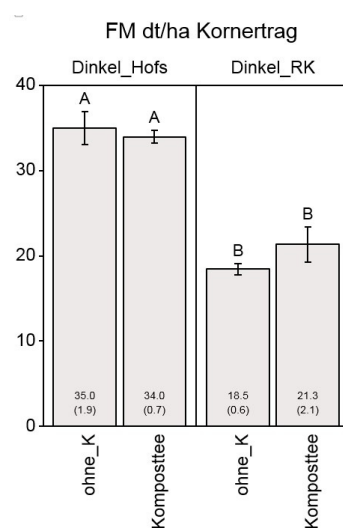
In den Anbaujahren 2017 und 2018 wurde in Tastversuchen erprobt, ob eine Gabe von Komposttee sich auf Kulturpflanzen ertraglich positiv auswirkte.

Versuchsstandorte waren das südliche Schleswig-Holstein (ein Schlag mit zwei Dinkelsorten) und Angeln (drei Schläge mit drei verschiedenen Kulturen: Hafer, Sommergerste und Winterdinkel). In dem niederschlagreichen Anbaujahr 2017 konnten keine Unterschiede im Ertrag zu verschiedenen Kulturen/Sorten gefunden werden.

2017 Standort Angeln



2017 Standort Südholstein



FM enthält 14% Feuchte

Erklärung der Legende:
 Ohne K = auf der Fläche wurde keine Kompostgabe verabreicht
 Mit K = Kompost wurde aufgebracht
 Mit Kompost und Tee = Kompost und Komposttee wurden auf der Fläche ausgebracht.

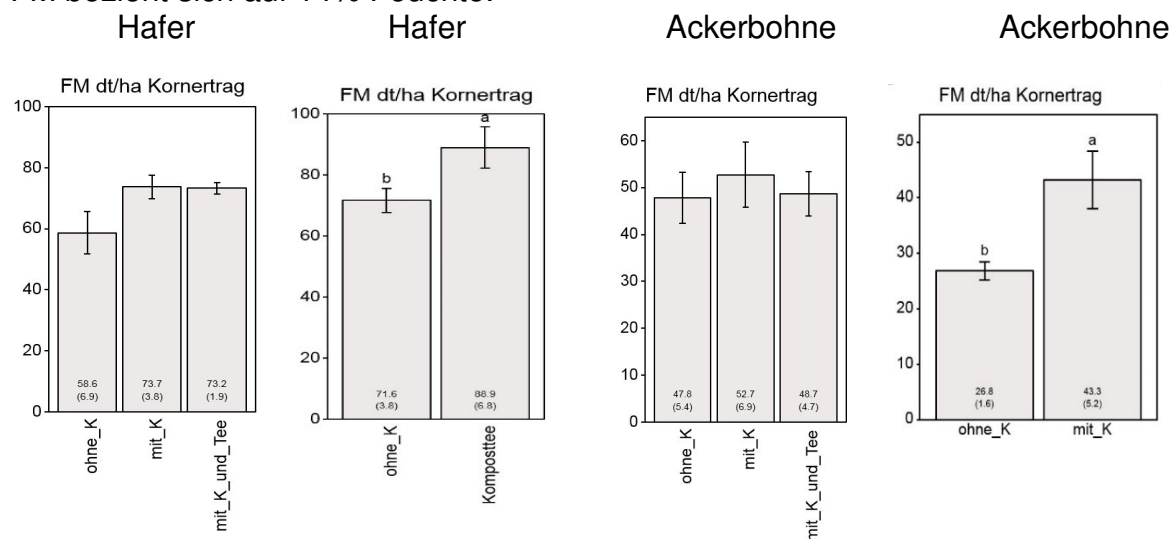
Grafiken 24 und 25: 2017 Erträge Hafer, So-gerste, Wi-dinkel

Der Komposttee wurde gegeben:

- am Standort Angeln 2017 zu Winterdinkel mit 2x200l/ha im März, zu Sommergerste Hafer und Ackerbohne 4.6.2017 mit 200 l/ha.
- am Standort Südholstein zu Winterdinkel (einmal zur Hofsorte und einmal zu Ebners Rotkorn) mit 200l im Juni

Im trockenen Anbaujahr 2018 konnten positiv signifikante Erträge sowohl auf dem Versuchsschlag Hafer als auch für Ackerbohne ermittelt werden. Ertrag von Hafer ohne Komposttee im Durchschnitt 62 dt/ha, mit Gabe von Komposttee 77 dt/ha (ca. 20% Mehrertrag); Ackerbohne im Durchschnitt 23 dt/ha, mit Gabe von Komposttee 37 dt/ha (ca. 38% Mehrertrag). Die Ackerbohne wurde erst am 19.4.2018 wegen der ausgeprägten Winterniederschläge gedrillt, in dem Vorjahr am 9.4.2017. Gegeben wurde der Komposttee mit jeweils einmaliger Gabe von 200 l/ha zu Hafer und Ackerbohne am 14.5.2018.

FM bezieht sich auf 14% Feuchte.



mit K= mit Komposttee

2017 Angeln Nord
Grafik: 26

2018 Angeln Nord
Grafik: 27

2017 Angeln Nord
Grafik: 28

2018 Angeln Nord
Grafik: 29

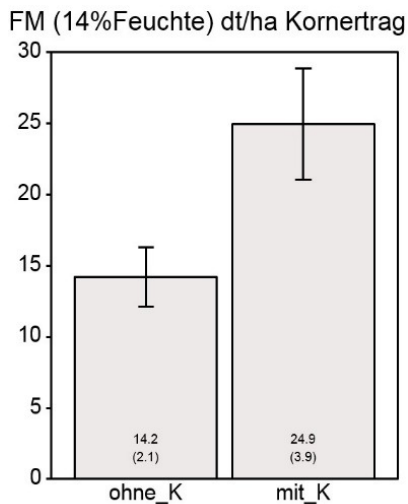
Fazit: der Einsatz von Komposttee bei dem Tastversuch der Kulturpflanzen Hafer und Ackerbohnen hat bei Stress durch Trockenheit einen signifikant höheren Ertrag in 2018 gezeigt. In dem nassen Anbaujahr 2017 davor konnte kein positiver Einfluß auf den Ertrag von Dinkel, Hafer und Sommergerste festgestellt werden.



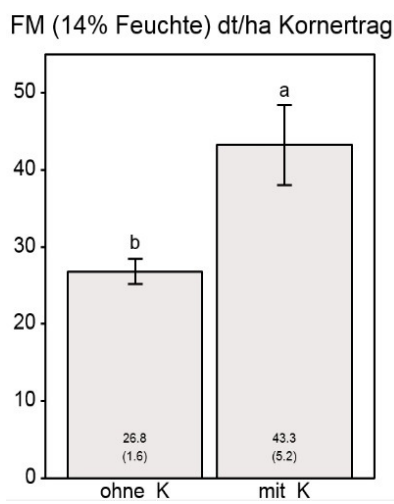
Bild 43: Fortbildung zum Thema Komposttee mit Dr. Ingrid Hörner. In Ländern wie USA, Australien, Neuseeland, Kanada, Südafrika, wo längere Trockenperioden häufig vorkommen, ist der Einsatz von Komposttee weiter verbreitet. Kompostteeaufbereiter gibt es in vielen Varianten (s. Internet unter compost tea brewer). Wer sich näher mit dem Thema befassen möchte, findet im deutschsprachigen Internet einige Informationen bei Eingabe von „Komposttee herstellen“, auch empfohlene Mischungen von Dr. Ingrid Hörner, die als Referentin im März 2019 in einer öffentlichen Veranstaltung des EIP-Projektes ihr Wissen mitteilte.

Fokus Ackerbohne: positiver Einfluss bei Trockenstress durch Kompost / Komposttee in 2018

Kompostdüngung



Kompostteegabe



Sowohl Kompost als auch Komposttee zeigten im Dürrejahr 2018 eine Wirkung auf Ackerbohnen: in den Grafiken 25 und 26 sind von zwei verschiedenen Standorten die Erträge zu sehen: einmal aus dem südlichen Angeln mit Betonung auf Sand (Sl), hier wurde Kompost eingesetzt, der zu einer tendenziellen Ertrags-erhöhung führte, und im

Standorte: Angeln Nord

Grafik: 30 Dürrejahr 2018 Gabe von Kompost zu Ackerbohne

Angeln Süd

Grafik: 31 Dürrejahr 2018 Gabe von Komposttee zu Ackerbohne

nördliches Angeln mit Betonung auf Lehm (Ls), wo der Einsatz von Komposttee eine signifikante Ertragssteigerung bedingte.

Es wurden auf dem Standort südliches Angeln neben der betriebsüblichen Düngung 19 t/ha Kompost Anfang April 2018 ausgebracht.

Auf dem Standort nördliches Angeln 200 l/ha am 14.5.2018.

Fazit: Die Grobleguminose Ackerbohne reagierte im Dürrejahr 2018 durch eine Kompostdüngung tendenziell, durch eine Gabe von Komposttee signifikant mit höheren Erträgen.

ii. Bodenbearbeitung und Kompostdüngung optimieren

Dipl.Ing. Gartenbau Ing. Agrochemie Walter Witte empfiehlt eine „Deckelung“ nach jeder Bodenbearbeitung: Durch die lockernde Bodenbearbeitung gelangt Sauerstoff (O₂) in den bearbeiteten Horizont. Dieser Sauerstoff fördert die Aktivität der Mikroorganismen. Sie zersetzen organische Substanz und Kohlendioxid (CO₂) entsteht. Diese Mineralisierung wird durch eine Verdichtung der Oberfläche gedämmt, „Deckelung“ genannt.

Weniger Kohlendioxid (CO₂) entweicht, reduzierende Verhältnisse im Boden entstehen und Bakterien bilden Ameisensäure, die mehr Mineralien für Pflanzenwurzeln freisetzt. Auch Stickstoff (N) wird in nicht flüchtige Amide umgesetzt, der dadurch für die Pflanzen verfügbar wird.

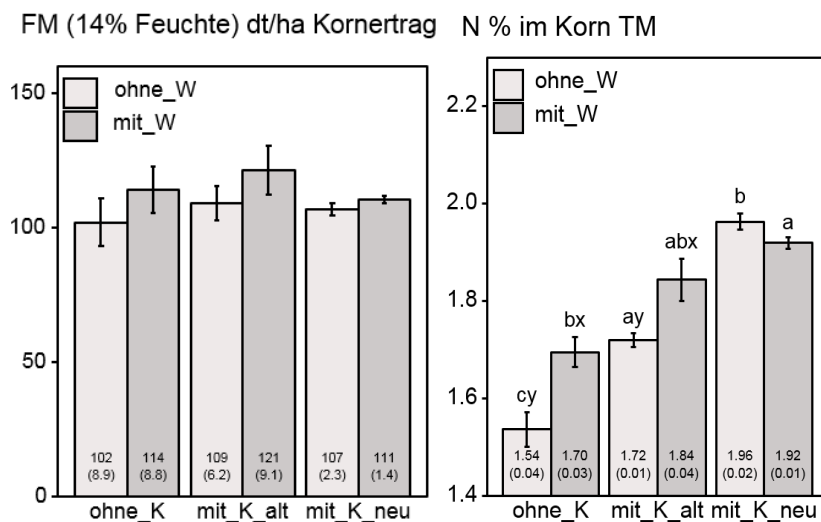
Wird mit Kompost gedüngt, vorverdauen und verbauen die sehr aktiven Bodenorganismen (Bakterien und Enzyme) die organischen Substanzen optimal in einem feuchten Boden bei Temperaturen ab 8°C innerhalb von 6-8 Tagen.

Stroh, Gründünger, Kompost und Mist werden durch die Mikroorganismen gut verrottet und zersetzen sogar kleine Unkrautsamen. Hierfür sollte der Boden im Bereich von 5-15 cm großporig und locker sein.

Folgende Arbeitsschritte sind dafür geeignet:

1. Gut mischender Stoppelgrubber mit 15 cm Arbeitstiefe mischt die frisch ausgebrachte organische Substanz in den Boden ein. Die oberste Bodenschicht, ca. 5 cm, soll dabei relativ feinkrümelig sein. Sie wird anschließend durch anwalzen (Stegwalze, doppelte Stabwalze), schleppen oder eggen „gedecktelt“. Dadurch gelangt weniger Kohlendioxid aus dem Boden in die Atmosphäre.
2. Nach diesem Arbeitsschritt muß der Acker 14-20 Tage ruhen. Die unter 1. durchgeführte „Scheinbestellung“ bringt jetzt Unkräuter zum Keimen.
3. Es folgt eine sehr flache Bodenbearbeitung, um das gekeimte Unkraut zu bekämpfen mit anschließender Saat. Dies kann eine Egge mit nachfolgender Drille oder eine Saatkombination Kreiselegge-Drille sein.
4. Nach fünf Tagen wird der Oberboden noch einmal fein krümelig mit walzen oder striegeln hergerichtet. Ziel dieser Maßnahme ist wiederholt CO₂ im Boden zu halten.

Dieses Verfahren wurde im Erntejahr 2018 auf einer konventionell bewirtschafteten Fläche erprobt.



In Grafik 27 ist der Winterweizenertrag 2018 mit drei Varianten mit unterschiedlicher Kompostgabe jeweils ohne und mit walzen dargestellt (ohne W = ohne walzen, mit W = mit walzen). Die Erträge „mit walzen“ sind statistisch signifikant nicht abgesichert, aber in allen drei Varianten findet sich eine positive Tendenz.

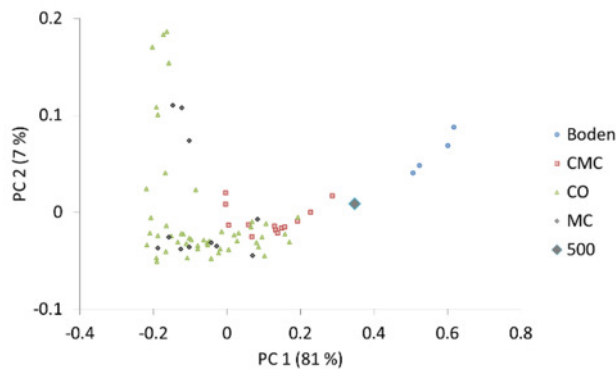
Grafik 32 Kornertrag dt/ha und Grafik 33 N% im Korn TM mit unterschiedlich alten Komposten gedüngt und ohne / mit walzen

Der „Kompost alt“, aufgesetzt nach dem MC-Verfahren, wurde am 3.3.2018 im Alter von 31 Wochen mit einer Menge von 12 to/ha ausgebracht, nicht eingearbeitet. Der „Kompost neu“ wurde auch nach dem MC-Verfahren aufgesetzt und im Alter von 6 Wochen ebenfalls am 3.3.2018 mit 12 to/ha ausgebracht, nicht eingearbeitet. Der Winterweizen wurde am 18.10.2017 pfluglos bestellt, Vorrucht Raps, Vorarbeit: 5.8.17, 15.8.17, 28.8.17 jeweils einmal gestriegelt, 15.9.17 einmal Spatenrollegge, 27.9.17 15 cm tief gegrubbert, dann kam Regen, 15.10.17 Kultivator. Auf der Variante „mit walzen“ wurde eine Cambridgewalze am 21.10.2017 und 10.4.2018 eingesetzt.

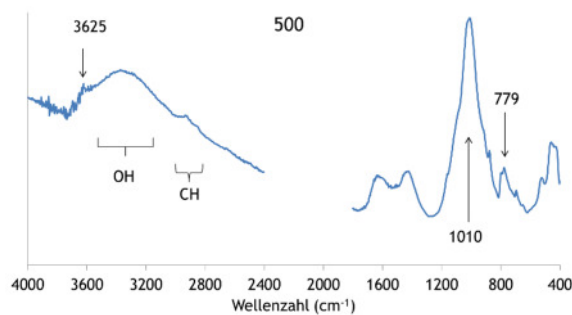
In der Variante „ohne Kompost“ (entspricht „ohne K“ in der Grafik) und mit „Kompost alt“ (entspricht „mit K alt“ in der Grafik) lagen die Erträge im Durchschnitt in der gewalzten Variante ca. 10-12% höher, allerdings nicht signifikant abgesichert. In der Variante „Kompost neu“ (entspricht „mit K neu“ in der Abbildung) ist kaum ein Ertragsunterschied gewalzt-nicht gewalzt zu sehen.

In den **Varianten „ohne“ Kompost“ und „mit Kompost alt“** sind die **N-Gehalte jeweils signifikant verschieden** und zeigen jeweils positive Ergebnisse für die gewalzte Variante. Das Walzen in der Variante „junger Kompost= Kompost neu“, wirkt tendenziell negativ auf den N-Gehalt im Korn. Innerhalb der Gruppe (Buchstaben a, b, c) „mit walzen“ sind die Varianten „ohne Kompost“ und „mit Kompost neu“ signifikant verschieden für den N-Gehalt im Korn.

Die eingesetzten Komposte wurden in der BoKu Wien untersucht, s. Kapitel „FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte“. Die Auswertung dieser beiden Komposte, Probe Nr. 500 und 501 sind hier dargestellt, sie erklären sehr gut die unterschiedliche Wirkung auf den Boden und somit auf die Winterweizenerträge:
Kompostprobennr.: 500

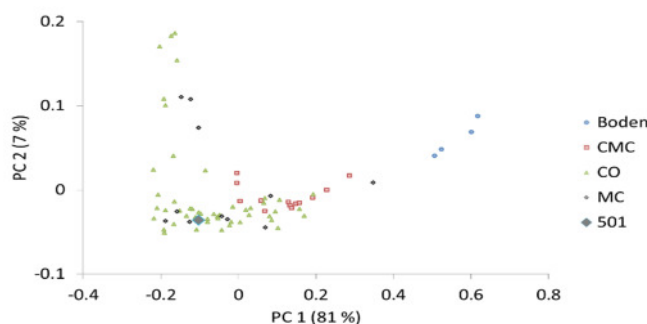


Komponenten: 94% Pferdemit, 6% Holzhackschnitzel und Grünschnitt, je nach Jahreszeit
Beprobtes Objekt: Kompostprobe
Alter bei Probenahme: 30,9 Wochen
Trockenmasse: 61,6 % FM
pH: 7,3
Mineralanteil: 83,2 % TM
N ges: 0,8 % TM
C ges: 9,5 % TM
C/N-Verh.: 12,6

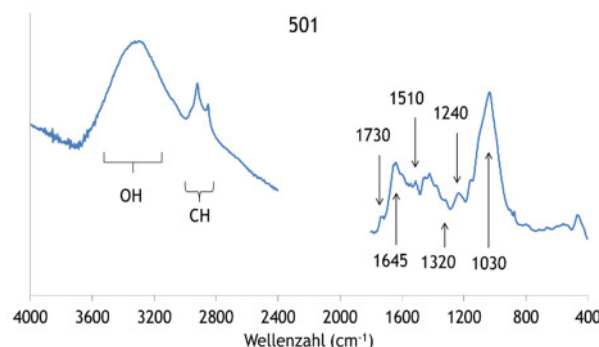


Kurze Beschreibung einiger markanter Kennzeichen: Hoher silikatischer Mineralanteil, geringer Organikgehalt (sehr schwache Methylenbanden), ausgereift, geringer N-Gehalt

Kompostprobennr.: 501



Komponenten: 94% Pferdemit, 6% Holzhackschnitzel und Grünschnitt, je nach Jahreszeit
Beprobtes Objekt: Kompostprobe
Alter bei Probenahme: 6,1 Wochen
Trockenmasse: 23,8 % FM
pH: 8,4
Mineralanteil: 28,3 % TM
N ges: 1,9 % TM
C ges: 37,8 % TM
C/N-Verh.: 20,1



Kurze Beschreibung einiger markanter Kennzeichen: Silikatischer Mineralanteil, hoher Organikgehalt (starke Methylenbanden, Banden bei 1730, 1320 und 1240 cm⁻¹), nicht ausgereift, hohes C/N Verhältnis

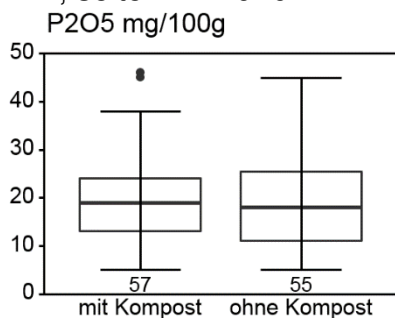
Fazit: Die Tendenzen der höheren Erträge durch „Deckelung“ nach lockernden Bodenbearbeitungen verlangen Aufmerksamkeit. Sowohl in der Variante „ohne Kompost“ als auch mit der Variante „mit Kompost alt“ waren tendenziell höhere Erträge zu beobachten. Der 6 Wochen alte, noch nicht fertig gereifte Kompost (s. Erläuterung zur Probe 501) führte zu keinen höheren Erträgen, aber zu höheren N-Gehalten im Korn im Vergleich zu keiner Kompostgabe, obwohl zu allen Varianten mineralischer Dünger eingesetzt wurde. Signifikant gesteigert werden konnte der N-Gehalt im Korn durch walzen in der Variante „ohne Kompost“ und „altem“ Kompost. Da ein Versuchsjahr im Ackerbau kein Jahr ist, erscheinen weitere Untersuchungen zu diesem Thema lohnend.

4. Bodenanalysen

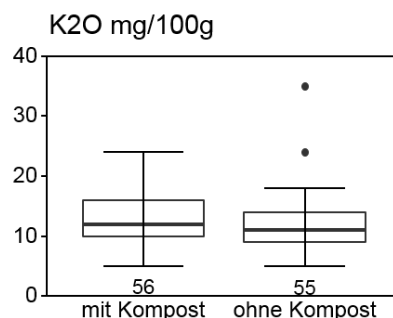
i. Bodenanalysen nach VDLufa Messmethode

Auf den Versuchsflächen wurde zusätzlich zu der betriebsüblichen Düngung die Varianten „Kompostdüngung“ und „Kompostteegabe“ über drei Anbaujahre (2016-2018) mit 132 Bodenproben begleitet. Der pH-Wert, P-, K- und Mg-Gehalt wurden nach VDLufa-Standardmessmethoden ermittelt.

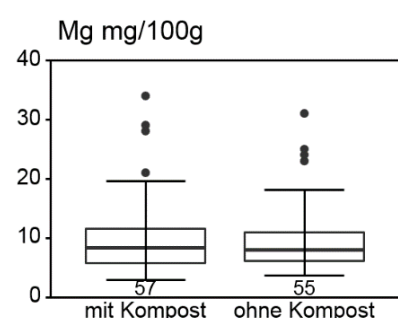
Die Böden der Praxis-Versuchsstandorte lagen in den unterschiedlichen Naturräumen in Schleswig-Holstein und spreizten daher von sandigen Böden bis Marschböden auf. Alleine diese Rahmenbedingungen sorgten für sehr unterschiedliche Gehalte an den Nährstoffen Phosphor, Kali und Magnesium: so sind in schwerer Marsch sehr oft geogen bedingt Magnesiumgehalte der Stufe D und E zu finden. Der pH-Wert lag auf den meisten Standorten in der Einstufung von B und C, in einem Fall in A, selten in D und E.



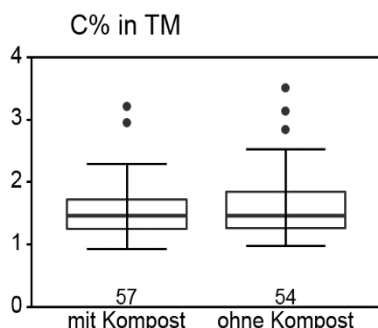
Grafik 34: Phosphor-,
Gehalt in mg/100g Boden mit/ohne Kompostdüngung



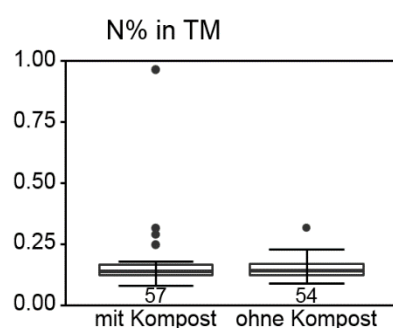
Grafik 35: Kali- und



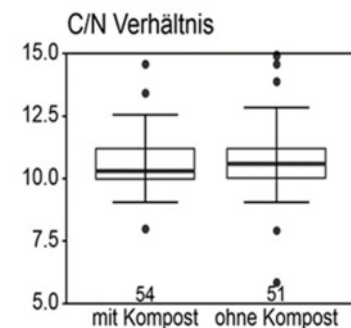
Grafik 36: Magnesium-



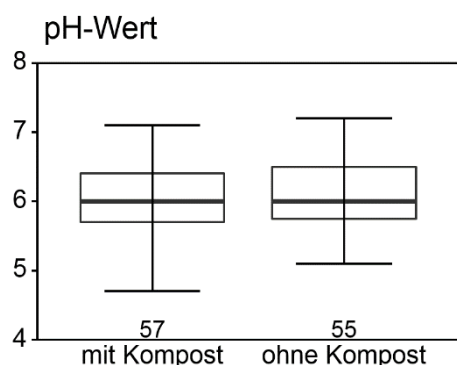
Grafik 37: C% in der TM,
alle mit/ohne Kompostdüngung



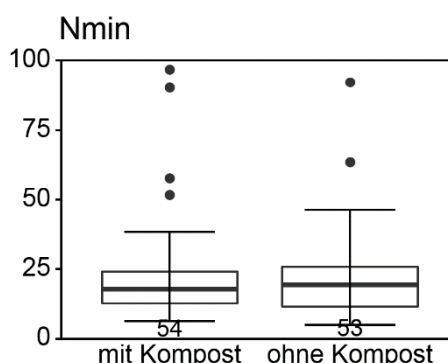
Grafik 38: N% in der TM



Grafik 39: C/N Verhältnis



Grafik 40: pH-Wert und nicht mit diesen Messmethoden nachgewiesen werden



Grafik 41: Nmin mit/ohne Kompostgabe

Fazit: Eine Erhöhung der einzelnen Nährstoffe oder des pH-Wertes konnte durch eine Kompostgabe oder den Einsatz von Komposttee

Bodenanalysen FTIR-Untersuchungen

Zwei Bodenprobenpaare, jeweils „ohne“ bzw. „mit“ Kompost gedüngt, wurden exemplarisch mit der FTIR-Spektroskopie-Methode analysiert. In den Einzelproben „mit“ (Nr. 311, 321) konnten keine Unterschiede im Vergleich zu keiner erfolgten Kompostdüngung festgestellt werden (s. auch Anhang FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte).

ii. Bodenanalysen für die Ermittlung der Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die **Kationenaustauschkapazität** (Abk.: **KAK**, **T-Wert**) ist ein Maß für die austauschbaren Kationen und damit die Zahl an negativen Bindungsplätzen von Kationenaustauschern im Boden. Sie hängt von der chemischen Zusammensetzung des Bodens ab und auch von der mechanischen, da die effektive Wirkoberfläche mit der Größe der Kolloide zusammenhängt. Sie stellt einen wichtigen Kennwert des Bodens dar. Die Summe der austauschbaren Kationen – sowohl der basisch wirksamen, wie Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , als auch der sauren, wie Al^{3+} , Fe^{3+} neben H^+ – welche an die negativen Bindungsplätze organischer wie anorganischer Austauscher im Boden gebunden sind, wird experimentell durch den Austausch mit einer Neutralsalzlösung bestimmt. Austauschbare Kationen beeinflussen wichtige Bodeneigenschaften wie das Gefüge, den Wasser- und Lufthaushalt, die Bodenreaktion und nicht zuletzt die biologische Aktivität. Sie betreffen damit unmittelbar die Nährstoffversorgung der Pflanzen (nach wikipedia, 2019).

Nach Dr. William Albrecht, USA (1888-1974), sind die Nährstoffe in ein Gleichgewicht zu bringen, wobei die Hauptnährstoffe in einem bestimmten Verhältnis vorliegen sollten: Ca (68%): Mg (12%): K (4%): auf dieser Basis geben verschiedene Beratungsbüros Empfehlungen.

Vergleich KAK Düngeempfehlungen

Einzelne OG-Mitglieder hatten KAK Bodenanalysen von verschiedenen Beratungsbüros durchführen lassen, wobei die Analyseergebnisse und Düngeempfehlungen sehr variierten. Deshalb beschloss die Gruppe mit einer standardisierten Bodenprobe die Angaben der verschiedenen Anbieter zu vergleichen, bevor innerhalb des EIP Projektes die weiteren Proben von einem Anbieter ausgewertet werden sollten. Es wurden jeweils zwei gleiche Proben versendet, um ggf. Abweichungen der Laborergebnisse ermitteln zu können. Ausnahme war aus finanziellen Erwägungen die Firma TB Unterfrauener GmbH, an die nur eine Probe versendet wurde. Die Ergebnisse der Analysen vergleichend zusammenzustellen war eine Herausforderung, da jedes Beratungsbüro diese individuell zusammengestellt hatte. Tabelle 13 und 14 zeigen eine Zusammenstellung, die Originalanalysen sind im Anhang unter C VII zu finden.

Tabelle 13: Vergleich Analysen/Düngeempfehlungen verschiedener Labore

	DK Levende jord Nr.66026	DK Levende jord Nr.66026	DK Levende jord Nr.66026	DK Levende jord Nr.66027	DK Levende jord Nr.66027	DK Levende jord Nr.66027	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2S	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2S	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2S	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2T	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2T	Bayer Handelsvertretung Nr.J4V2T
	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff in kg/ha: zu viel ±; zu wenig +	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff in kg/ha: zu viel ±; zu wenig +	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha für WiRo 25 dt/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff kg/ha: zu viel ±; zu wenig -	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha für WiRo 25 dt/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff kg/ha: zu viel ±; zu wenig -
Ca	200	Dolomitenkalk mit 10% Mg	-603	200	Dolomitenkalk mit 10% Mg	-651	0		599	0		537
Mg	1100	Kieserit, bei über 500 kg/ha: Dünger auf 3 Jahre verteilen	207	1300	Kieserit, bei über 500 kg/ha: Dünger auf 3 Jahre verteilen	232	448	ESTA Kieserit gran.	-120	448	ESTA Kieserit gran.	-121
K	450	Kalisulfat 0-0-50 (enthält 41% K und 15% S)	217	450	Kalisulfat 0-0-50 (enthält 41% K und 15% S)	186	224	Kalisulfat 0-0-50	-149	224	Kalisulfat 0-0-50	-148
P2O5	150	Rohphosphat 27%	94	150	Rohphosphat 27%	86	keine Düngeempfehlung		-520	keine Düngeempfehlung		-556
N			ENR 17,6			ENR 17,6			ENR 102			ENR 100
S	20	Schwefel 90%	14,0	50	Schwefel 90%	14,8	196	Schwefel 90-92%	1	196	Schwefel 90-92%	1
Bor	10	Borsäure 17,4% 95% Na Steinsalz nur zu bestimmten Kulturen	ist ppm 0,4 (soll 1,2-2,4)	10	Borsäure 17,4% 95% Na Steinsalz nur zu bestimmten Kulturen	ist ppm 0,4 (soll 1,2-2,4)	14	Borsäure 17,4%	ist ppm 0,83	14	Borsäure 17,4%	ist ppm 0,74
Na	0		23	0		24	0		12	0		14
Mn	0		ist ppm 104 (soll 18-70)	0		ist ppm 102 (soll 18-70)	0		ist ppm 108,47	0		ist ppm 99,28
Cu	5	Kupfersulfat 23% Cu	ist ppm 2,3 (soll 2,5-2,7)	5	Kupfersulfat 23% Cu	ist ppm 2,3 (soll 2,5-2,7)	0		ist ppm 2,28	0		ist ppm 2,07
Zn	2	Zinksulfat 36 % Zn	ist ppm 3,7 (soll 4,1-10)	2	Zinksulfat 36 % Zn	ist ppm 3,7 (soll 4,1-10)	24	Zinksulfat 36% optional	ist ppm 10,81	17	Zinksulfat 36% optional	ist ppm 9,70
Fe	0		ist ppm 283 (soll 18-189)	0		ist ppm 290 (soll 18-189)	0		ist ppm 849,34	0		ist ppm 795,73
Mo	0			0								
Al												
Si												

Tabelle 14: Vergleich Analysen/Düngeempfehlungen verschiedener Labore

	Geobüro Christopherl,18H B1236	Geobüro Christopherl,18H B1236	Geobüro Christopherl,18H B1236	Geobüro Christopherl,18H B1237	Geobüro Christopherl,18H B1237	Geobüro Christopherl,18H B1237	TB Unterfrauner GmbH	TB Unterfrauner GmbH	TB Unterfrauner GmbH	TB Unterfrauner GmbH	TB Unterfrauner GmbH	TB Unterfrauner GmbH
	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha für WiRo 25 dt/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff kg/ha: zu viel ±; zu wenig -	Nährstoffe aus Düngeempfehlung berechnet kg/ha für WiRo 25 dt/ha	empfohlener Dünger	Rein-Nährstoff kg/ha: zu viel ±; zu wenig -	Rein-Nährstoff kg/ha pflanzenverfügbar zur Probenahme	Bewertung zur Probenahme	Diff. kg/ha Düngung empfohlen zu WRoggen, 25 dt/ha	% CE pot am Magnet	Melioration (Maßnahme zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit) kg/ha	Melioration empfohlener Dünger
Ca	0		683	0		746	4065	Überschuss	0	günstig	1210	Dolomit mit 40%MgCO3
Mg	448	Kieserit	-114	448	Kieserit	-107	175	ausreichend	0	sehr niedrig	1000	Kieserit; entspricht 150 kg/ha Mg
K	280	Kalisulfat 0-0-50	-268	280	Kalisulfat 0-0-50	-267	120	Überschuss	0	sehr niedrig	1024	Kalisulfat 0-0-50 entspricht 420 kg/ha K
P2O5	keine Düngeempfehlung		20 kg/ha P2O5 verfügbar; Vorrat 471 kg/ha P2O5	keine Düngeempfehlung		16,4 kg/ha P2O5 verfügbar; Vorrat 471 kg/ha P2O5	10	Überschuss	0		0	
N							s.u. spezifiziert		0		0	
S	95	elementarer Schwefel 90%	ist 13 ppm	78	elementarer Schwefel 90%	ist 20 ppm	29,0	ausreichend, sehr niedrige Reserve	0		60	Gips (CaSO4*2 H2O)
Bor	13	Borsäure 17%	ist 0,3 ppm	13	Borsäure 17%	ist 0,3 ppm	0,11 kg/ha	ausreichend	0		0	
Na			31			45	nur in CEC pot % angegeben: 0,5	günstig	0		0	
Mn	0		ist ppm 109,5	0		ist ppm 110,3	1,25 kg/ha	extremer Überschuss	0		0	
Cu	0		ist ppm 2,9	0		ist ppm 2,9	0,03 kg/ha	extremer Überschuss	0		0	
Zn	28	Zinksulfat 36%	ist ppm 6,6	28	Zinksulfat 36%	ist ppm 6,6	0,00 kg/ha	starker Mangel	0,3		0	
Fe	0		ist ppm 613,4	0		ist ppm 629,5	0,1 kg/ha	starker Mangel	1,0		0	
Mo							0,01 kg/ha	ausreichend	0		0	
Al								keine Auffälligkeiten				
Si							27 kg/ha	Si kann P mobilisieren	0		0	

Die Bodenproben wurden an folgende Bodenanalyseanbieter (inkl. Ansprechpartner, soweit bekannt), auch an Boden Gesundheits Dienst und Agrolab, die keine KAK-Düngeempfehlung geben, gesendet:

Boden Gesundheits Dienst, EUF Analyse, Dr. Horn
 Bayer Handelsvertretung, York Bayer
 Geobüro Christopherl, Dr. Christopherl

KAK-Bodenanalysen zu Kompostdüngungen verglichen

Es wurden insgesamt 77 Bodenproben für eine Untersuchung an ein Labor in die USA gesendet, von denen 59 Proben auf dem Transportweg verloren gingen, 5 Reserveproben konnten nachgesendet werden, folglich erfolgte nur eine eingeschränkte Auswertung. Die durchgeführten Analysen von den unterschiedlichen Versuchsstandorten zeigten durch eine Kompostdüngung keine tendenzielle Erhöhung der Nährstoffe. Als einzelner Nährstoff fiel Calcium auf, der in Ausnahmen den maximal gewünschten Wert der Basensättigung von 70% in der Kompostdüngungsvariante überschritt. Eine Kompostgabe kann daher auch zu einem unerwünschten Ungleichgewicht einzelner Nährelemente führen. Dies kann umso leichter geschehen, desto geringer die gesamte Kationenaustauschkapazität eines Bodens ist, vorkommend besonders auf sandigen Böden. Als besonderen Nutzen können die Ergebnisse zu den Spurenelementen genannt werden, die teilweise als im Mangel liegend eingestuft wurden und dadurch zukünftig eine intensivere Beobachtung verdienen.

Untersuchung auf Mikroorganismenaktivität,- vorkommen ausgewählter Bodenproben

Ausgewählte Bodenproben wurden auf das Vorkommen von Mikroorganismen mikroskopisch untersucht.

Der Anteil von Bakterien und Pilzen schwankte je nach Probe, die jeweils im Juni des Anbaujahres genommen wurden. Ein „merklicher Gehalt an Humus“ wurde in zwei von 3 Proben angemerkt, wobei in zwei Proben eine Gabe von Pflanzenkohle erfolgte. Die Ergebnisse der einzelnen Proben sind im Anhang C III „20190226 Bodenproben EIP Kompost“ zu finden. Hier eine Erläuterung zu den Probennummern:

Tabelle 12: für MO Untersuchung Probenzuordnung

Proben-nummer	Anbaujahr	Varianten Kompostdüngung	Zusätzliche Varianten	Zu Kultur
116	2016	MC		Gemenge
117	2016	CMC		Gemenge
151	2016	Kein Kompost		Winterweizen
152	2016	MC		Winterweizen
309	2017	MC	+Jauche	Sommergerste
310	2017	MC	+Jauche+Pflanzenkohle	Sommergerste
311	2017	MC		Sommergerste
312	2017	MC		Sommergerste
373	2017	CMC	ohne Pflanzenkohle	Sommerweizen
374	2017	CMC	mit Pflanzenkohle	Sommerweizen

Auch hier, wie in den mikroskopierten Kompostproben, wurden in mehreren Proben unerfreulich Plastikpartikel gefunden.

Fazit: die Mikroskopien zeigten das Vorkommen an Bakterien und Pilzen, die durch den Kommentar nachvollziehbar wurden. Auch in diesen Proben wurden unerfreuliche Plastikartikel gefunden.

e) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Das EIP-Projekt „Innovation Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit“ lässt sich dem EU-Schwerpunkt „Ressourcen und Umwelt“ zuordnen, da es eine Steigerung der Effizienz des Ressourceneinsatzes und die Erhaltung und Gesundung der weltweit gefährdeten Ressource Boden als Themen inhaltlich bearbeitete. Ökologisch wirtschaftende Betriebe initiierten das Projekt, wodurch die Projektergebnisse der EIP-Fokusgruppe „Ökologische Landwirtschaft“ zuzuordnen sind. Auch das Engagement eines teilnehmenden konventionell wirtschaftenden Betriebes in der OG-Gruppe führte zu einem Mehrertrag an Erkenntnissen für ökologische Betriebsleiter. Für Kompostierungssysteme wurden QM Kontrollen erprobt, die einen ressourcenschonenden Umgang mit betriebseigenen Komponenten ermöglichen. Die für die OG-Mitglieder neuen Kompostierungsverfahren (MC-System, Komposttee) Zuschlagstoffe (Bio-Pflanzkohle) und Bodenbearbeitungstechniken („Bodendeckelung“ für höhere CO₂ Speicherung im Boden) wurden untersucht auf Auswirkungen auf das Ackeranbausystem hinsichtlich ihrer Resilienz. Gerade im Dürrejahr 2018 in Schleswig-Holstein konnten höhere Erträge signifikant/tendenziell mit Kompostdüngung und Gaben von Komposttee nachgewiesen werden. Die untersuchten Methoden sind als „ökologische“ Bausteine für eine Anpassung an den Klimawandel einzustufen.

f) Nebenergebnisse

Für die Beteiligten bot sich durch das Projekt der interdisziplinären Zusammenarbeit von landwirtschaftlicher Praxis, Wissenschaft, Forschung und Beratung die Möglichkeit neue Erkenntnisse in ihre Tätigkeit aufzunehmen. Das entstandene Netzwerk in der Projektlaufzeit wird auch für zukünftige Aufgabenstellungen genutzt werden. Der Blick auf die Bodeninhaltsstoffe führte schon im Jahr 2019 zu weiteren praktischen Untersuchungen von OG-Mitgliedern in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Partner vor Ort und der Beratung, deren Ergebnisse im kommenden Winterhalbjahr gemeinsam diskutiert werden. Einen weiteren Fokus werden die Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis der im Projekt erfolgten KAK-Analysen bilden.

Durch die durchgeführte Fachexkursion angeregt erwarb sich ein OG-Mitglied ein Bodenbearbeitungsgerät für den schonenden Kleegrasumbruch, das die Bodenfruchtbarkeit fördert, in dem weniger wendende Bodenmaßnahmen notwendig sind.

Das Abklären der rechtlichen Rahmenbedingungen des Betriebsmittels „Bio“-Pflanzkohle ermöglicht interessierten Betriebsleitern zukünftig einen kalkulierbaren Umgang mit diesem Betriebsmittel.

g) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Auf Grund von Abstimmungsschwierigkeiten sind vereinzelte Ernteschnitte nicht durchgeführt, bzw. falsch bis zur Probenaufbereitung gelagert worden. Analysen wurden an beauftragte Labore verschickt, wobei eine Sendung mit 59 von Bodenproben in die USA verloren ging. Die geplante Auswertung der KAK-Analysen konnte wegen unzureichender Rückstellmengen dieser Bodenproben dann nur in einem reduzierten Umfang erfolgen.

B V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Durch die Ergebnisse, die Mischungsverhältnisse, Arbeitsaufwand, Prozessablauf und Inhaltstoffe für die beiden Kompostsysteme umfassen, liegen Orientierungswerte

für betriebseigene Kompostierung und Handlungsstrategien für den praktisch tätigen Landwirt vor.

Die Kompostqualität ist entscheidend erstens für das kurzfristige Ziel einer Ertragssteigerung und zweitens für die langfristige Huminstoffbereitstellung im Boden.

Die gezeigten Temperaturvergleichskurven können nützlich sein für die Qualitätskontrolle des Kompostierungsprozesses.

Evtl. auftretende Mängel im fertig kompostierten Substrat sind mit der FTIR-Spektroskopie gut ersichtlich.

Die Gabe von Komposttee führte im Dürrejahr 2018 zu signifikanten Mehrerträgen der untersuchten Kulturpflanzen Hafer und Ackerbohnen. Die ausgebrachten Mikroorganismen reduzierten den Trockenstress.

Eine Kompostdüngung von ca. 8-10 to/ha mit einem ausgereiften Kompost, selbst erzeugt oder zugekauft, bewirkte Mehrerträge. Empfehlenswert ist die Basensättigung des Bodens vor der Kompostdüngung, insbesondere ein „zuviel“ an Calcium, im Blick zu behalten.

Vielversprechend war die verbesserte Bodenbearbeitung durch Walzen („Deckelung“), um mehr CO₂ im Boden zu halten.

B VI. Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Bereits während der Durchführung erkundigten sich andere BetriebsleiterINNEN nach den Projektfortschritt. Deshalb initiierte der Leadpartner auf Wunsch der OG-Mitglieder einen Mailverteiler für Interessierte. Zu den Inhalten des Projektes wurden mehrere Fachartikel veröffentlicht und Vorträge gehalten, weitere sind geplant. Alle Partner des Projektes konnten ihre Kompetenz zu den Kompostierungsprozessen und dessen Wirkungen im Ackerbau erweitern. Auch über das Ende des Projekts hinaus planen OG-Mitglieder ein Treffen in diesem Jahr.

B VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Für eine erfolgreiche Implementierung von Kompost in die landwirtschaftliche Praxis sind weitere Untersuchungen durchzuführen. Probleme bereitet oft, dass der Mietenkern zu trocken wird oder im Gegenteil durch zu viel Flüssigkeit Perkolate austreten. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Minimierung der Kontamination durch Plastikpartikel. Interessant wären die mikrobiologischen Zusammenhänge der „weißen Schicht im MC Verfahren zu erklären, die während des Kompostierungsprozesses zum Mietenkern wandert. Bei der Herstellung von Komposttee verdient das Qualitätsmanagement dieses Verfahrens besondere Aufmerksamkeit. Außerdem ist der Einsatz auf den Ackerflächen für die Kulturpflanzen optimierungsfähig.

Die Bodenbearbeitung zur Kompostdüngung bietet Potentiale für weitere CO₂-Anreicherung bei mindestens gleichbleibenden Erträgen.

B VIII. Administration und Bürokratie

Die Bürokratie bei der Projektabwicklung erschien insgesamt als zu umfangreich. Nicht ausreichend geklärte rechtliche Rahmenbedingungen führten zu unerwarteten administrativem Mehraufwand. Insofern wären verbindliche Vereinbarungen über die Rechtsgrundlagen wünschenswert gewesen. Weiterhin war die Liquidität des im Verhältnis zu „kleinen“ Leadpartners eine Herausforderung, weil alle Projektausgaben vorfinanziert werden mussten. Eine Vereinfachung der Angebotseinholung und Abrechnungsmodalitäten würde Zeit sparen, zeitnahe Kostenerstattung die Liquidität auch kleinerer Partner gewährleisten.

B IX. Nutzung des Innovationsbüro (Innovationsdienstleister, IDL)

Das Innovationsbüro war ein engagierter, kompetenter Ansprechpartner für die kleinen und großen Fragen, die während der Projektabwicklung laufend zu klären waren und zeitnah und freundlich beantwortet wurden. E-Mails zu aktuellen Themen und Veranstaltungshinweise rundeten den Service ab. Die Fortbildungsangebote für die Leadpartner waren hilfreich, ebenso wie die Förderung des Gedankenaustausches über die schleswig-holsteinischen Grenzen hinaus.

B X. Kommunikations- und Disseminationskonzept

a) Kommunikation der Ergebnisse

Zur Dissemination der Projektinhalte wurden Fachartikel veröffentlicht, Vorträge gehalten und Fortbildungsveranstaltungen zu den Projektthemen durchgeführt, und auf einer Fachmesse wurde ein Info-Stand betreut. Der Leadpartner hat bereits Zusagen für weitere Artikel und Vorträge gemacht. Intensiver fachlicher Austausch belebte die OG-Treffen.

Fachartikel

16.6.2018 Bauernblatt Schleswig-Holstein: Bodenfachtag in Angeln Humusgehalt im Boden steigern heißt Klimaerwärmung senken

26. Woche 2018 Bauernzeitung Mecklenburg-Vorpommern: Alternatives Düngungssystem

1/2019 Landinform: Kompost innovativ

10/2018 Ökoring im Norden e.V. (Mitgliederrundbrief) Pfluglos auf Biobetrieben 2018 ackern: so funktioniert es in Süddeutschland

5/2019 Ökoring im Norden e.V. (Mitgliederrundbrief) Komposttee hilft Pflanzen bei Trockenstress

8/2019 Ökoring im Norden e.V. (Mitgliederrundbrief) Bodenanalysen Basis für „Pflanzenwohl“

Geplant Artikel Abgabe 10/2019 für Fachzeitschrift LOOP

Geplant Artikel Abgabe 10/2019 Bauernblatt Schleswig-Holstein

Vorträge

21.6.2017 Öko-Feldtage Domäne Frankenhausen Forumsvortrag: Erfahrungen aus dem EIP Projekt „Innovation Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit“

26.9.2017 EIP-EU Veranstaltung, auf Exkursion zum Lindhof: Innovative Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit

11.10.2017 Borgstedt, Bioland Praktikertag: Aktuelle Forschungsergebnisse des EIP Innovation Kompostsysteme und Bodenfruchtbarkeit

25.5.2018 Hürup, Bodenfachtag in Angeln: Ergebnisse aus dem EIP Projekt Innovation Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit

31.8.2018 Norla, Humusforum Veranstaltung VHE: Innovative Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit

15.11.2018 Barsinghausen-Holtensen EIP Kompostprojekt Nds: workshop Kompost, Bodenfruchtbarkeit

3.5.2019 Bimöhlen, Jahresmitgliederversammlung Ökoring im Norden, Innovative Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit

12.11.2019 geplant: Veranstaltung Böden machen Klima – Bäuer*innen machen mit! Vortrag: Innovative Kompostsysteme für mehr Bodenfruchtbarkeit –EIP agri-Projektergebnisse (2015 - 2019) und weitere Erkenntnisse

Messe

21./22.6.2017 Öko-Feldtage Domäne Frankenhausen, Kompost Sonderschau, Infostand zu EIP Projekt

Durchgeführte Fortbildungsveranstaltungen

- 25.5.2018 Hürup, Bodenfachtag in Angeln: Mitveranstalter
20.3.2019 Stockelsdorf, Dr. Christel Baum: Wirkung von Kompost auf die Bodenbiologie
26.3.2019 Hürup, Dr. Ingrid Hörner: Herstellung und Wirkung von Komposttee
29.3.2019 Stockelsdorf, York Bayer: Auswirkung von Kompostgaben auf die Bodenchemie

b) Grundsätzliche Schlussfolgerungen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP AGRI

Die OG-Mitglieder selbst planen die verantwortungsvolle Aufteilung der vorhandenen Mittel für die Forschungsausgaben, was gerade bei kleineren und praktisch orientierten Projekten bedeutend ist und deshalb vermehrt unterstützt werden sollte, da die Wissenschaft nur bezahlte Aufträge bearbeiten kann. Für den akademischen Betrieb ist es nicht von Nachteil, in engere Beziehung mit der Praxis zu treten. Umgekehrt ist dieser Austausch auch für die Landwirtschaft von Nutzen. Die Moderation und Bündelung der Themen durch eine landwirtschaftliche Fachberatungskraft und eine enge Vernetzung von Betriebsleiter-Berater-Wissenschaftler, die sich durch ein solches Projekt ergeben, können die Kompetenzen aller Beteiligten erweitern.

Danke

Ein besonderes Dankeschön an das OG-Mitglied Dr. Ralf Loges und sein Team, CAU Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, - Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau – für die sehr engagierte und fundierte Zusammenarbeit!

C Anhang

C I. Abkürzungen

- OG= Operationelle Gruppe
CMC= Controlled Microbial Composting
MC= Mikrobielle Carbonisierung
FM = Frischmasse
TM = Trockenmasse
N = Stickstoff
C= Kohlenstoff
QM= Qualitätsmanagement
MO's=Mikroorganismen
ha = Hektar (10.000 m²)
oK = ohne Kompostdüngung
mK = mit Kompostdüngung
ohne Ber= ohne Berechnung
mit Ber= mit Berechnung
ohne W = ohne walzen,
mit W = mit walzen

**Anhänge CII bis CVII sind als zusätzliche Daten verfügbar unter www.eip-agri-sh.de
dort: EIP Innovationsprojekte/1.Call/Innovation Kompostsysteme
Bodenfruchtbarkeit**

C II. Mikroskopie Komposte und Keimzahlbestimmung mit Beurteilung MO's,
Ass. Prof. DI. Dr. Jona Ines Fritz Boku Wien, Department Interuniversitäres

Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie Tulln, Institut für Umweltbiotechnologie

C III. Mikroskopie Boden und Keimzahlbestimmung mit Beurteilung MO's, Ass.

Prof. DI. Dr. Jona Ines Fritz Boku Wien, Department Interuniversitäres

Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie Tulln, Institut für Umweltbiotechnologie

C IV. FTIR-Untersuchungen zur Humifizierung der erstellten Komposte, Dr.

Tintner-Olifrier und Dr. Smidt, Boku Wien, Department für Materialwissenschaften

und Prozesstechnik, Institut für Physik und Materialwissenschaften

C V. Unterschiedliche Verfahren für ein Kompost-Qualitätsmanagement,

vorgestellt von Henning Knutzen

C VI. Leitfaden für die Erzeugung von MC- und CMC- Komposten, Henning

Knutzen

C VII. Vergleich KAK Analysen Originalergebnisse

C VIII. Literatur

Binner, Erwin, Boku Wien, Institut Abfallwirtschaft, Vortrag in Kaindorf 2015: „Wie produziere ich huminstoffreichen Kompost?“

Dunst, Gerald, 2015, Kompostierung und Erdenherstellung, 2015, ISBN 978-3-9503088-1-5

Helm, Markus, Dissertation, KTBL 371, 1995, darin Nr.66 (Kost (1987) Kost, U.

Neues Leben aus dem Abfall: Chancen und Konzepte für eine ökologische

Kompostierung in den Kommunen. Dreisam-Verlag, Freiburg i. Br., 1987.

ITADA, Abschlussbericht „Stickstoffverfügbarkeit von Komposten im

Ökolandbau“ 1999-2001; Projektleitung: J. Weissbart/ B. Lammert; Partner: Dr. R.

Vetter, C. Groschupp; Mitbeteiligt: A. Berner, B. Leclerc, C. Schaub

Haßold-Piezunka, Nicola, Dissertation 2003: „Eignung des Chroma-Boden-Tests

zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad“

Witte, Walter, Die Microbielle Carbonisierung, 2013, ISBN 978-3-942975-11-7

Wonschik, Claus-Robert, Dissertation 2017: „Mikrobielle Carbonisierung -

Untersuchung und Bewertung von Verfahren und Produkt“