



Angewandte Forschung zur Kreislaufwirtschaft 2023 Optimierung der Kompostanwendung- Endbericht

Impressum

Herausgeber:

Magistratsabteilung 48 - Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark (MA 48)

Erstellt im Rahmen des Projektes: Angewandte Forschung zur Kreislaufwirtschaft 2023- Optimierung der Kompostanwendung

Februar, 2024

© Bio Forschung Austria, Wien

Esslinger Hauptstr. 132-134, A-1220 Wien, Österreich

Tel. +43 1 4000 49 150, e-mail: office@bioforschung.at

Autorinnen: Dr. Eva Erhart

Mag. Ivoneta Diethart

Mag. Marion Bonell

unter Mitarbeit des Bio Forschung Austria-Teams

Sämtliche Rechte, insbesondere der Vervielfältigung, der Veröffentlichung, der Digitalisierung und des öffentlichen Vortrages bleiben dem Urheber Bio Forschung Austria erhalten. Dieser Bericht darf nur mit Zustimmung von Bio Forschung Austria und nur vollinhaltlich, ohne Weglassung oder Hinzufügung veröffentlicht oder weitergegeben werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Arbeitspaket 1 – Fertigstellung des Leitfadens zur praxisnahen Differenzierung der Inputströme in Abhängigkeit von der Jahreszeit auf Basis der C/N-Analyse von Inputmaterialien.....	5
1.1 Einleitung	5
1.2 Methodik.....	5
1.3 Ergebnis	5
2. Arbeitspaket 2 -Fortsetzung Optimierung des Guter Grund-Substrates	8
2.1 Einleitung	8
2.2 Material und Methoden Pflanzentests.....	8
2.3 Guter Grund Produktion 2023	9
2.3.1 Substratkomponenten und Probemischungen für die Produktion 2023	9
2.3.2 Qualitätsprüfung Guter Grund Substrat Produktion 2023	9
2.3.2.1 Stickstoffverfügbarkeit im GG-Substrat.....	9
2.4 Guter Grund Produktion 2024	10
2.4.1 Substratkomponenten Kompost und Rindenhumus für GG24	10
2.4.2 Prüfung von Mischungen für GG24	11
3. Arbeitspaket 3: Recherche zur Zulassung eines sekundären Rohstoffproduktes für den biologischen Landbau	13
3.1 Einleitung	13
3.2 Schritte und Vorgehensweise zur Zulassung eines sekundären Rohstoffproduktes im biologischen Landbau	13
3.3 Erhebungsquellen	15
4. Arbeitspaket 4 - Entwicklung eines neuen Produktes mit Wurmhumus	16
4.1 Einleitung	16
4.2 Methodik.....	16
4.3 Ergebnisse.....	16
4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
5. Arbeitspaket 5 – Bestimmung des Sauerstoffverbrauches von unterschiedlichen Komposten, NIRS-Messung und Modellierung zur Vorhersage der AT₄-Ergebnisse und der Kompostreife	19
5.1 Einleitung	19
5.2 Sauerstoffverbrauch als OUR und AT ₄	19
5.2.1 Material und Methoden	19
5.2.2 Ergebnisse	20
5.2.4 Literatur	22
5.3 NIRS-Messung und Modellierung zur Vorhersage von Kompostreifeparametern.....	23
5.3.1 Modellierung NIRS-Daten	23
5.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerung	25

6. Arbeitspaket 6- Bestimmung der Abbaustabilität von Komposten des Kompostwerkes Lobau in unterschiedlichen Böden	26
6.1 Einleitung	26
6.2 Methodik.....	26
6.3 Ergebnisse	28
6.4 Zusammenfassung	31
6.5 Literatur	31
7. Arbeitspaket 7 – Praxisversuch zur Verbesserung der Kompostqualität durch Zugabe von Tonerden.....	32
7.1 Einleitung	32
7.2 Methodik.....	32
7.3 Ergebnisse	34
7.4 Diskussion und Schlussfolgerung.....	45
7.5 Literatur	47
8. Arbeitspaket 8 Recherche und Wissensaustausch zu aktuellen Themen und Forschungsfragestellungen, Erstellung von Stellungnahmen zu aktuellen Entwürfen von legislativen und technischen Normen aus dem Bereich der Bioabfallwirtschaft	48
9. Arbeitspaket 9 - Demonstrationsversuch Rautenweg mit zusätzlicher Untersuchung der Stickstoffmineralisierung von Kompost	49
9.1 Einleitung	49
9.2 Methodik.....	49
9.3 Ergebnisse	51
9.3.1 Biomasse	51
9.3.2 Boden	55
9.4 Zusammenfassung	63
9.5 Anhang	64
9.6 Literatur	70

1. Arbeitspaket 1 – Fertigstellung des Leitfadens zur praxisnahen Differenzierung der Inputströme in Abhängigkeit von der Jahreszeit auf Basis der C/N-Analyse von Inputmaterialien.

1.1 Einleitung

Am Kompostwerk Lobau werden die beiden Inputströme „Biotonne“ und „Strukturmaterial“ unterschieden. Die Untersuchungen in den Jahren 2020 bis 2022 zeigten, dass beim Inputstrom „Strukturmaterial“ sowohl Materialien mit weitem C/N-Verhältnis (holziges Material) als auch engem C/N-Verhältnis (bspw. Grasschnitt, Laub, Makrophyten) verarbeitet werden. Dies sollte bei der Verarbeitung berücksichtigt werden, denn für einen optimalen Rotteprozess sollte das C/N-Verhältnis der Kompostausgangsmaterialien zwischen 20/25 und 35/40 liegen.

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, die erlangten Erkenntnisse über die C/N-Verhältnisse der Inputmaterialien in der Praxis nutzbar zu machen und eine praktische Handlungsanleitung in Absprache mit der Kompostwerksleitung zu erstellen.

1.2 Methodik

Zu Projektbeginn wurden die Anforderungen des Handbuches besprochen und erarbeitet. Folgende Kriterien wurden herausgearbeitet: Das Handbuch sollte einfach in der Handhabung und selbsterklärend sein. Daher sollten Bilder verwendet werden und die Angabe der Mengenverhältnisse sollte in Radladerschaufeln erfolgen. Wenn möglich, sollten Monate zusammengefasst werden, um die Seitenanzahl so gering wie möglich zu halten. Es soll die Möglichkeit bestehen, dass das Handbuch in die Fahrerkabine des Radladers mitgenommen werden kann.

Für das Handbuch wurden die Inputmaterialien entsprechend ihrem C/N-Verhältnis und ihrer Herkunft bzw. Lagerung in 4 Fraktionen unterteilt: „Biotonne“, „Strukturmaterial“, „Wasserpflanzen-Grasschnitt“ und „Siebüberlauf“. Wobei der Siebüberlauf als Inputmaterial in der aktuellen Version aus dem Handbuch entfernt wurde, da die Abscheidung von Fremdstoffen in der derzeitigen Situation nicht möglich ist.

Zur Berechnung der Mengenverhältnisse wurde der Mittelwert der C/N-Verhältnisse sowie der Wassergehalte je Fraktion der unterschiedlichen Inputmaterialien herangezogen. Da eine Ermittlung der Feuchtdichte der Ausgangsmaterialien nicht möglich ist, weil die Materialien bei Beladen der Radladerschaufel noch nicht zerkleinert sind und die Mengen auch sehr unterschiedlich sind, wurde vereinbart, dass für die Berechnung des durchschnittlichen Gewichts je Fraktion 5 Radladerschaufeln herangezogen werden.

1.3 Ergebnis

Ein optimaler Rotteprozess findet bei einem C/N-Verhältnis zwischen 25 und 35 statt, daher sollte beim Kompostieren auf eine entsprechende Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien geachtet werden. In den Monaten Jänner bis März liegt das C/N-Verhältnis des Biotonne Materials am Kompostwerk Lobau bereits über dem optimalen Bereich von 35. Die Zugabe von strukturgebendem Material in nicht zu großen Mengen ist für die Belüftung der Miete trotzdem sinnvoll und erforderlich. Strukturmaterial mit weitem C/N-Verhältnis, das darüber hinaus angeliefert wird, sollte gelagert werden und in den Monaten April bis Oktober in das Kompostausgangsmaterial eingearbeitet werden, um das angestrebte C/N-Verhältnis zwischen 25 und 35 zu erreichen. Tabelle 1 zeigt das C/N-Verhältnis des Inputstromes Biotonne und das angestrebte C/N-Verhältnis der Mischung Biotonne und Strukturmaterial sowie die entsprechenden angelieferten Mengen der unterschiedlichen Inputströme am Kompostwerk Lobau.

Ebenfalls wird die theoretisch erforderliche Menge des Strukturmaterials mit weitem C/N-Verhältnis bei Einhaltung des angestrebten C/N-Verhältnis angegeben sowie die Differenz zur tatsächlichen Anlieferungsmenge.

Tabelle 1. C/N-Verhältnis des Inputstromes Biotonne und das angestrebte C/N-Verhältnis der Mischung Biotonne und Strukturmaterial sowie die angelieferten Mengen des Inputstromes Biotonne, Strukturmaterial mit engem und weitem C/N-Verhältnis (Datenquelle vereinfacht Bioabfallaufbereitung 2021). Ebenfalls wird die theoretisch erforderliche Menge des Strukturmaterials mit weitem C/N-Verhältnis bei Einhaltung des angestrebten C/N-Verhältnis angegeben, sowie die Differenz zur tatsächlichen Anlieferungsmenge.

Monat	C/N- Verhältnis Biotonne	C/N- Verhältnis angestrebte Mischung Biotonne + Struktur- material		FM Inputmenge Struktur- material enges C/N- Verhältnis		FM Inputmenge Struktur- material weites C/N- Verhältnis		erforderliche Zugabe Menge FM Struktur-material mit weitem C/N- Verhältnis für angestrebtes C/N- Verhältnis	Differenz Strukturmaterial weites C/N Verhältnis Anlieferungsmenge zur erforderlichen Menge
		FM Inputmengen Biotonne	FM Inputmengen Struktur- material	FM Inputmengen enges C/N- Verhältnis	FM Inputmengen Struktur- material enges C/N- Verhältnis	FM Inputmengen Struktur- material weites C/N- Verhältnis	FM Inputmengen Struktur- material weites C/N- Verhältnis	FM Inputmengen Struktur- material weites C/N- Verhältnis	FM Inputmengen Struktur- material weites C/N- Verhältnis
		[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Jänner	38	42	1582	0	891	275	616		
Februar	38	42	1690	0	1745	294	1452		
März	38	45	4413	84	2499	1637	862		
April	27	35	5840	1703	924	2239	-1315		
Mai	20	30	7030	2852	1053	2579	-1526		
Juni	20	25	7862	3653	728	1165	-438		
Juli	20	25	5166	2235	414	757	-344		
August	20	25	6065	2578	780	887	-107		
September	20	30	7189	3231	1260	2700	-1440		
Oktober	27	35	5584	2547	532	2508	-1976		
November	29	35	5140	0	3331	1028	2303		
Dezember	29	35	2420	0	2411	484	1927		

Abbildung 1 zeigt die Handlungsanleitung mit Angabe der Anzahl an Radladerschaufeln für den Radladerfahrer.


<div>  <div>Jänner bis März</div>  </div>		
<div>Biotonne</div>  <div>6-7</div>	<div>Strukturmateriäl</div> 	<div>Lagerplatz</div>  <div>1-2</div> 
<div>  <div>April bis September</div>  </div>		
<div>Biotonne</div>  <div>6</div>	<div>Wasserpflanzen, Grasschnitt, Wiener Wohnen</div>  <div>1-2</div>	<div>Strukturmateriäl</div>  <div>2-3</div> 
<div>  <div>Oktober bis Dezember</div>  </div>		
<div>Biotonne</div>  <div>6</div>	<div>Laub, Grasschnitt, Wiener Wohnen</div>  <div>2-3</div>	<div>Strukturmateriäl</div>  <div>1-2</div> 

Abbildung 1. Handbuch für Radladerfahrer, Angabe der Anzahl an Radladerschaufeln von unterschiedlichen Inputmaterialien (C/N Verhältnisse, Wassergehalt) zur Optimierung des Rotteprozesses während der angeführten Monate.

2. Arbeitspaket 2 -Fortsetzung Optimierung des Guter Grund-Substrates

2.1 Einleitung

Um die Qualität des Kultursubstrates **Guter Grund** zu optimieren,

- a) wird die **Produktion 2023** begleitet und evaluiert
- b) werden für die **Produktion 2024** Einzelkomponenten und Substratmischungen untersucht.

2.2 Material und Methoden Pflanzentests

Für die Bestimmung der Qualität von Komposten, Rindenhumus, Substraten und von Komponenten für die Substratmischungen wurden Pflanzenverträglichkeits- und Wachstumstests mithilfe von Kresse und Chinakohl durchgeführt.

Pflanzenverträglichkeit mit Kresse

Der Pflanzenverträglichkeitstest wurde nach ÖNORM S 2021 durchgeführt. In ein Plastikgefäß (11,5 x 11,5 cm Länge und 6 cm Höhe) wurden als Grundsicht 100 ml Quarzsand und 60 ml Wasser eingebracht. Je nach Dichte des zu überprüfenden Substrats wurde das Plastikgefäß mit der entsprechenden Menge Substrat auf 375 ml befüllt, die Oberfläche durch leichtes Andrücken geebnet und anschließend mit 40 ml Wasser angefeuchtet. Saatgut von Gartenkresse (0,4 g - Einwaage auf 0,01 g genau) wurde gleichmäßig auf die Substratoberfläche verteilt. Anschließend wurde der Ansatz mit 50 ml Quarzsand abgedeckt und bis zum Aufgang des Saatgutes mit einer Platte abgedunkelt. Von jedem Ansatz wurden drei Wiederholungen erstellt. Für die Prüfung von Kompost und Rinde wurden jeweils Anteile von 15 % und 30 % mit einem Standardsubstrat abgemischt. Bei dem Standardsubstrat (STD) handelte es sich um ein 1:1 Gemisch (Vol%) aus Aussaaterde (nährstoffarm) und gebranntem Tennismehl (feinkörnig). Das Standardsubstrat dient gleichzeitig als Referenzsubstrat, dem die zu testende Substrate, Kompost- und Rindengemische gegenübergestellt werden. Die Ansätze wurden unter standardisierten Bedingungen bei 20 °C und 16-stündiger Belichtung gehalten und nach Bedarf gegossen. Nach zwei Tagen wurde der Aufgang der Keimlinge im Vergleich zum Standardsubstrat geschätzt. Nach 13 Tagen erfolgte die Ernte der Kresse mit Bestimmung der Biomasse und Berechnung der Keimrate.

Wachstumstest mit Chinakohl im Topfversuch

Der Wachstums- und Pflanzenverträglichkeitstest mit Chinakohl basiert auf der EU-Norm DIN EN 16086. Es ist ein routinemäßiges Verfahren, um die Qualität von Kultursubstraten, Bodenverbesserungsmitteln und deren Ausgangsstoffe zu prüfen. Hier wurden allein Kultursubstrate und entsprechende Versuchsmischungen geprüft. Als Kontroll-Substrat (Standardsubstrat) wurde gekalkter, gedüngter Sphagnum-Torf verwendet. Die zu testende Substrate wurden auf 20 mm abgesiebt und ihr pH-Wert geprüft (Soll zwischen 5,5 und 6,5, bei einem geringen Wert muss gemahlener Kalkstein zugegeben werden, höhere Werte müssen vermerkt werden). Je Variante wurden 3 Wiederholungen hergestellt, dazu wurden jeweils 3 Töpfe mit Substrat gefüllt, verdichtet und zum Angleichen der Oberflächen feineres, auf 5 mm abgesiebt Substrat aufgebracht. 20 Chinakohl Samen wurden in jedem Topf gleich verteilt und mit 2 mm feinem Substrat bedeckt. Die Töpfe wurden zu Beginn mit Vlies abgedeckt bis 50 % der Samen gekeimt waren. Die Töpfe wurden bei einer Temperatur von 20°C und 16-stündiger Belichtung gehalten und nach Bedarf gegossen. Die Pflanzenverträglichkeit wurde anhand der Keimrate nach 5 Tagen bewertet, die Biomasse und das Gesamterscheinungsbild der Pflanze (Farbe und Morphologie der Blätter, Wurzel) wurden nach Ausbildung des fünften Laubblattes bestimmt.

2.3 Guter Grund Produktion 2023

2.3.1 Substratkomponenten und Probemischungen für die Produktion 2023

Vor der Produktion von „Guter Grund 2023“ wurden Substrat-Probemischungen hergestellt und im Pflanzenversuch mit Kresse und Chinakohl getestet. Die Einzelkomponenten Kompost und Rindenhumus wurden ebenfalls untersucht.

2.3.2 Qualitätsprüfung Guter Grund Substrat Produktion 2023

Es wurden zwei Produktionen durchgeführt: Die erste, größere Produktion erfolgte im Februar, wobei das Substrat in 18 L und 40 L Säcken abgepackt wurde, bei der zweiten Produktion im Mai wurden 18 L Substratsäcke hergestellt. Von beiden Produktionen wurde die Qualität der Substrate mithilfe von Pflanzentests (Kresse und Chinakohl) geprüft, dazu wurden 6 Säcken der ersten Produktion (je drei 18 L und 40 L Säcke) und 3 Säcke (18 L) der zweiten Produktion beprobt.

Weiters wurden Versuche zur Stickstoffverfügbarkeit und zur Stickstoffdynamik in den Säcken der ersten Produktion durchgeführt (siehe folgende Punkte 2.3.2.1 und 2.3.2.2). Eine Übersicht der Tests und Analysen ist in Tabelle 2 zu sehen.

2.3.2.1 Stickstoffverfügbarkeit im GG-Substrat

Die Stickstoffverfügbarkeit und Stickstoffdynamik im Guter Grund Substrat wurden in insgesamt 26 Säcken der ersten Produktion gemessen. Die erste Messreihe erfolgte mit 6 Säcken in einer Zeitreihe von Woche 5 bis 12 nach Produktion (A). Die weiteren Messreihen erfolgten in Woche 16 und 26 nach Produktion mit jeweils 10 Säcken (B).

- A) 6 Substratsäcke (3 Säcke zu je 18 L und 40 L) wurden im Zeitraum von 5 bis 12 Wochen nach der ersten Produktion fünf Mal beprobt (Ende März bis Mitte Mai) und die $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte gemessen. Die Säcke wurden nach jeder Beprobung wieder verschlossen, sodass eine weitere Sauerstoffzufuhr nur über die in den Säcken perforierten Bereiche erfolgen konnte. Die Lagerung der Säcke zwischen den Probenahmeterminen erfolgte in der nicht beheizten Garage.
- B) Jeweils 10 Säcke wurden in der Woche 16 (Juni) und in der Woche 26 (August) nach Produktion geöffnet (2 x 10 Säcke zu je 18 L und 40 L), um die N-Gehalte zu messen und Kresstests durchzuführen. Die Säcke wurden direkt vom Stapellager geholt und für die Probenahme frisch geöffnet.

2.3.2.2 Wiederholte Testung des Pflanzenwachstums in Substrat von bereits geöffneten, wiederverschlossenen Säcken

Die Pflanzentests werden standardgemäß zeitnah nach dem Öffnen der Substratsäcke oder kurz nach der Abmischung der Komponenten durchgeführt. Ziel war es zu prüfen, ob durch das Öffnen der Säcke nachfolgend die Qualität des Substrates steigt, mit der Annahme, dass sich entweder durch die Sauerstoffzufuhr oder durch das Entweichen von Ammoniak pflanzenschädigende Prozesse vermindern. Die in Woche 5, 16 und 26 geöffneten und wiederverschlossenen Substratsäcke wurden wiederholt getestet (Tabelle 2). Von den Säcken wurden je Sackvolumen (18 und 40 L) jene ausgewählt, die beim ersten Testdurchgang das beste und schlechteste Ergebnis aufwiesen. Substratsäcke der Woche 5 und 16 wurden einmal (in der Woche 23) und davon wieder ausgewählte Säcke ein zweites Mal (in der Woche 24)

getestet, Substratsäcke der Woche 26 wurden einmal (in der Woche 29) wiederholt getestet. Von Woche 23 auf 24 wurden die Substrate offen in Eimern gelagert, um eine höhere Sauerstoffzufuhr zu ermöglichen.

Tabelle 2. Übersicht der N-Analysen und Pflanzentests für GG23 der ersten Produktion (in Summe 50 NH₄N und 50 NO₃N -Analysen, 47 Pflanzentests).

				Nmin						Pflanzentests							
Sack geöffnet Woche nach 1.				Woche 5-12		Woche 16		Woche 26		Woche 5 China- kohl	Woche 5 Kresse	Woche 16 Kresse	Woche 23 Kresse	Woche 24 Kresse	Woche 26 Kresse	Woche 29 Kresse	
Nr.	Proben	Vol	Produktion	NH4-N	NO3N	NH4-N	NO3N	NH4-N	NO3N								
1	GG Sack	18 L	5	5	5					1	1		1				
2	GG Sack	18 L	5	5	5					1	1		1	1			
3	GG Sack	18 L	5	5	5					1	1						
4	GG Sack	40 L	5	5	5					1	1		1	1			
5	GG Sack	40 L	5	5	5					1	1		1				
6	GG Sack	40 L	5	5	5					1	1						
7	GG Sack	18 L	16			1	1					1	1				
8	GG Sack	18 L	16			1	1					1					
9	GG Sack	18 L	16			1	1					1					
10	GG Sack	18 L	16			1	1					1					
11	GG Sack	18 L	16			1	1					1	1				
12	GG Sack	40 L	16			1	1					1					
13	GG Sack	40 L	16			1	1					1	1	1			
14	GG Sack	40 L	16			1	1					1					
15	GG Sack	40 L	16			1	1					1					
16	GG Sack	40 L	16			1	1					1	1				
17	GG Sack	18 L	26					1	1						1	1	
18	GG Sack	18 L	26					1	1						1		
19	GG Sack	18 L	26					1	1						1	1	
20	GG Sack	18 L	26					1	1						1		
21	GG Sack	18 L	26					1	1						1		
22	GG Sack	40 L	26					1	1						1		
23	GG Sack	40 L	26					1	1						1	1	
24	GG Sack	40 L	26					1	1						1		
25	GG Sack	40 L	26					1	1						1		
26	GG Sack	40 L	26					1	1						1	1	

2.3.3.2 Stickstoffverfügbarkeit und Pflanzenwachstum von Substraterden im Vergleich

Im Handel wurden Kultursubstrate ausgesucht, die als möglichst nährstoffarm und als Anzuchterden ausgewiesen wurden. Neu erworben wurden Substrat A und B, beide torffrei, Substrat C wurde als Vergleichssubstrat, das bereits einige Monate in der Garage der BFA lagert, hinzugenommen. Von allen 3 Substraten wurden die N-Gehalte (NO₃N und NH₄N) analysiert und das Pflanzenwachstum im Kressetest geprüft.

2.4 Guter Grund Produktion 2024

Für die kommende Produktion von Guter Grund 2024 wurden die Einzelkomponenten Kompost und Rindenhumus sowie Substrat-Probemischungen untersucht. Zur Prüfung der Qualität wurden Pflanzentests mit Kresse zu mehreren Terminen durchgeführt.

2.4.1 Substratkomponenten Kompost und Rindenhumus für GG24

Kompost: Zur Qualitätsprüfung erfolgten insgesamt 4 Beprobungen, diese wurden im Mai, August, September 2023 sowie im Jänner 2024 durchgeführt.

Rindenhumus: Zur Prüfung der Qualität und Stabilität des Rindenhumus (externe Firma) wurde eine Beprobung (mit 2 Mischproben) im Mai 2023 und eine weitere im Jänner 2024 (1 Mischprobe) durchgeführt.

Von insgesamt 11 Kompost- und Rinden-Proben wurden Kresstests bei 15 % und 30 % Substratanteil durchgeführt.

2.4.2 Prüfung von Mischungen für GG24

Bei der Zusammenstellung der Substratmischungen wurde das Hauptaugenmerk auf die Wirkung des organischen Düngers gelegt sowie auf Varianten der Abmischung und Probenbehandlung. Horndünger wird als Hornmehl, Horngrieß und Hornspäne verarbeitet. Für die Optimierung der GG-Substratmischung wurden die Mengen und Anteile von Hornmehl und Horngrieß geprüft. In zwei Versuchsdurchgängen (siehe Punkt 2.4.2.1 und 2.4.2.2) wurde dabei auch der Zeitraum zwischen der Abmischung und dem Ansatz von Kresse und Chinakohl variiert. Insgesamt wurden von 17 Substratmischungen Kresstests und von 4 Substratmischungen Chinakohltests durchgeführt.

2.4.2.1 Versuchsdurchgang 1

Es wurden die Faktoren Düngemenge, Korngröße und Zeitpunkt des Ansatzes in Form eines Tastversuchs geprüft (siehe Tabelle 3). Die Düngemenge wurde mit 3, 4 und 6 kg/m³ festgesetzt, bei der Korngröße von Horndünger in Form von Mehl und Grieß stellte sich die Frage, ob hier unterschiedliche Abbaudynamiken eine Rolle spielen. Der Ansatz der Kresse erfolgte i) gleich nach der Abmischung der Komponenten und ii) eine Woche nach der Abmischung, wobei das Substrat in perforierten Säcken unter Gewichten in Anlehnung an die originalen Säcke und der Stapellagerung gelagert wurde.

Tabelle 3. Mischungsversuche mit unterschiedlichen Horndüngermengen und -anteilen sowie Variationen der Probenbehandlung nach Abmischung der Substrate.

Horndünger Menge (kg/m ³)	Grieß:Mehl	Abmischung
6	1:1	Abmischung 1) Ansatz gleich nach Abmischung der Substrate
4	1:0,3	
3	1:0	
0	/	Abmischung 2) Ansatz eine Woche nach Abmischung der Substrate bei Lagerung in perforierten Plastiksäcken
6	1:1	
6	1:0	
6	0:1	
3	1:1	
3	1:0	
3	0:1	

2.4.2.2 Versuchsdurchgang 2

Die Düngermengen und die Art der Abmischung wurden variiert (Tabelle 4), mit der Fragestellung, ob eine Vorabmischung von Kompost und Horndünger die Pflanzenverträglichkeit erhöht. Kompost und Horndünger wurden dazu eine Woche vor dem Ansatz gemischt und in einem weiten Eimer offen gelagert (leicht befeuchtet). Die Komponenten Holzfaser und Rindenhumus wurden am Tag des Ansatzes zugemischt. Als Vergleich wurde eine Variante mit Abmischung aller Komponenten einen Tag vor dem Ansatz hergestellt. Der Anteil an Hornmehl und Horngrieß wurde im Verhältnis 1:1 eingemischt. Außer mit Kresse wurde auch mit Chinakohl getestet, um den Düngeeffekt besser untersuchen zu können.

Tabelle 4. Mischungsversuche mit Kresse und Chinakohl

Horndünger (Grieß/Mehl 1:1) Menge	Abmischung A	Abmischung B
6 kg/m ³	Horndünger mit allen Komponenten abgemischt, der Ansatz erfolgte einen Tag später	Horndünger mit Kompost eine Woche zuvor abgemischt, restliche Komponenten beim Ansatz
4,5 kg/m ³		
3 kg/m ³		

2.4.3 Testen von Holzfaser

Eine neu produzierte Holzfaser wurde mit der bisher für das GG-Substrat verwendeten Holzfaser und mit einem weiteren Holzfaserprodukt verglichen. Dazu wurden Kresstests mit 30 % Holzfaseranteil im Substrat durchgeführt. Im Substratmischungsversuch (Punkt 2.4.2.2) wurde die neue Holzfaser zusätzlich in einer eigenen Mischung mitgetestet.

2.4.4 Probemischung für GG24

Im Jänner 2024 wurden am Kompostwerk Lobau zwei Probemischungen (A, B) zur endgültigen Vorabtestung für die kommende Produktion erstellt. Dazu wurden am selben Tag Proben von Rindenhumus und von Kompost genommen. Von den beiden Probemischungen wurden Pflanzentests mit Kresse und Chinakohl durchgeführt.

3. Arbeitspaket 3: Recherche zur Zulassung eines sekundären Rohstoffproduktes für den biologischen Landbau

3.1 Einleitung

Die biologische Landwirtschaft verfolgt das Ziel die Ressourcen nachhaltig zu bewirtschaften, wobei ein möglichst geschlossener Betriebskreislauf zu den Grundlagen gehört. Durch die zunehmende Spezialisierung auch im biologischen Landbau können Nährstoffkreisläufe in Betrieben nicht mehr geschlossen werden. Die Nährstoffe wie auch Phosphor verlassen durch die ackerbaulich erzeugten Produkte den Betriebskreislauf und können nicht mehr zurückgeführt werden. Der Ausgleich des Phosphor- Defizits kann durch Zukauf organischer und mineralischer Düngemittel erfolgen. Als mineralischer Dünger war in der biologischen Landwirtschaft bis Mitte 2023 in Österreich ausschließlich das weicherde Phosphat erlaubt. Dieses ist aber aus mehreren Gründen (endliche Ressource, muss gänzlich importiert werden, Schwermetallbelastung Cd und U) bedenklich. In den letzten Jahren bekamen abwasserbürtige P-Rezyklate als Einsatz für Düngemittel immer größere Aufmerksamkeit, nicht zuletzt auch aufgrund der rechtlichen Verpflichtung zum Phosphorrecycling. Auch in der biologischen Landwirtschaft wurden sie als mögliches Düngemittel diskutiert, da hiermit auf höherer Ebene ebenfalls Nährstoffkreisläufe geschlossen werden können. Bis vor fünf Jahren fehlten zur Verwendung von Materialien aus dem Abwasserpfad für Düngemittel EU-weit noch gänzlich die rechtlichen Rahmenbedingungen.

Ein EU-Düngeprodukt darf nur aus Komponentenmaterialien bestehen, die die Anforderungen an einen oder mehreren im Anhang II der Düngemittelverordnung (EU) 2019/1009 aufgeführten CMC erfüllen. Der erste Schritt zur Verwendung von P-Rezyklaten als Düngemittel erfolgte daher durch die Aufnahme der Komponentenmaterialien „CMC 12: Gefällte Phosphatsalze und deren Folgeprodukte“ (bspw. Struvit) sowie „CMC 13: Durch thermische Oxidation gewonnene Materialien und deren Folgeprodukte“ (bspw. Klärschlammasche) in den Anhang II der Verordnung (EU) 2019/1009 am 30.11.2021. [9]

3.2 Schritte und Vorgehensweise zur Zulassung eines sekundären Rohstoffproduktes im biologischen Landbau

Damit ein Produkt für den biologischen Landbau zugelassen werden kann, muss der Dünger bzw. die Quelle des Düngers in der Positivliste der Rahmenverordnung für den ökologisch/biologischen Landbau (EG) Nr. 848/2018 des Rates und ihrer Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 der Kommission stehen. [6,8]

Struvit wurde als erstes und bisher einziges P-Rezyklat aus dem Abwasserpfad am 18.01.2023 in die Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 der Kommission in Anhang II der Zugelassenen Düngemittel, Bodenverbesserer und Nährstoffe gemäß Artikel 24 Absatz 1 Buchstabe b der Verordnung (EU) 2018/848 aufgenommen. [6]

Für die Zulassung eines P-Rezyklates aus einer anderen Quelle, wie beispielsweise P-Rezyklate aus Klärschlammasche (CMC 13), ist offiziell die **Einreichung eines Dossiers mit den Gründen zur Aufnahme (oder Streichung oder anderen Änderungen) in den Anhang der Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 bei der EU-Kommission und den anderen Mitgliedstaaten** erforderlich. **Nach Einreichung des Dossiers hat jeder EU-Mitgliedstaat die Möglichkeit eine Beurteilung abzugeben.** In Österreich wird dies durch den **Bio-Beirat und Fachausschuss** erledigt. Zur technischen Beratung konsultiert die Europäische Kommission ggf. die dafür eingesetzte unabhängige Sachverständigengruppe (engl. „expert group for technical advice on organic production“, kurz EGTOP). [4,7]

Auf nationaler Ebene sind in Österreich derartige Dossiers dem Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz im Wege der automationsunterstützten Datenübertragung (bio@sozialministerium.at und eu-qua@ages.at) zu übermitteln. Bei der Beschreibung der Sachverhalte ist in Abwägung zu den anvertrauten Inhalten auf mögliche kritische und/oder vertrauliche Informationsgehalte zu achten, da die Dossiers mit der Übermittlung an die Europäische Kommission und alle anderen Mitgliedsstaaten durch das Bundesministerium auf der Internetseite der Europäischen Kommission veröffentlicht werden. Bei der Übermittlung des Dossiers ist sicherzustellen, dass die Erzeugnisse und Stoffe oder bestimmten Verfahren, die aufgenommen werden sollen, den einschlägigen bzw. horizontalen Rechtsvorschriften, insbesondere in den Bereichen Sicherheit der Lebensmittelkette, Tiergesundheit und Tierschutz, Pflanzengesundheit, Pflanzenvermehrungsmaterial, Kennzeichnung und Umweltschutz, entsprechen. [7]

Der **Antrag wird in dem das Bundesministerium beratenden Beirat (Biobeirat)** für die biologische Produktion gemäß § 13 des EU-Qualitätsregelungen-Durchführungsgesetzes **behandelt und im Falle dessen Befürwortung der Europäischen Kommission und allen anderen Mitgliedstaaten** durch das Bundesministerium **übermittelt.** [7]

Ein Dossier muss folgende Punkte enthalten

- Zweck des Dossiers
- Zulassungsstatus des betreffenden Materials im konventionellen und im ökologischen Landbau (Düngemittelverordnung)
- Relevanz und Nutzen für den angestrebten Verwendungszweck
- Charakterisierung des Produktes
- Notwendigkeit für den bezweckten Einsatz und bekannte Alternativen
- Quelle des Ausgangsmaterials
- Übereinstimmung mit den Zielen und Grundsätzen des ökologischen Landbaus
- Aspekte auf Umwelt, Gesundheit, Tierwohl

(Antragsformular: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/organic-farming/co-operation-and-expert-advice/egtop-dossiers_en):

Sobald der Dünger bzw. die Quelle des Düngers in der EU-Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 Anhang II „Zugelassene Düngemittel, Bodenverbesserer und Nährstoffe gemäß Artikel 24 Absatz 1 Buchstabe b der VO (EU) 2018/848“ gelistet wird und den gesetzlichen Anforderungen nach der Düngemittelverordnung entspricht, kann es für ein Düngemittel für die Bio-Produktion in Österreich eingesetzt werden. [5]

Die **Beurteilung der Verkehrsfähigkeit** der Produkte obliegt dem **Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES)**. Als Düngeprodukte werden Düngemittel, einschließlich Wirtschaftsdünger, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate, Pflanzenhilfsmittel und EU-Düngeprodukte bezeichnet. Diese Produkte unterliegen dem Düngemittelrecht.

Wobei das in Inverkehrbringen von Düngerprodukten (ausgenommen Wirtschaftsdünger) wahlweise im Rahmen einer der folgenden Rechtsvorschriften erfolgen darf [1]:

- a) Inverkehrbringen gemäß der EU-Düngemittelverordnung 2019/1009. Hierfür muss das Produkt den Anforderungen für eine Produktfunktionskategorie (PFC) (fertig einsetzbares DÜM-Produkt) oder eine Komponentenmaterialkategorie (CMC) (eher Rohstoff zur Düngemittelherstellung) erfüllen.
- b) Inverkehrbringen nach österreichischem Düngemittelrecht 2021 (DMG 2021) in Verbindung mit der österreichischen Düngemittelverordnung 2004 (DMVO 2004).

- c) Die Verordnung (EU) 2019/515 über die gegenseitige Anerkennung von Waren, die in einem anderen Mitgliedstaat rechtmäßig in Verkehr gebracht worden sind.

Die **Evaluierung und Beurteilung für die Eignung für die biologische Produktion** im Rahmen der Verordnung (EU) 2018/848 in der jeweils gültigen Fassung, wird in Österreich durch **EASY-CERT services** durchgeführt. Als Beurteilungskriterium wird neben der Verordnung (EU) 2018/848, die genauere Interpretation in den Zulassungskriterien der „European Input List“, welche durch Zusammenarbeit von FIBL Europe, FIBL Schweiz, FIBL Deutschland und EASY-CERT Services ausgearbeitet wird, herangezogen. Nach Anmeldung und erfolgreicher Evaluierung kann das Produkt auf Wunsch dann ebenfalls im Betriebsmittelkatalog „InfoXgen“ gelistet werden. [5]

Für den Antrag zur Beurteilung für die Eignung für die biologische Produktion bei easy cert sind neben der genauen Produktzusammensetzung auch die genaue Beschreibung des Herstellungsverfahrens (inkl. Zwischenschritte) erforderlich.

(Antragsformular: <https://www.abg-cert.com/files/2001121.pdf>)

Neben den EU-weiten Basisanforderungen können bei der Verwendung von Düngemitteln im biologischen Landbau in Österreich noch **zusätzlich Verbandskriterien** wie beispielsweise von BIO AUSTRIA hinzukommen, welche sehr oft noch schärfere Anforderungen an die ökologische Erzeugung und die Produkte stellen. In den derzeit gültigen Produktionsrichtlinien (04.2023) von BIO AUSTRIA sind in der Liste für zulässige Düngemittel und Düngemittelausgangsstoffe keine über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehende Richtlinien für das P-Rezyklat Struvit angeführt. [2,3]

3.3 Erhebungsquellen

[1] baes.gv.at/zulassung/duengemittel

[2] BIO AUSTRIA (2023): Richtlinien für die Produktion, 04.2023. Herausgeber: BIO AUSTRIA -Verein zur Förderung des Biologischen Landbaus

[3] BIO AUSTRIA Qualitätsmanagerin im Bereich Genehmigung von betriebsfremden Düngern: DI Eva Marthe, mündliche Mitteilungen 2023

[4] Bundesministerium für Gesundheit: Dr. Agnes Muthsam, mündliche Mitteilungen, 2024

[5] Easy Cert Services: Dr. Agnes Schweinzer, mündliche Mitteilungen, 2024

[6] Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 der Kommission vom 15. Juli 2021 über die Zulassung bestimmter Erzeugnisse und Stoffe zur Verwendung in der ökologischen/biologischen Produktion und zur Erstellung entsprechender Verzeichnisse (Text von Bedeutung für den EWR)

[7] Informationen- Antragsverfahren für Erzeugnisse und Stoffe zur Verwendung bzw. für Verfahren zur Anwendung in der biologischen Produktion I_001_6 gültig ab 18.08.2023

[8] Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates

[9] Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 (Text von Bedeutung für den EWR) Text von Bedeutung für den EWR

4. Arbeitspaket 4 - Entwicklung eines neuen Produktes mit Wurmhumus

4.1 Einleitung

„Wurmhumus“ ist für die Ernährung der Pflanzen ein hochwertiger organischer Dünger. Durch die Verdauungstätigkeit der Kompostwürmer (*Eisenia foetida*) wird die organische Substanz durch die Bildung sogenannter Ton-Humus-Komplexe stabilisiert. Der entstandene Wurmhumus zeichnet sich durch einen hohen Anteil an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, eine gute Krümelstruktur und eine hohe Wasserspeicherfähigkeit aus. Eine im Wurmhumus überdurchschnittlich hohe Anzahl an enthaltenen Mikroorganismen kann zudem vor pflanzenpathogenen Organismen schützen. Nachdem in einem vorangegangenen Versuch festgestellt worden war, dass zwei Wochen altes Wiener Kompostmaterial für die Wurmkompostierung geeignet ist und der produzierte Wurmhumus u.a. auch im Pflanzentest mit Kresse einen positiven Effekt auf das Wachstum zeigt, wurde weiter geprüft, ob die Qualität der Guter Grund Substraterde durch die Zugabe von Wurmhumus verbessert werden kann. In dieser Arbeit wurde getestet, inwieweit ein zunehmender Anteil an Wurmhumus in einer Guter Grund Substratmischung die Entwicklung von Kresse und Chinakohl fördert.

4.2 Methodik

Im Versuch wurden 6 Guter Grund Substratmischungen hergestellt, wobei der Anteil an Kompost zunehmend mit Wurmhumus ersetzt wurde. Als Kompost wurde MA48 Guter Grund Kompost verwendet (die Probenahme erfolgte Mitte Mai 2023). Die Mengen der Komponenten Holzfaser, Rindenhumus und Horndünger wurden für die Substratmischungen nicht verändert. Der Wurmhumus wurde von einer externen Firma bezogen. In Tabelle 5 sind die Wurmhumusvarianten W1 bis W6 mit Angabe des Wurmhumusanteils an der Kompostmenge aufgelistet. Von den Substratmischungen wurden anschließend Pflanzenverträglichkeits- und Wachstumstests mit Kresse und Chinakohl (ÖNORM S 2021, EU-Norm DIN EN 16086) durchgeführt.

Tabelle 5. Varianten von Substratmischungen mit Wurmhumus W1 bis W6. Angabe des Anteils an Wurmhumus an der Kompostmenge in einer Guter Grund Substratmischung.

Variante	Anteil Wurmhumus am Kompost	
W1	0 %	0
W2	12,5 %	1/8
W3	25 %	1/4
W4	50 %	1/2
W5	75 %	3/4
W6	100 %	1

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Pflanzentests mit Kresse und Chinakohl sind in Abbildung 2 und Abbildung 3 zu sehen. Generell zeigt sich ein gutes Wachstum mit Biomasse-Werten von mindestens 95 % und einer Keimrate um 100 % sowohl bei Kresse als auch bei Chinakohl. Ein klar nachweisbarer positiver Einfluss durch die sukzessive Erhöhung von Wurmhumus bei gleichzeitiger Verringerung von Kompost im Substrat ist jedoch nicht zu finden. Beim Kresstest unterscheiden sich nur die Varianten W1 (ohne Wurmhumus, Nullvariante) und W6 (Kompost vollständig durch Wurmhumus ersetzt) deutlich voneinander. Die

Biomasse steigert sich von 95 % bei W1 auf 106 % bei W6. Die mit Kompost und Wurmhumus gemischten Varianten W2 bis W5 erzielen Werte zwischen 95 % und 98 %, sie weisen im Vergleich zu W1 und W6 höhere Standardabweichungen auf und unterscheiden sich nicht voneinander.

Beim Test mit Chinakohl befinden sich die Biomassewerte zwischen 99 % und 121 %, wobei die Variante W5 den höchsten Wert erzielt und sich von W6, dem geringsten Wert, signifikant unterscheidet. Eine Tendenz im Wachstum in Zusammenhang mit dem Wurmhumusanteil ist hier nicht gegeben, eine hohe Variabilität ist erkennbar. Das Foto in Abbildung 4 zeigt die Chinakohlpflanzen vor der Ernte.

a) Kressetestergebnisse

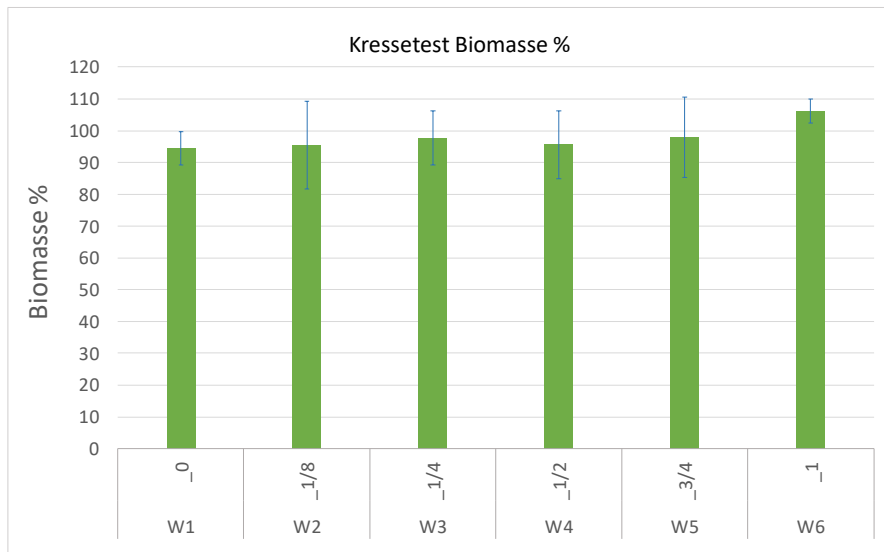


Abbildung 2. Biomasse [%] von Kresse von Guter Grund-Substratmischungen mit Wurmhumuszugabe, Varianten W1-6.

b) Chinakohltestergebnisse

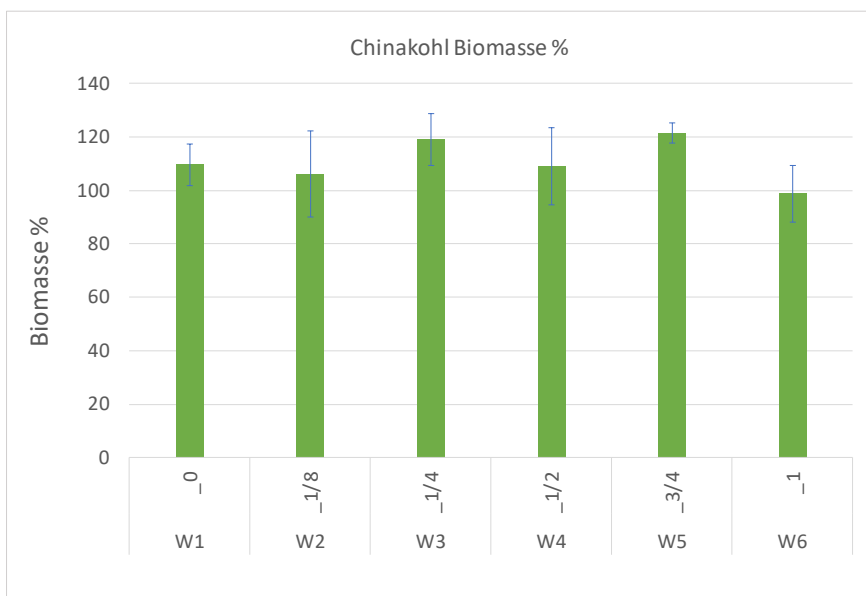


Abbildung 3. Biomasse [%] von Chinakohl von Guter Grund-Substratmischungen mit Wurmhumuszugabe, Varianten W1-6.



Abbildung 4. Foto Chinakohl, Wurmhumusvarianten W1 – W6.

4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Eine Verbesserung der Substratqualität von Guter Grund durch die Zugabe von Wurmhumus konnte im Pflanzentest nicht eindeutig festgestellt werden. Im Kresstest führte nur der vollständige Ersatz von Kompost durch Wurmhumus zu einem deutlich besseren Ergebnis gegenüber der Nullvariante. Im Test mit Chinakohl konnte keine Wirkung auf das Pflanzenwachstum beobachtet werden. Ein insgesamt sehr gutes Wachstum konnte bei allen Varianten festgestellt werden, was auch auf den bis zum Probenahmetermin gut ausgereiften MA48-Kompost zurückgeführt werden kann. Bei Verwendung eines gut gereiften Kompostes ist eine signifikante Qualitätssteigerung der Guter Grund Substratmischung durch die Zugabe von Wurmhumus (in einem Anwendungsbereich von 10 – 20 Vol%) nicht zu erwarten.

5. Arbeitspaket 5 – Bestimmung des Sauerstoffverbrauches von unterschiedlichen Komposten, NIRS-Messung und Modellierung zur Vorhersage der AT₄-Ergebnisse und der Kompostreife

5.1 Einleitung

Zur Bewertung der Stabilität und Reife von Komposten wurde der Sauerstoffverbrauch von Kompostproben unterschiedlicher Herkunft und Reifegrade gemessen. Ein Ziel war es die Atmungsaktivität AT₄ nach ÖNORM S2027-4 zu bestimmen und zur Evaluierung die Ergebnisse mit parallel stattfindenden Messungen am Institut für Abfallwirtschaft (BOKU) gegenzuprüfen. Weiters wurden die Parameter zur Bestimmung der „Reifepunkte“ gemessen und alle Proben mit NIRS (Nah-Infrarot Spektrometrie) gemessen, mit dem Ziel, die bestehenden Modelle für die Reifebestimmung weiterzuentwickeln und die Modellierbarkeit des Sauerstoffverbrauchs AT₄ zu prüfen.

5.2 Sauerstoffverbrauch als OUR und AT₄

5.2.1 Material und Methoden

Für die Charakterisierung von Kompostproben mithilfe der Parameter AT₄ (Atmungsaktivität) und der Reifepunkte (Summenparameter) wurden insgesamt 40 Proben analysiert:

Der Sauerstoffverbrauch als AT₄ wurde von insgesamt 31 Kompostproben unterschiedlicher Herkunft gemessen, davon stammen 22 Komposte von der MA48 und 9 Komposte von regionalen Kompostproduzenten. 7 Proben wurden von den auswärtigen Herstellern als „fertig gereift“ bezeichnet, weitere Proben wurden von Mieten mit unterschiedlichen Rottegraden genommen. Die Messung von AT₄ wurde von 21 Proben gleichzeitig am Institut für Abfallwirtschaft (BOKU) durchgeführt, sodass ein Vergleich und eine Absicherung der Ergebnisse möglich wurden.

Die Reifeparameter wurden von 31 Proben gemessen, davon stammen 21 von der MA48 und 10 von regionalen Kompostproduzenten. In Tabelle 6 ist eine Probenübersicht mit den jeweils gemessenen Parametern zu sehen.

Sauerstoffverbrauch

Für die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs von Kompost wurden zwei Methoden angewendet:

- a) Durchführung nach EN 16087-1: Die Probe wird in eine Nährlösung gegeben, der Messzeitraum beträgt 7 Tage, der für die Bewertung verwendete Zeitraum beträgt 3 Tage, die Ergebnisse werden als OUR (Oxygen Uptake Rate) in mmol O₂/kg OM/h angegeben. Werte < 15 mmol O₂/kg OM/h weisen stabile Proben aus.
- b) Durchführung nach ÖNORM S2027-4, Bestimmung der mikrobiellen Atmungsaktivität (AT₄): Die Probe wird als Feststoff gemessen, der Messzeitraum beträgt 7 Tage, der für die Bewertung verwendete Zeitraum beträgt 4 Tage, die Ergebnisse werden als AT₄ in mg O₂/g TM angegeben. Ein Grenzwert für stabile Komposte von < 7 mg O₂/g TM wird aktuell diskutiert.

Für die Messung des Sauerstoffverbrauchs von Komposten wurde die OxiTop® Technologie verwendet. Dabei wird der Sauerstoffverbrauch beim organischen Stoffabbau erfasst, indem das in äquivalenten Mengen gebildete Reaktionsprodukt CO₂ chemisch durch einen Absorber gebunden und so aus dem Gasraum entfernt wird. Aus der gemessenen Druckdifferenz wird direkt auf den Sauerstoffverbrauch geschlossen. $C_{org} + O_2 (Gas) \Rightarrow CO_2 (Gas)$.

Außer den Parametern AT₄ (mg O₂/g TM) und OUR (mmol O₂/kg OM/h) wurde zusätzlich für die NIRS-Modellierung aus OUR der Sauerstoffverbrauch auf mg O₂/g TM und auf 4 Tage bezogen umgerechnet.

Reifepunkte

Zur Berechnung des Parameters 'Reifepunkte' wurden der Sauerstoffverbrauch nach OxiTop (mg O₂/g TM, aus OUR berechnet), der Gehalt an gelöstem, organischen Kohlenstoff DOC (mg/l), der Solvita™ Reifeindex, der Gehalt an mineralischem Stickstoff (NH₄-N und NO₃-N mg/kg TM) bestimmt. Anhand der Werte wurden nach unterschiedlicher Gewichtung Punkte von 1 bis 4 vergeben und diese aufsummiert. Die Berechnungsmethode der Reifepunkte und Gewichtung der integrierten Parameter wurde im Laufe von Projekten entwickelt und befindet sich weiterhin in Entwicklung. Eine Aktualisierung der Berechnung wurde vorgenommen.

5.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse von 40 Kompostproben sind in Tabelle 6 zu sehen. Es wurden die Parameter Reifepunkte, der Sauerstoffverbrauch als AT₄ BFA, AT₄ BOKU, der Sauerstoffverbrauch als OUR und daraus berechnet der O₂ Gehalt als mg/g TM angegeben. Der für OUR angegebene Richtwert für reife Komposte liegt bei 15 mmol O₂/kg OM/h, für den Grenzwert für AT₄ steht aktuell ein Wert von 7 mg O₂/g TM zur Diskussion. Es zeigt sich, dass gemäß dem vorgegebenen Richtwert bei OUR 6 Komposte als reif bezeichnet werden können und im Vergleich bei AT₄ und dem vorgeschlagenen Grenzwert 15 Komposte von insgesamt 25 vergleichbaren Proben. Vom Parameter AT₄ wurden 21 Proben parallel von der BOKU gemessen, ein Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Messergebnisse mit einem $r = 0,99$. Die Abweichung der BFA-Ergebnisse von den BOKU-Ergebnissen beträgt im Median 0,75, durchschnittlich 1,8, minimal 0,02 und maximal 8,8 mg O₂/g TM (Absolutwerte). In Abbildung 5 ist der Sauerstoffverbrauch AT₄ von 27 Kompostproben dargestellt, 9 Proben stammen von regionalen Kompostproduzenten und die restlichen 18 von der MA48. Die von den regionalen Kompostproduzenten als „reif“ bezeichneten Proben wiesen AT₄ Werte zwischen 1 und 5,9 mg O₂/g TM auf und konnten alle dem vorgeschlagenen Grenzwert entsprechen.

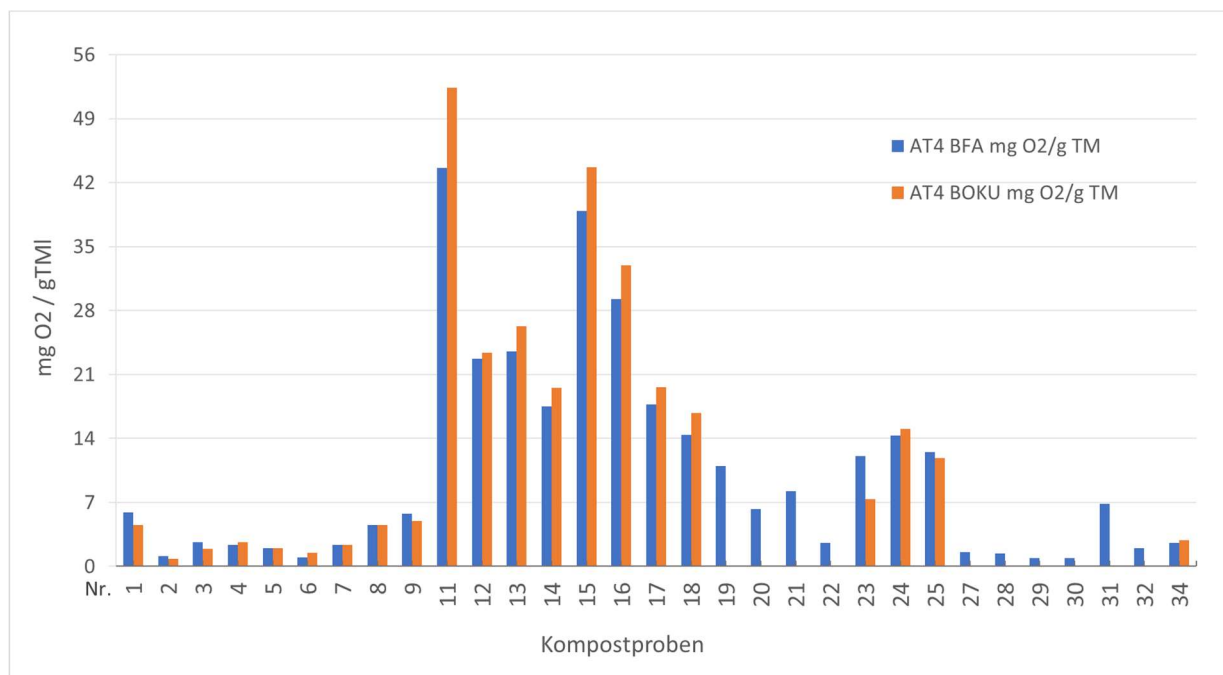


Abbildung 5. Gehalte von Sauerstoffverbrauch AT₄ mg/g TM von Kompostproben regionaler Kompostproduzenten und der MA48 mit unterschiedlicher Rottedauer und Reife, gemessen von BFA (blau) und BOKU (orange).

Tabelle 6. Charakterisierung von 40 Kompostproben der MA A8 und von regionalen Kompostproduzenten durch die Parameter AT₄ BFA, AT₄ BOKU, OUR in mmol/kg OM/h sowie umgerechnet der O₂ Gehalt in mg/g TM von 4 Tagen und die berechneten Reifepunkte.

Nr.	AT ₄ BFA mg O ₂ /g TM	AT ₄ BOKU mg O ₂ /g TM	OUR mmol/kg OM/h	O ₂ aus OUR mg /g TM	Reife- punkte
1	5,9	4,5	15,4	16,2	8
2	1,1	0,8	10,3	6,9	12,5
3	2,7	1,9	16,0	17,5	8,25
4	2,4	2,7	15,5	17,6	8,25
5	2,0	2,0	12,2	12,5	10,75
6	1,0	1,5	8,1	7,1	11,5
7	2,4	2,3	19,4	17,3	10,5
8	4,6	4,5	18,3	17,7	4,25
9	5,8	4,9	23,7	24,7	3,75
10	#NV	#NV	9,4	9,2	12,25
11	43,6	52,4	#NV	#NV	#NV
12	22,8	23,4	#NV	#NV	#NV
13	23,5	26,3	#NV	#NV	#NV
14	17,5	19,5	31,6	44,9	1,25
15	38,9	43,7	49,8	70,6	1,25
16	29,2	32,9	26,3	42,1	1
17	17,7	19,6	23,9	31,1	2
18	14,4	16,8	20,6	24,9	3,25
19	11,0	#NV	22,8	27,2	2,75
20	6,3	#NV	19,1	23,1	3,75
21	8,2	#NV	26,2	46,7	2,5
22	2,6	#NV	14,9	18,7	6,25
23	12,1	7,4	22,2	31,4	2,75
24	14,3	15,0	28,9	42,1	2
25	12,5	11,9	21,8	31,2	3
26	#NV	#NV	19,8	19,0	5,25
27	1,6	#NV	8,8	8,5	6
28	1,4	#NV	#NV	#NV	#NV
29	0,9	#NV	#NV	#NV	#NV
30	0,9	#NV	#NV	#NV	#NV
31	6,8	#NV	20,8	23,9	4,5
32	2,0	#NV	13,9	19,9	5,25
33	#NV	#NV	17,9	25,9	8
34	2,6	2,9	16,2	23,2	8,5
35	#NV	#NV	11,1	14,5	10,75
36	#NV	#NV	12,4	18,0	9,5
37	#NV	#NV	11,1	15,8	9,5
38	#NV	#NV	19,2	24,5	5,5
39	#NV	#NV	23,2	28,8	6,25
40	#NV	#NV	34,1	45,4	1,5

5.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

- Die Messung des Parameters AT_4 von Komposten konnte im BFA-Labor erfolgreich durchgeführt werden, ein Vergleich mit den Ergebnissen der BOKU zeigte eine hohe Korrelation von $r=0,99$ und konnte die Güte der Werte absichern.
- Die analysierten Kompostproben von auswärtigen Kompostproduzenten hielten durchgehend den vorgeschlagenen Grenzwert bei AT_4 mit $< 7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$ ein.
- Ein Vergleich der Parameter OUR und AT_4 zeigt, dass von 25 Kompostproben gemäß dem vorgegebenen Richtwert bei OUR 6 Komposte als stabil bezeichnet werden konnten und bei AT_4 bei dem vorgeschlagenen Grenzwert 15 Komposte.

5.2.4 Literatur

ÖNORM EN 16087-1 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung der aeroben biologischen Aktivität - Teil 1: Sauerstoffaufnahme (OUR)

ÖNORM S 2027-4 Beurteilung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung. Teil 4: Stabilitätsparameter – Atmungsaktivität (AT_4)

5.3 NIRS-Messung und Modellierung zur Vorhersage von Kompostreifeparametern

5.3.1 Modellierung NIRS-Daten

Zur Erstellung von Kalibriermodellen werden die Referenzdaten (physikalisch-chemischen Analyseergebnisse) einer Kompostprobe den NIR-Spektren derselben Probe gegenübergestellt und chemometrisch verrechnet. Für die Analyse der Spektren wurden die PCA (Hauptkomponenten-analyse) und PLS-R (Partial Least Square Regression) durchgeführt. Die Validierung der Modelle erfolgte mit einer Kreuzvalidierung (FCV Full Cross Validation), dabei wird jeweils eine Probe aus dem Datensatz ausgelassen und mit dem aus den restlichen Proben erstellten Modell vorhergesagt. Bei der Darstellung der Modelle werden die Werte der Kreuzvalidierung verwendet.

5.3.1.1 Erste Modellierung von AT_4 mg O_2 / g TM

Der Parameter AT_4 wurde von insgesamt 31 Kompostproben analysiert, davon wurden 24 Proben mit NIRS gemessen. Von 6 Proben wurde eine zu geringe Menge für die Vermahlung übermittelt. Für die statistische Analyse von Spektraldaten sind 24 Proben zwar eine zu geringe Zahl, dennoch wurde eine Regression durchgeführt, um einen ersten Eindruck der Vorhersagbarkeit zu erhalten. Abbildung 6 zeigt die Korrelation der AT_4 Referenzdaten auf der x-Achse mit der NIRS-Vorhersage auf der y-Achse, in Blau die Linie der Kalibrierung mit einem $r = 0,99$ und in Rot die der Kreuzvalidierung mit $r = 0,90$ sowie die jeweils dazugehörigen Probenpunkte mit der Herkunftsbezeichnung AT oder MA48. Zu erkennen ist, dass 4 Probenpunkte in der Validierung stärker abweichen, dennoch ist eine hohe Korrelation gegeben, sodass weitere Messungen zur weiteren Prüfung Sinn machen.

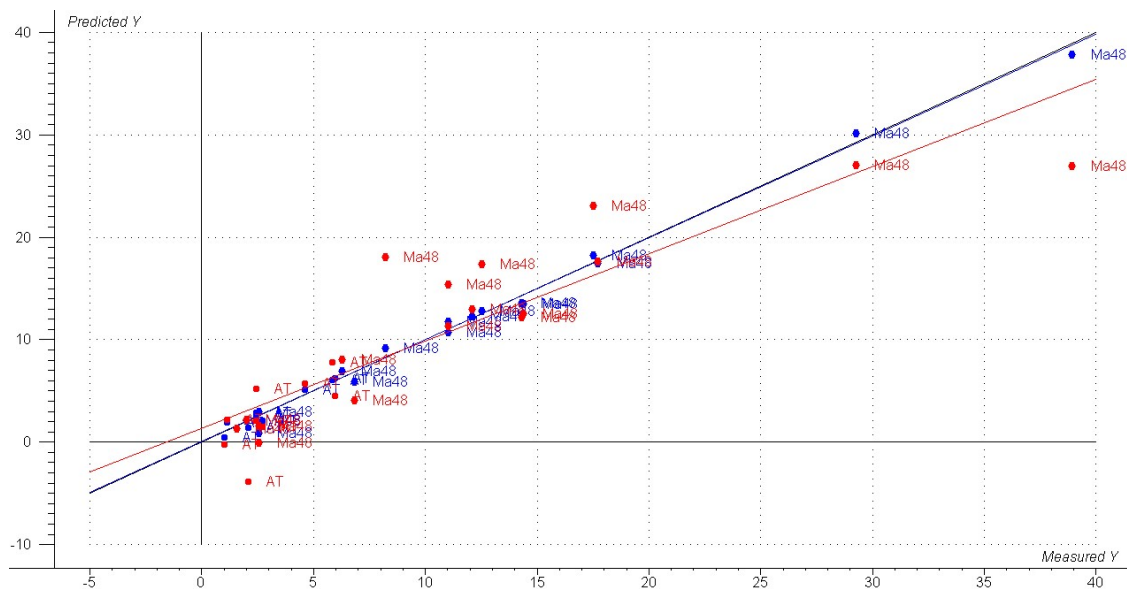


Abbildung 6. AT_4 mg O_2 /g TM (n=24) $r_{Cal}=0,99$, $r_{Val}=0,90$, Proben unterschiedlicher Herkunft (MA48 und AT), x-Achse= Referenzwert, y-Achse= NIR-Vorhersagewert.

5.3.1.2 Modell Sauerstoffverbrauch mg O₂ / g TM aus OUR

Für die Modellierung wurde der Wert des gemessenen Sauerstoffverbrauchs OUR von mmol O₂/kg OM/h umgerechnet auf mg O₂ / g TM und die Messdauer von 4 Tagen herangezogen. Der Parameter wird hier als O_{2 OUR} benannt. Die Werte wurden für die Verrechnung transformiert ($x=\sqrt{x}$).

Für die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs wurden zwei Modelle erstellt, a) mit dem gesamten Datensatz bestehend aus MA48-Proben und Proben verschiedener Kompostieranlagen (Gesamtmodell) und b) mit dem Datensatz, der nur MA48 Proben enthält (MA48 Modell).

Für das Gesamtmodell wurden insgesamt 426 Proben (250 MA48 Proben, 176 Proben von verschiedenen Kompostieranlagen) verrechnet. Zum bestehenden Modell wurden 31 Proben hinzugefügt (10 AT, 21 MA 48).

Für das MA48 Modell wurden 246 MA48 Proben verrechnet, hauptsächlich Proben von Zeilenmieten aus der Routinearbeit sowie Proben aus Versuchen mit länger rottenden Mieten. Zum bestehenden Datensatz wurden 21 Proben hinzugefügt.

In Tabelle 7 sind die Vorhersageparameter beider Modelle zu sehen. Das MA48-Modell zeigt etwas bessere Ergebnisse als das Gesamtmodell. Die erklärte Y-Varianz liegt bei beiden Modellen um 80 %. Die Korrelation der Referenzdaten und der Ergebnisse der Kreuzvalidierung beträgt beim Gesamtmodell $r=0,89$ und beim MA48-Modell $r=0,91$.

Tabelle 7. Vorhersageparameter der Modelle für Sauerstoff O_{2 OUR}

	mg O ₂ /g TM aus OUR berechnet Gesamtmodell	mg O ₂ /g TM aus OUR berechnet MA48-Modell
N	426	246
rCal	0,91	0,93
rVal	0,89	0,91
RMSEP	0,62	0,59
PC	11	9
Y expl %	80	83
Messbereich*	1,1-8,3	1,8-8,3

*Daten transformiert

5.3.1.3 Modellierung der Reifepunkte

Für die Modellierung wurde der Parameter Reifepunkte überarbeitet. In die Berechnung des Summenparameters fließen Sauerstoffverbrauch nach OxiTop, der Gehalt an DOC, NH₄-N, NO₃-N und der Solvita Wert ein, wobei eine höhere Punktezahl eine höhere Reife bedeutet.

Für die Bestimmung der Reifepunkte wurden zwei Modelle erstellt, a) mit dem gesamten Datensatz bestehend aus MA48-Proben und Proben verschiedener Kompostieranlagen (Gesamtmodell) und b) mit dem Datensatz, der nur MA48 Proben enthält (MA4 Modell).

Für das Gesamtmodell wurden 408 Proben (248 MA48 Proben, 160 Proben von verschiedenen Kompostieranlagen) verrechnet.

Für das MA48 Modell wurden 247 Proben verrechnet, es handelt sich hauptsächlich um Proben von Zeilenmieten aus der Routinearbeit sowie Proben aus Versuchen mit länger rottenden Mieten.

Tabelle 8 zeigt die Vorhersageparameter beider Modelle. Auch hier zeigt das MA48-Modell etwas bessere Ergebnisse als das Gesamtmodell. Der Korrelationskoeffizient der Validierung beträgt beim Gesamtmodell $r_{Val}=0,86$, der beim MA48 Modell $r_{Val}=0,91$, die erklärte Y-Varianz beträgt 77 % und 83 %.

Tabelle 8. Vorhersageparameter der Modelle für Reifepunkte

	Reifepunkte Gesamtmodell	Reifepunkte MA48-Modell
N	408	248
rCal	0,89	0,94
rVal	0,86	0,91
RMSEP	1,68	1,37
PC	10	12
Y expl %	77	83
Messbereich*	2 - 13,25	2 - 13,25

**Berechnung der Summenparameter aktualisiert*

5.3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerung

- Eine Erweiterung des spektralen Kompostdatensatzes erfolgte durch 36 Proben. Die bestehenden Modelle zu $O_{2\text{ OUR}}$ und Reifepunkte wurden aktualisiert und weiterentwickelt.
- Die Güte der Vorhersage steigt u.a. mit der Anzahl der Proben und mit der Homogenität der Proben in Bezug auf Probeneigenschaften bedingt durch Ausgangsmaterial, Rottebedingungen, Prozessabläufe und -techniken, Probenbehandlung u.a. Die Aufteilung in „Gesamtmodelle“ und in „MA48 Modelle“ ermöglicht einerseits die Messung von Komposten von unterschiedlichen Herkunft und andererseits eine bessere Vorhersage der MA48 Komposte.
- Eine erste Modellierung des Parameters AT_4 zeigt eine gute Korrelation mit den Spektraldaten bei jedoch für eine statistische Analyse noch zu wenigen Proben. Eine weitere Messung von Proben zur Prüfung der NIRS-Anwendung ist sinnvoll.

6. Arbeitspaket 6- Bestimmung der Abbaustabilität von Komposten des Kompostwerkes Lobau in unterschiedlichen Böden

6.1 Einleitung

Kompost fördert die Humusbildung im Boden, verbessert die Struktur und dadurch die Wasseraufnahmefähigkeit und das Wasserhaltevermögen des Bodens, verhindert Erosion und ist somit ein wichtiger Faktor zur Erreichung klimafitter Böden. Langfristiger Humusanreicherung ist ebenfalls ein wichtiger Mechanismus, um bedeutende Mengen an CO₂ mittelfristig der Atmosphäre zu entziehen und im Boden zu binden.

Die Humuswirkung von Kompost ist von abiotischen (Klima, Wetter, Bodenausgangsmaterial) und biotischen Faktoren (Bodenleben) abhängig und wird auch noch entscheidend durch Zeitpunkt und Art der Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst. In diesem Versuch wird der Einfluss unterschiedlicher Böden bzw. Bodenarten auf die Humuswirkung des Wiener Kompostes untersucht.

6.2 Methodik

Für den Versuch wurden fünf unterschiedliche Böden aus Wien und der Wiener Umgebung ausgewählt. Für die Auswahl wurde auch die Bodenkarte der Österreichischen Bodenkartierung „eBOD“ zu Hilfe genommen. Die Böden unterschieden sich in Bodenart, Struktur, Farbe, Wasserhaltekapazität und Humusgehalt (Tabelle 9 und Abbildung 7).

Tabelle 9. Herkunft, Bodenart, Wasserhaltekapazität, organischer Kohlenstoff, Carbonat und Gesamtstickstoffgehalt der im Inkubationsversuch verwendeten Böden

Herkunft	Bodenart		WHK _{max} [H ₂ O/100 g TM]	Corg [% TM]	Carbonat [% TM]	Nges [% TM]	C/N Verhältnis
BFA	sandiger Schluff	sU	40,3	1,65	24,0	0,17	10,0
Essling	schluffiger Lehm	uL	42,3	2,00	29,1	0,22	9,2
Seyring	sandiger Lehm	sL	35,4	2,12	1,7	0,23	9,3
Lobau	sandiger Schluff	sU	37,3	1,60	24,7	0,16	10,0
Himberg	lehmgiger Ton	IT	44,2	3,20	25,3	0,29	11,0



Abbildung 7. Die im Inkubationsversuch verwendeten Böden

Der verwendete Kompost mit der Bezeichnung ZM4 01082023A hatte eine Rottedauer von 6 Wochen und war ein Kompost, wie er üblich vom Kompostwerk Lobau an Landwirte vergeben wird. Der Kompost besaß einen für einen Kompost aus Biotonne- und Grünschnittsammlung hohen Gesamtstickstoffgehalt von 1,79 % und ein C/N-Verhältnis von 14,8. Sowohl C/N-Verhältnis als auch die Ergebnisse der Kompostreifetests lassen eine Mineralisation und Nährstofffreisetzung des Kompostes erwarten (Tabelle 10).

Tabelle 10. Wassergehalt, Feuchtdichte, pH, Salzgehalt, Leitfähigkeit, Gesamt C- und Gesamt N-Gehalt, sowie Corg, C/N Verhältnis sowie die Kompostreifeparameter des Kompostes mit der Bezeichnung ZM4 01082023A.

Bezeichnung Kompost	allgemeine Parameter										
	Wasser- gehalt	Feucht- dichte	pH	pH	Salz- gehalt	Leitfähigkeit (frische Probe)	Leitfähigkeit (getrocknete Probe 45°C)	Gesamt C	Corg	Gesamt N	C:N Verhältnis
	[%]	[kg/l FS]	[Wasser]	[CaCl ₂]	[g KCl/l]	[mS/cm]	[mS/cm]	[%]	[%]	[%]	
ZM4 01082023 A	37,8	0,466	7,77	7,23	3,78	1,54	2,34	27,5	26,5	1,79	14,8
Bezeichnung Kompost	Kompostreifeparameter										
	Sauerstoff- verbrauch (OUR)	DOC	NH ₄ -N im CaCl ₂ Extrakt	NO ₃ -N im CaCl ₂ Extrakt	NO ₃ -N-Anteil an Nmin	Solvita Index	Reifepunkte				
	[mmol O ₂ /kg OM/pro Stunde]	[mg/l]	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]	[%]						
ZM4 01082023 A	34,1	1181	490	<10	0	5	2,5				

Inkubationsversuch:

Für den Inkubationsversuch wurde von den fünf Standorten jeweils Oberboden (0-30 cm) mittels Spaten genommen und im Labor 5 mm gesiebt und luftgetrocknet.

Vor Versuchsbeginn erfolgte die Bestimmung der Wasserhaltekapazität der Böden. Hierfür wurde der 5 mm gesiebte, luftgetrocknete Boden in Kunststoffzylinder gegeben, welche auf einer Seite mit einem feinmaschigen Netz, sowie einem Filterpapier verschlossen waren. Die Zylinder wurden über Nacht in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gestellt, wobei der Wasserspiegel knapp über die Schütthöhe des Bodens reichte. Nach Aufsättigung wurden die Zylinder auf ein angefeuchtetes Entwässerungsbett aus Sand (Füllhöhe: 10 cm, Korndurchmesser: 0,2 mm) übergeführt. Nach dem Abtropfen wurde der Wassergehalt des Bodens gravimetrisch bei 105°C bestimmt.

Von den Böden wurde ebenfalls der organische Kohlenstoff, Carbonatgehalt und Gesamtsickstoffgehalt nach ÖNORM L1080 sowie ÖNORM L1084 ermittelt.

Zur Bestimmung des mineralisierten organischen Kohlenstoffs des Kompostes (Abbaustabilität der organischen Substanz) wurde die Respirationssystemanlage CarbO₂Bot® (PRW ELECTRONICS) mit kontinuierlicher CO₂ Messung verwendet. Diese beinhaltet 60 Probengefäße (Volumen: 750 ml) und ein Luft-Wasser-Bad zur kontinuierlichen Temperierung. Das während der Inkubation freigesetzte Kohlendioxid wird über das Prinzip der Konduktometrie bestimmt.

Einen Tag vor Inkubationsbeginn wurde in die Probenbehälter der Respirationssystemanlage CarbO₂Bot jeweils 100 g Boden (TM) eingewogen und auf 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität angefeuchtet (Abbildung 8). Die Einwaage erfolgte je Variante/Boden in 10 Wiederholungen. Wobei jeweils 5 Wiederholungen zur Bestimmung der Basalatmung vorgesehen waren. Am darauffolgenden Tag wurde in jeweils 5 Wiederholungen (Probenbehälter) je Variante Kompost aufgebracht und mit einer Gabel in den Boden eingearbeitet. Die aufgebrachte Kompostmenge entsprach hierbei einer Ausbringungsmenge von 20 t Kompost TM/ha. Anschließend wurden die Behälter verschlossen und für 100 Tage bei einer konstanten Temperatur von 20°C inkubiert. Während der gesamten Inkubationsdauer wurde das durch den Boden und Kompost freigesetzte CO₂ in 0,3 molarer KOH im Auffanggefäß, welches sich im Probenbehälter befindet, aufgefangen. Die Absorption des CO₂ in der KOH-Lösung führt zur Änderung der Leitfähigkeit und wurde stündlich kumulativ über den gesamten Inkubationszeitraum erfasst. Aus der Änderung der Leitfähigkeit wurde dann unter Berücksichtigung einer Korrektur durch mitgeführte Leerdosen mit folgender Formel die CO₂-Freisetzung berechnet:

$$CO_2[mg] = \left(1 - \frac{\text{Leitfähigkeit Bodendose}}{\text{Leitfähigkeit Leerdose}}\right) * CO_2Koeff. * \text{Molarität Lauge}[mol] * \text{Volumen Lauge}[ml]$$

CO₂-Koeffizient = 39,76 nach Chapman (1971)

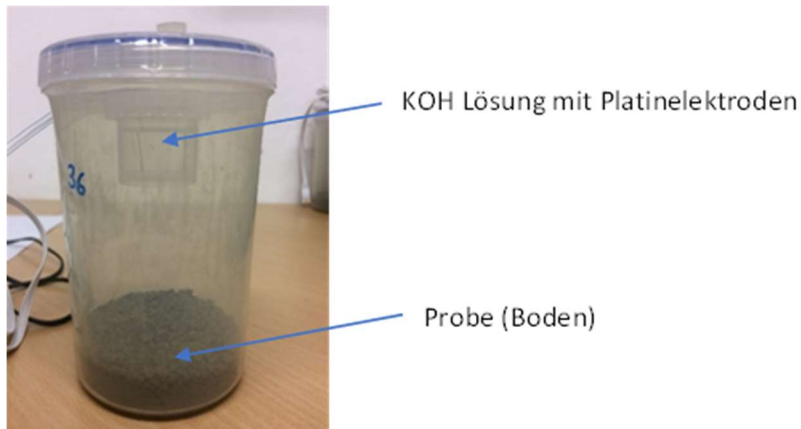


Abbildung 8. Luftdicht verschließbarer Probenbehälter des CarbOBot

Die Ergebnisse sind dargestellt als Mittelwerte aus den Wiederholungen. Die Kohlenstoff-Mineralisierung des Kompostes wurde aus der Differenz der entwickelten CO₂-Menge des Bodens in dem Kompost eingearbeitet wurde und dem Boden ohne Zugabe von Kompost berechnet. Die Ergebnisse des prozentualen Kohlenstoffabbaus des Kompostes nach 100 Tagen wurden mit Hilfe von SPSS Statistics 20.0 auf signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen untersucht. Angewendet wurde eine einfaktorielle ANOVA, gefolgt vom Tukey's HSDTest ($P \leq 0,05$). Varianzhomogenität wurde mittels Levene Test geprüft.

6.3 Ergebnisse

Die fünf unterschiedlichen Böden wiesen während des Inkubationszeitraumes (100 Tage) eine unterschiedliche Bodenatmung auf (Abbildung 9). Das freigesetzte CO₂ lag zwischen 131 mg CO₂/100 g beim Boden Lobau und 302 mg CO₂/100 g beim Boden Himberg. Die Bodenatmung der Standorte Essling, Seyring, Lobau und Himberg korrelierte hierbei stark mit dem Humusgehalt der Böden ($R^2=0,98$). Eine positive Korrelation zwischen dem Gehalt des organischen Kohlenstoffs im Boden und der Mineralisierungsrate wurde auch in den Untersuchungen von Ross C.L. (2017) beschrieben. Der Standort BFA zeigte mit 233 mg CO₂/100 g eine deutlich höhere Atmung im Vergleich zum Humusgehalt. Der Anteil an leicht abbaubaren Kohlenstoff dürfte somit beim Boden dieses Standorts am höchsten gewesen sein.

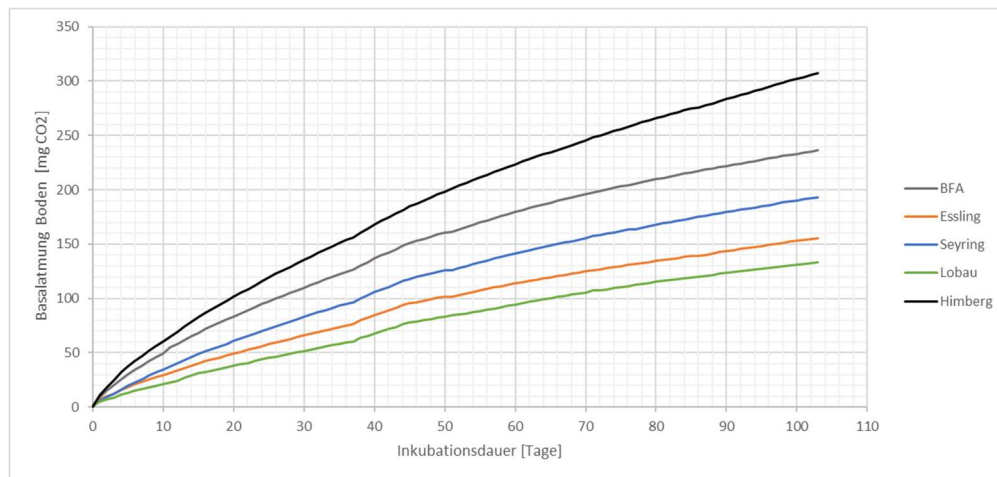


Abbildung 9. Bodenatmung [mg CO₂/100 g Boden] der fünf unterschiedlichen Varianten während der Inkubationsdauer von 100 Tagen bei 20°C in je 6 Wiederholungen

Bei Betrachtung des im Inkubationszeitraum mineralisierten organischen Kohlenstoffs des in den Boden eingearbeiteten Kompostes ist zu Inkubationsbeginn ein rascher Anstieg der Mineralisierung festzustellen. Bereits nach 20 Tagen wurde in allen Varianten 50 % des in 100 Tagen insgesamt mineralisierten Kohlenstoffs, veratmet (Abbildung 10, Tabelle 11). Nach 50 Tagen Inkubation ist eine zunehmende Abflachung der Kurve zu erkennen. Auch Griffin und Hutchinson (2007) konnten bei ihrer aeroben Inkubation von unterschiedlich lang gerotteten Komposten in einem sandig-lehmigen Boden, ein rasches Abflachen der Mineralisierungsrate (nach 35 Tagen) nach sehr hohen Werten zu Beginn der Inkubationszeit beobachten. Bedingt ist dies durch die rasche Erschöpfung des leicht verfügbaren Kohlenstoffs im Kompost. Nach 100 Tagen waren bei den fünf Bodenvarianten zwischen 1032 und 1216 mg C/100 g Kompost mineralisiert.

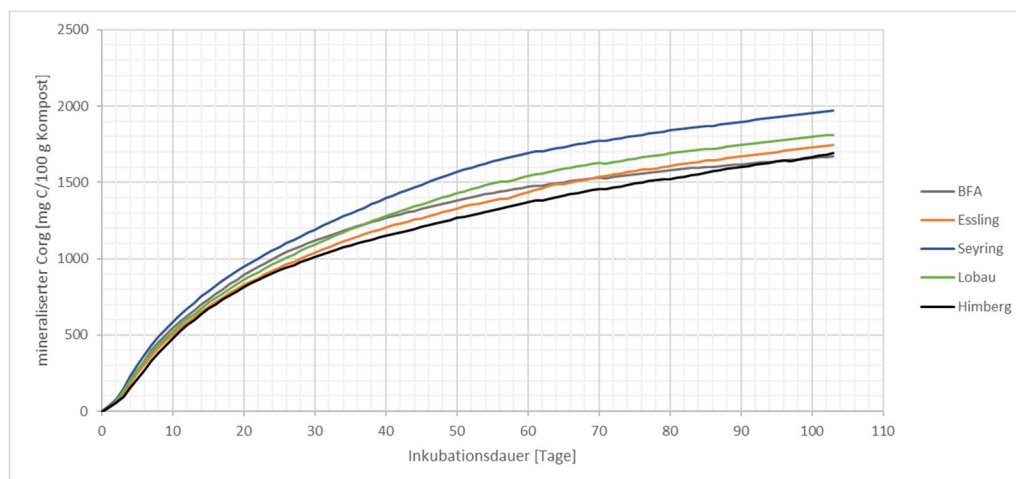


Abbildung 10. Menge des mineralisierten organischen Kohlenstoffs [mg C/100 g Kompost TM] des Kompostes während der Inkubationsdauer von 100 Tagen bei 20°C

Die Mineralisierungsrate unterschied sich bei der Variante Seyring und Himberg am deutlichsten voneinander während bei den Varianten BFA, Essling, Lobau und Himberg kein signifikanter Unterschied zu beobachten war. Der Standort Seyring ist aufgrund seiner Bodenart ein leichter, sandiger Standort. Solche Standorte sind durch eine hohe Umsetzung der organischen Substanz gekennzeichnet (Amlinger et al., 2006). Dies führte in der vorliegenden Untersuchung auch zur höchsten Mineralisationsrate des Kompostes. Nach 100 Tagen wurden bei 20°C Inkubationstemperatur 7,39 % des organischen Kohlenstoffs im Kompost umgesetzt. Beim Standort Himberg handelte es sich im Gegensatz dazu um einen schweren Boden mit hohen Tongehalten. Die Mineralisationsrate des Kompostes war bis zum 90.

Tag bei diesem Boden am geringsten. Nach 100 Tagen wurde bei diesem Boden 6,30 % des organischen Kohlenstoffs des Kompostes mineralisiert. Vergleichbar sind diese Ergebnisse mit der Langzeitstudie „Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft“ von Haber et al. (2008). In dieser wurde der Einfluss gestaffelter Kompostanwendung bei langjährigen Feldversuchen auf unterschiedlichen Standorten (unterschiedliche Bodenarten und Klimaverhältnissen) in Deutschland untersucht. Auch hier konnte gezeigt werden, dass die Zunahme der Humusgehalte auf sandigen Standorten geringer ausfiel als auf mittleren bis schweren Böden.

Im vorliegenden Versuch gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den mittelschweren Böden der Standorte BFA, Essling, Lobau und dem Standort Himberg mit hoher Bodenschwere. Grund hierfür könnte das Versuchsdesign sein, bei dem die 5 mm gesiebten Böden ohne Berücksichtigung der Bodendichte in die Inkubationsgefäße eingefüllt wurden. Ebenfalls wurde der Kompost in allen Varianten gleichmäßig in den Boden mit einer Gabel eingearbeitet. Somit war bei allen Böden ein optimaler Gasaustausch möglich. Ebenfalls herrschte eine gleichmäßige Temperatur von 20°C. Unter natürlichen Bedingungen sind aber gerade die tonig/lehmigen schweren Böden aufgrund ihrer feinkörnigen Textur häufig im Gasaustausch limitiert. Sie neigen auch zu langsamer Erwärmung und daher geringer biologischer Aktivität. Beide Faktoren beeinflussen auch die Kompostmineralisation im Boden.

Tabelle 11. Anteil des mineralisierten organischen Kohlenstoffs vom gesamten organischen Kohlenstoff des Kompostes [%] bei den unterschiedlichen Böden während der Inkubationsdauer von 100 Tagen bei 20°C.

Zeit Tage	BFA	Essling	Seyring [% TM]	Lobau	Himberg
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	2,05	1,90	2,20	1,96	1,80
20	3,37	3,12	3,58	3,25	3,08
30	4,22	3,93	4,50	4,13	3,82
40	4,78	4,55	5,27	4,83	4,34
50	5,22	5,01	5,92	5,39	4,78
60	5,56	5,43	6,39	5,81	5,18
70	5,79	5,79	6,70	6,14	5,50
80	5,96	6,07	6,95	6,38	5,75
90	6,11	6,30	7,16	6,59	6,05
100	6,26	6,53	7,39	6,79	6,30

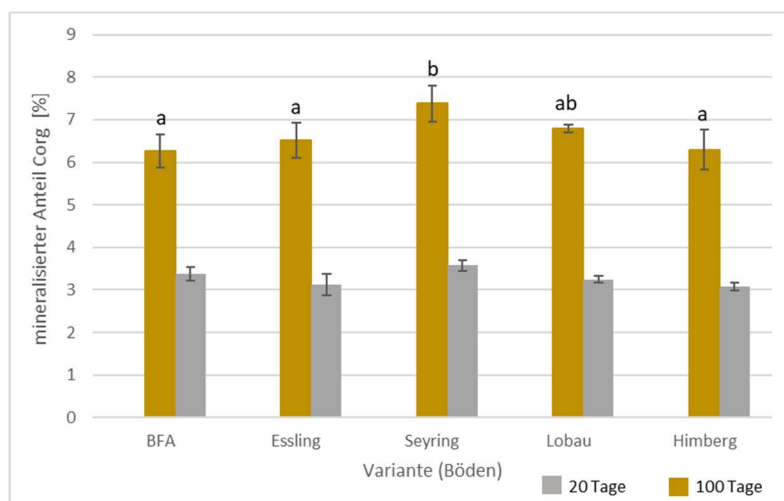


Abbildung 11. Anteil des mineralisierten organischen Kohlenstoffs vom gesamten organischen Kohlenstoff des Kompostes [%] bei den unterschiedlichen Böden nach einer Inkubationsdauer von 20 Tagen (grau) sowie 100 Tagen (braun) ($P \leq 0,05$).

6.4 Zusammenfassung

Kompostdüngung kann langfristig den Humusgehalt von Böden, wie es auch am Demonstrationsversuch am Rautenweg gezeigt werden kann, erhöhen. Die Humuswirkung von Kompost ist von den Bewirtschaftungsmaßnahmen aber auch von den abiotischen (Klima, Wetter, Bodenausgangsmaterial) und biotischen Faktoren (Bodenleben) abhängig. In diesem Inkubationsversuch konnte gezeigt werden, dass die Humuswirkung bei schweren und mittelschweren Böden, wie am Standort Himberg und BFA höher ist als bei einem leichten Boden wie am Standort Seyring. Der maximale Unterschied bei den Böden in Wien und der Wiener Umgebung betrug bei der Aufbringung des noch umsetzaktiven Kompostes maximal 1,1 % des gesamten organischen Kohlenstoff-Gehaltes des Kompostes. Bei einer Kompostanwendung von 20 t Kompost (TM) wären dies bis zu 59 kg organischer Kohlenstoff der auf schweren und mittelschweren Böden im selben Zeitraum gebunden bleibt. Unter Praxisbedingungen kann die Abbaustabilität des Kompostes auf schweren Böden aufgrund eines limitierten Gasaustausches und langsamerer Bodenerwärmung noch stärker ausgeprägt sein.

6.5 Literatur

Amlinger F., Peyer S., Geszti J., Dreher P., Weinfurter K., Nortcliff S. (2006): Evaluierung der nachhaltig positiven Wirkung von Kompost auf die Fruchtbarkeit und Produktivität von Böden, Literaturstudie, BLFUW

Chapman S.B. (1971): A simple conductimetric soil respirometer for field use, OIKOS 22:348-353. Copenhagen

Griffin T.S., Hutchinson M. (2007): Compost maturity effects on nitrogen and carbon mineralization and plant growth. Compost Sci.Util.15 (4), 228-236

Haber N., Teutsch G., Reinhold J., Kluge R., Deller B., Flaig H., Schulz E. (2008): Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft, Abschlussbericht, LTZ Augustenberg

Ross C.L. (2017): Kompostierte Gärreste aus Bioabfällen als Düngestoffe: Bodenökologische und pflanzenbauliche Wirkungen, Dissertation, Humboldt-Universität Berlin

7. Arbeitspaket 7 – Praxisversuch zur Verbesserung der Kompostqualität durch Zugabe von Tonerden

7.1 Einleitung

Der Zusatz von lehmiger Erde bei der Kompostierung war bereits in den Anfängen der Kompostierung üblich (Gottschall, 1992). Die Gründe waren teilweise unterschiedlich und stammten vielfach nur aus Beobachtungen, dass der Kompost mit Erde einfach besser wird (Dunst, 2015). Wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Thema sind rar, aber die lehmige Erde soll die Bildung von Ton-Humus-Komplexen fördern, Mineralstoffe und Spurenelemente einbringen, die Wasserspeicherung erhöhen und dadurch die Rottebedingungen verbessern.

In diesem Praxisversuch soll untersucht werden ob, die Zugabe von lehmigen Bodenaushubmaterial, welches im Zuge des Wiener U-Bahn Baus anfällt, zur Verbesserung des Kompostierungsprozesses und der Kompostqualität führt. Hierfür wurde eine Versuchsmiete aufgesetzt, bei der 5, 10 und 15 % (Gewichtsprozent) des Bodenaushubmaterials zu Beginn des Kompostierungsprozesses zugefügt wurde. Als Kontrollvariante fungierte ein Mietenabschnitt mit dem gleichen Kompostausgangsmaterial ohne Zugabe von Bodenaushub.

7.2 Methodik

Im Praxisversuch wurden bei einer Versuchsmiete 4 Varianten angelegt, bei der unterschiedliche Mengen Bodenaushub (Zugabe von 0, 5, 10, 15 Gewichts%) zu Beginn des Kompostierungsprozesses zugefügt wurden. Für den Versuch wurden am Kompostwerk Lobau am 03.05.2023 zwei einfache Zeilenmieten parallel aufgesetzt und die Varianten mittels Radlader getrennt. Für jede Variante wurde mittels Radlader auf jeweils einen Abschnitt der ersten Zeilenmiete die entsprechende Menge an Bodenaushub gleichmäßig aufgebracht. Nach dem Einarbeiten des Bodenaushubmaterials in die Miete durch einen Umsetzer, wurde die Miete mit der parallelen Miete zu einer Doppelmiete zusammengelegt und am darauffolgenden Tag (04.05.2023) nach Absetzen des Kompostes die Doppelmiete mittels Umsetzer nochmals durchmischt. Dadurch entstand eine Doppelmiete mit 4 Abschnitten, siehe schematische Darstellung der Versuchsmiete in Abbildung 12. Da Bodenaushub nur in begrenzter Menge vorhanden war, wurde der Versuchsabschnitt mit 15 % Bodenaushub mit einer geringeren Kompostausgangsmaterialmenge als bei den Varianten 5 und 10 % Bodenaushub angelegt. Die Mengen des Kompost-Ausgangsmaterials der unterschiedlichen Abschnitte der Doppelmiete sowie die entsprechende Zugabe an Bodenaushub je Variante sind in Tabelle 12 angegeben. Nach Aufsetzen der Kompostmiete wurde sie anschließend betriebsüblich über einem Zeitraum von 12 Wochen behandelt.

0% Bodenaushub (Kontrolle)	5% Bodenaushub	10% Bodenaushub	15% Bodenaushub
-------------------------------	-------------------	--------------------	--------------------

Abbildung 12. Schematische Darstellung der Versuchsmiete mit den 4 Varianten.

Tabelle 12. Mengenangaben des Kompostausgangsmaterials (FM) und des Bodenaushubmaterials (FM) der unterschiedlichen Varianten zu Versuchsbeginn am 03.05.2023 (04.05.02023) sowie das Gewicht der Zeilenmiete vor Absiebung (FM) am Ende des Versuches (FM) am 27.07.2023 und das Gewicht des Siebüberlaufes nach Absiebung (Daten von MA48).

	Gewicht Ausgangsmaterial [t FM]	Gewicht Bodenaushub [t FM]	Gewicht Zeilenmiete Versuchsende [t FM]	Gewicht Siebüberlauf Versuchsende [t FM]	Anteil Siebüberlauf von Zeilenmiete [% FM]
0% Bodenaushub (Kontrolle)		-	64	14	22
5% Bodenaushub	100	5	41	16	39
10% Bodenaushub	100	10	45	15	33
15% Bodenaushub	66	10	36	14	39

Zur Bestimmung der unterschiedlichen Parameter erfolgte eine Probenahme zu den in Tabelle 13 angeführten Terminen. Die wöchentliche Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte durch das Labor der MA48.

Tabelle 13. Probenahmetermine, Rottedauer sowie die entsprechend eingeplanten Analyse.

Probenahme- datum	Rottedauer	Analysen
04.05.2023	Versuchsbeginn	Wassergehalt pH Nmin zur Bestimmung der N-Dynamik Verfügbare Nährstoffe (P und K im CAL) Nährstoffgesamtgehalte
24.05.2023	3 Wochen	Wassergehalt Nmin zur Bestimmung der N-Dynamik
07.06.2023	5 Wochen	Wassergehalt Wasserhaltekapazität pH Nmin zur Bestimmung der N-Dynamik Ton-Humus-Komplex-Bildung (Mineral-associated organic matter MAOM)
21.06.2023	7 Wochen	Wassergehalt Nmin zur Bestimmung der N-Dynamik mikrobielle Aktivität (AT4)
20.07.2023	11 Wochen	Wassergehalt Wasserhaltekapazität Nmin zur Bestimmung der N-Dynamik Ton-Humus-Komplex-Bildung (Mineral-associated organic matter MAOM) pH und Salzgehalt Nährstoffgesamtgehalte Verfügbare Nährstoffe (P und K im CAL) mikrobielle Aktivität (AT4)

Der Wassergehalt, die Wasserhaltekapazität, pH, Salzgehalt, die verfügbaren Gehalte von NO₃-N und NH₄-N (Nmin), sowie die verfügbaren Gehalte von P und K im CAL-Extrakt, der gesamt Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt und die Gesamtnährstoff- und Schwermetallgehalte im Königswasser wurden nach der KompostVO, 2001 untersucht. Die Bestimmung der mikrobiellen Atmungsaktivität (AT4) erfolgte nach

ÖNORM S 2027-4. Die Bestimmung der Ton Humus Komplexe erfolgte nach einer für Komposte angepasste Methode von Cambardella und Elliot (1992) des mineral associated organic carbon.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung im Bodenaushub erfolgte nach ÖNORM L 1061-2 im Feinboden < 2 mm. Es wurden hierbei die Massenanteile der Korngrößenklassen: Sand, Schluff und Ton erfasst.

5.3 Ergebnisse

Ausgangssituation

Laut der Kompostverordnung (2001) dürfen zur Kompostierung Bodenaushubmaterialien als Zuschlagstoff in untergeordneter Menge (max. 15 % m/m) zugefügt werden. Für die Qualitätsanforderungen müssen folgende Grenzwerte [mg/kg TM] eingehalten werden: As 30, Pb 100, Cd 1,1, Cr ges. 90, Cu 90, Ni 55, Hg 0,7, Zn 450, PAK (16) 2, PCB 0,2, KWges 200. Beim verwendeten Bodenaushub konnten alle Grenzwerte der untersuchten Parameter As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn (Tabelle 15) eingehalten werden.

Tabelle 14. pH, Kohlenstoff, Stickstoff sowie die löslichen Nährstoffgehalte des unbehandelten Bodenaushubmaterials und des Kompostausgangsmaterials zu Versuchsbeginn [mg/kg TM bzw. % TM].

Gesamtgehalte				lösliche Gehalte			
Parameter	Einheit	Bodenaushub	Kompost	Parameter	Einheit	Bodenaushub	Kompost
pH H ₂ O		8,03	7,31	NH ₄ -N	[mg/kg TM]	10,5	1026
pH CaCl ₂		7,54	7,22	NO ₃ -N	im CaCl ₂ -Extrakt	17,5	<10
C _{ges}	[% TM]	1,47	28,37	Ba		23,2	33,7
Carbonat	[% TM]	10,7	8,8	K		138	8335
C _{org}	[% TM]	0,18	27,31	Li		0,55	0,38
C _{ges}	[mg/kg TM]	14681	283695	Mg	[mg/kg TM]	4532	1937
C _{anorg}	[mg/kg TM]	12840	10560	Na	im CAL-Extrakt	88	663
C _{org}	[mg/kg TM]	1841	273135	P		12,8	745
N _{ges}	[% TM]	0,06	1,21	S		287	348
N _{ges}	[mg/kg TM]	635	12108	Sr		42,9	39,4

Tabelle 15. Gesamtgehalte im Königswasser des unbehandelten Bodenaushubmaterials und des Kompostausgangsmaterials zu Versuchsbeginn [mg/kg TM].

Gesamtgehalte im Königswasser							
Parameter	Einheit	Bodenaushub	Kompost	Parameter	Einheit	Bodenaushub	Kompost
Al		22590	7077	Li		48,1	12,7
As		8,95	3,08	Mg		18156	10311
Ba		95,2	97,2	Mn		504	300
Be		0,943	0,345	Mo		0,19	0,44
Ca		32426	46091	Na		296	798
Cd	[mg/kg TM] im Königs- wasser	0,13	0,03	Ni	[mg/kg TM] im Königs- wasser	44,01	11,65
Co		10,35	3,55	P		395	1986
Cr		40,86	15,56	Pb		8,67	16,32
Cu		18,9	34,3	Sb		<1	<1
Fe		28257	9121	Sr		59,4	76,7
K		5031	13133	V		40,4	14,1
				Zn		61,2	113,3

Zu Versuchsbeginn lag der pH des Bodenaushubs mit 8,03 im Wasser und 7,54 im CaCl_2 im alkalischen Bereich und damit über dem pH des Kompostausgangsmaterials (Tabelle 14). Der pH- Wert beeinflusst sehr wesentlich die Nährstoffverfügbarkeit, bei hohen pH-Werten sinkt beispielsweise die Verfügbarkeit von Eisen, Mangan, Kupfer, Zink und Phosphor. Da es aber beim Kompost nach dem Abbau der Säuren in der ersten Kompostierungsphase ebenfalls zu einem Anstieg des pH-Wertes in den alkalischen Bereich kommt, sollte die Zugabe des Bodenaushubmaterials zu keiner Beeinflussung durch den pH-Wert führen.

Der unbehandelte Bodenaushub besitzt einen für Böden üblichen Gesamtkohlenstoffgehalt von 1,47 % mit einem sehr geringen Anteil an organischem Kohlenstoff, der aufgrund des Alters und der Bodentiefe, aus dem das Material entnommen wurde, erklärbar ist. Der Carbonatgehalt mit 10,7 % liegt im mittleren bis hohen Bereich und liegt in einem ähnlichen Bereich wie das Kompostausgangsmaterial zu Versuchsbeginn. Der Gesamtstickstoffgehalt des Bodens beträgt 0,06 % und ist erwartungsgemäß deutlich niedriger als der Stickstoffgehalt des pflanzlichen Kompostausgangsmaterials (Tabelle 14). Die Gesamtgehalte der Haupt- und Spurenelemente sowie der Schwermetalle liegen in einem für Böden normalen Bereich. Im Vergleich zum Kompostausgangsmaterial befinden sich im Bodenaushubmaterial höhere Gehalte von Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Fe, Li, Mg, Mn, Ni und V. Elemente wie K und P werden hingegen in der pflanzlichen Biomasse angereichert und kommen daher im Kompostausgangsmaterial in deutlich höherer Konzentration vor. Aufgrund der niedrigeren Gesamtgehalte des Bodenaushubmaterials von N, K, und P liegen die löslichen Gehalte (CAL sowie im CaCl_2 -Extrakt) ebenfalls unter denen des Kompostausgangsmaterials. Mg, Li und Sr sind in höheren Konzentrationen im CAL-Extrakt des Bodenaushubmaterials verfügbar.

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung des verwendeten Bodenaushubes ergab die in Tabelle 16 ersichtliche Verteilung der Korngrößenklassen. Es handelt sich hierbei um ein überwiegend schluffiges Material mit einem Tongehalt von 21,7 %. Der Tongehalt liegt somit an der unteren Grenze des im Gutachten angegebenen Tongehaltes des Materials von 20 – 40 %.

Tabelle 16. Massenanteile [%] der Korngrößenklassen Sand, Schluff, Ton im verwendeten Bodenaushubmaterial

	Sand (> 63 µm) [%]	Schluff (2-63 µm) [%]	Ton (< 2 µm) [%]	Bodenart
Bodenaushub	3,9	74,4	21,7	lehmgiger Schluff (IU)

Versuch

Der Masseverlust der Versuchsmiete, aufgrund des biologischen Abbaus der organischen Substanz, betrug während des Versuchszeitraumes in den Varianten mit Bodenaushub zwischen 61 und 53 % der Frischmasse sowie zwischen 38 und 29 % der Trockenmasse (Tabelle 17). Wie erwartet, war der Masseverlust kleiner je höher der Anteil des Bodenaushubmaterials war.

Tabelle 17. Mengenangaben des Kompostausgangsmaterials (FM) und des Bodenaushubmaterials (FM) der unterschiedlichen Varianten zu Versuchsbeginn am 03.05.2023 (04.05.2023) und Versuchsende am 27.07.2023, sowie der verbliebene Anteil der Zeilenmiete nach der Rotte vom Ausgangsmaterial in % FM sowie % TM.

	Gewicht Kompost- Ausgangsmaterial [t FM]	Gewicht Bodenaushub [t FM]	Gewicht Zeilenmiete Versuchsende [t FM]	Anteil Siebüberlauf von Zeilenmiete [% FM]	Anteil Zeilenmiete Versuchsende von Ausgangsmaterial [% FM]	Anteil Zeilenmiete Versuchsende von Ausgangsmaterial [% TM]
0% Bodenaushub (Kontrolle)		-	64	22		
5% Bodenaushub	100	5	41	39	39	62
10% Bodenaushub	100	10	45	33	41	64
15% Bodenaushub	66	10	36	39	47	71

Wassergehalt:

Der Wassergehalt der Komposte lag zu Versuchsbeginn im Mittel bei 58,7 % bei der Kontrollvariante und zwischen 55,3 % bei der Variante mit 15 % Bodenaushub und 58,3 % bei der Variante mit 5 % Bodenaushub (Tabelle 18 und Abbildung 13). In der Hauptrottezeit sank der Wassergehalt bis 21.06.2023 um 13,3 % in der Kontrollvariante und um 15,0 bis 16,5 % in den Varianten mit Bodenaushub. Der niedrigere Wassergehalt, der als Gewichtsprozent angegeben wird, ist zum Teil darin begründet, dass das Gewicht des Kompostes durch den Erdzusatz höher war als jener der Kontrollvariante. Die Ergebnisse weisen aber trotzdem darauf hin, dass nicht mehr Wasser in den Varianten mit Bodenaushubmaterial gespeichert werden konnte als in der Kontrollvariante. Die Bestimmung der Wasserkapazität der 5 und 11 Wochen gerotteten Kompostproben (Probenahme: 04.06.2023 und 20.07.2023) zeigte ein ähnliches Ergebnis. Wie erwartet, nahm die Wasserkapazität im Laufe der Rotte durch Mineralisierung der organischen Substanz ab.

Lehmige Erde kann sehr gut Wasser speichern und bei Bedarf abgeben, wodurch die Regulierung der Feuchtigkeit in der Kompostmiete verbessert werden sollte. Auch in der Literatur konnte gezeigt werden, dass die Wasserkapazität von Komposten bei Zugabe von lehmiger Erde zunimmt (Käferböck, 2016). Die Ergebnisse dieser Untersuchung konnten dies nicht belegen.

Tabelle 18. Wassergehalt [%] der Komposte im Rotteverlauf der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) zu unterschiedlichen Probenahmeterminen. (BFA: Bestimmung durch Bio Forschung Austria; MA48: Bestimmung durch MA48)

Wassergehalt									
Probenahme- datum	0 % Bodenaushub		5 % Bodenaushub		10 % Bodenaushub		15 % Bodenaushub		Probenahme- datum
MA48	MA48	BFA	MA48	BFA	MA48	BFA	MA48	BFA	BFA
[%]									
04.05.2023	60,1	57,2	59,4	57,1	56,4	56,5	56,3	54,3	04.05.2023
11.05.2023	56,4		52,0		49,4		48,6		
23.05.2023	51,0	53,3	44,1	50,7	44,3	49,0	44,2	47,8	24.05.2023
01.06.2023	48,2		47,4		41,3		43,1		
06.06.2023	45,4	49,6	40,7	45,6	38,3	42,7	38,7	44,8	07.06.2023
15.06.2023	45,2		42,4		38,2		48,7		
22.06.2023	45,9	45,4	42,8	42,3	41,4	40,1	40,4	40,2	21.06.2023
29.06.2023	41,6		37,9		36,7		36,6		
06.07.2023	41,1		36,5		35,5		36,2		
13.07.2023	36,6		33,3		33,1		33,1		
20.07.2023	34,2	36,0	29,3	32,9	27,9	32,1	28,5	31,0	20.07.2023
27.07.2023	31,7		34,2		32,3		33,3		

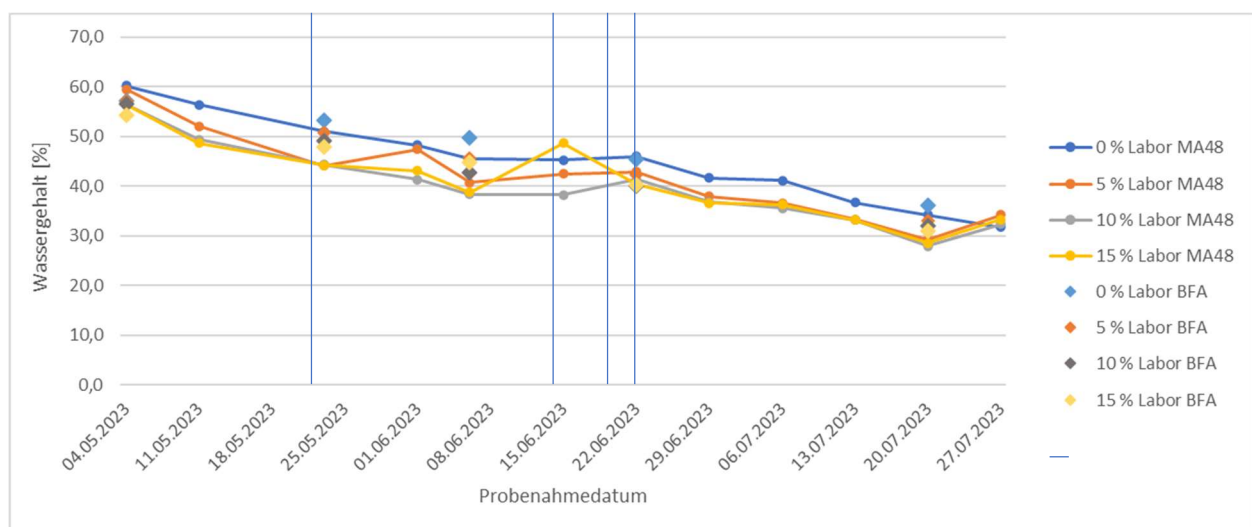


Abbildung 13. Wassergehalt [%] der Komposte im Rotteverlauf der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) zu unterschiedlichen Probenahmeterminen. (BFA: Bestimmung durch Bio Forschung Austria; MA48: Bestimmung durch MA48)

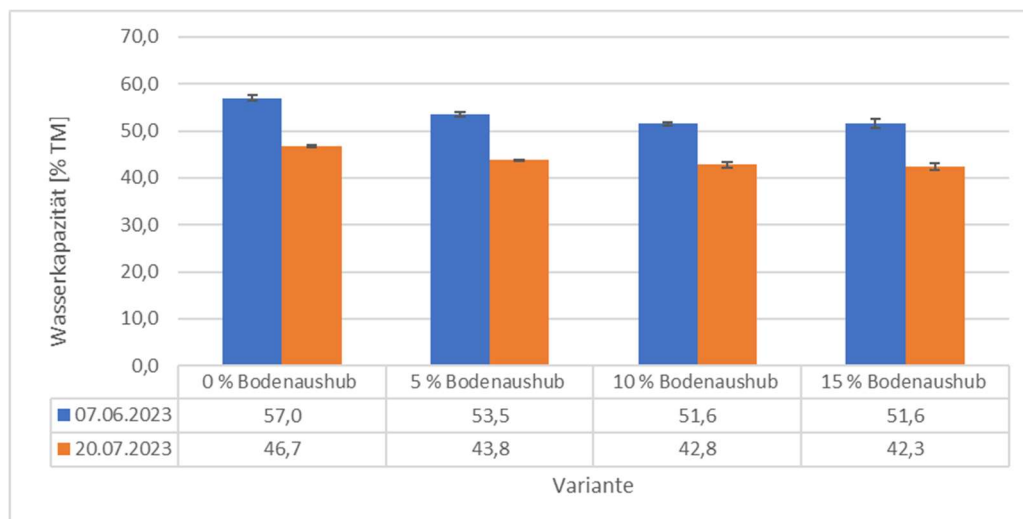


Abbildung 14. Wasserkapazität [% TM] der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) von je 3 Wiederholungen bei der Probenahme am 07.06.2023 (5 Wochen Rottezeit) und am 20.07.2023 (11 Wochen Rottezeit).

pH-Wert

Die Zugabe von Bodenaushub hatte auf den pH-Wert des Kompostes sowohl zu Versuchsbeginn als auch im Rotteverlauf keinen Einfluss. Der pH H₂O lag zu Versuchsbeginn im Bereich von 7,25 und 7,31 und zu Versuchsende im Bereich 8,42 und 8,51. Der pH CaCl₂ war erwartungsgemäß etwas niedriger und lag zu Versuchsende zwischen 7,55 und 7,73 (Tabelle 19).

Tabelle 19. pH H₂O und pH CaCl₂ der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) von je 3 Wiederholungen im Rotteverlauf

Probenahme- datum	0 % Bodenaushub	5 % Bodenaushub	10 % Bodenaushub	15 % Bodenaushub
pH H₂O				
04.05.2023	7,31	7,25	7,30	7,27
07.06.2023	8,34	8,30	8,46	8,62
20.07.2023	8,42	8,46	8,51	8,45
pH CaCl₂				
04.05.2023	7,22	7,11	7,16	7,17
07.06.2023	7,92	7,88	7,82	7,87
20.07.2023	7,55	7,60	7,73	7,68

Stickstoff-Dynamik

In den ersten 7 Wochen lagen in allen Varianten nur die NH₄-N Gehalte in einem messbaren Bereich (Tabelle 20). Nach 3 Wochen Rotte war der NH₄-N Gehalt in den Varianten mit Bodenaushub niedriger als in der Kontrollvariante (Abbildung 15). Nach 7 Wochen wiesen der Kompost mit 10 bzw. 15 % Bodenaushub im Mittel um 200 mg/kg TM weniger an löslichen NH₄-N als die Kontrollvariante auf. Unter rechnerischer Berücksichtigung des Verdünnungseffektes der NH₄-N Konzentration der jeweiligen Variante durch den Bodenaushub, zeigen die Varianten mit 10 % und 15 % Bodenaushub eine deutlich niedrigere NH₄-N Konzentration (Abbildung 16) als die Kontrollvariante. Im Lauf der Rotte nimmt dabei der Unterschied zur Kontrollvariante ab. Bei der Variante mit 5 % Bodenaushub ist die Differenz nicht

eindeutig. Eine gesteigerte mikrobielle Aktivität oder die Bindung des NH_4^+ Ions an die Tonminerale in den Varianten mit Bodenaushub kann eine mögliche Erklärung hierfür sein.

Zu Versuchsende am 20.07.2023 lagen erstmals die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte im messbaren Bereich. Hier wiesen die Varianten mit Bodenaushub etwas höhere Gehalte auf als die Kontrollvariante. Eine tendenziell bessere Verwertung des NH_4^+ Ions durch Mikroorganismen und Nitrifizierungsprozesse in den Varianten mit Bodenaushub kann interpretiert werden. Dennoch lag in allen Varianten das Ammonium/Nitrat-Verhältnis noch deutlich auf Seiten des $\text{NH}_4\text{-N}$.

Tabelle 20. $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ Gehalte [mg/kg TM] der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) im Rotteverlauf von jeweils 3 Wiederholungen zu 5 Beprobungsterminen.

Probenahme- datum	0 % Bodenaushub		5 % Bodenaushub		10 % Bodenaushub		15 % Bodenaushub	
	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$
	[mg/kg TM]							
04.05.2023	1026	<10	1120	<10	966	<10	607	<10
24.05.2023	1321	<10	951	<10	682	<10	680	<10
07.06.2023	746	<10	748	<10	478	<10	578	<10
21.06.2023	607	<10	603	<10	418	<10	369	<10
20.07.2023	418	10,3	391	13,7	399	13,9	335	23,6

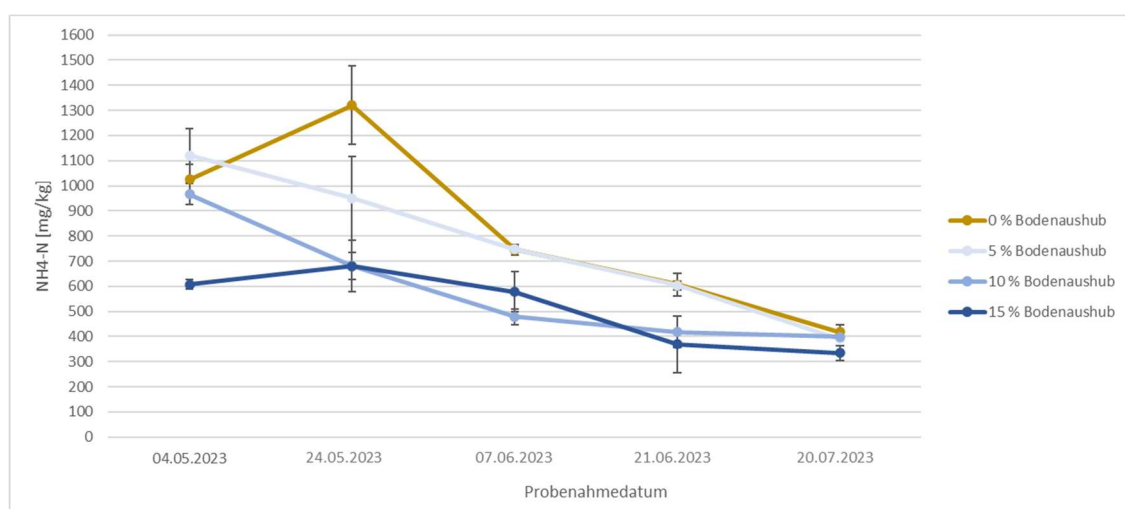


Abbildung 15. $\text{NH}_4\text{-N}$ Gehalte [mg/kg TM] der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) im Rotteverlauf von jeweils 3 Wiederholungen zu 5 Beprobungsterminen.

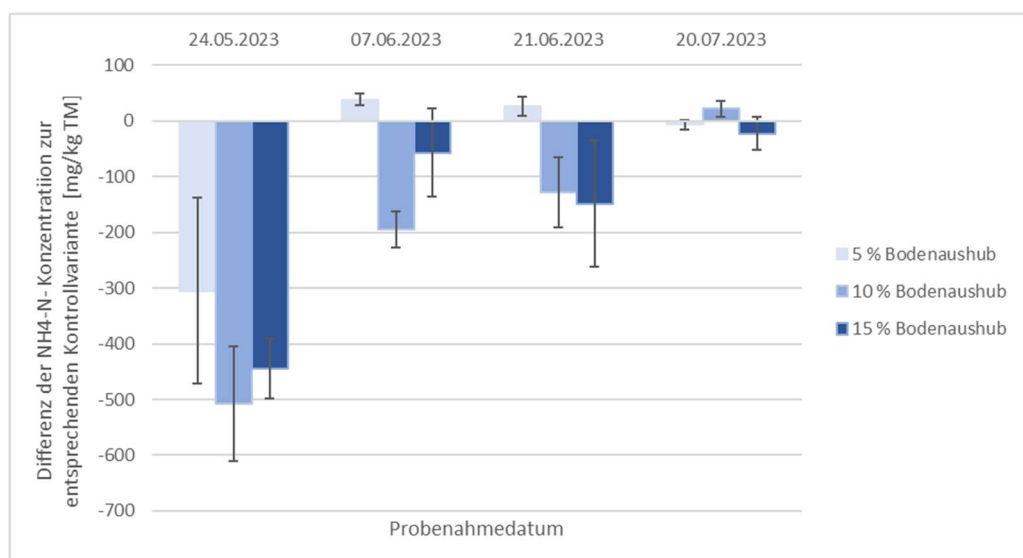


Abbildung 16. Differenz der $\text{NH}_4\text{-N}$ Konzentration [mg/kg TM] der drei Kompostvarianten mit Bodenaushub (5, 10, 15 %) zur Kontrollvariante (0 % Bodenaushub), wobei je Variante bei der Kontrollvariante der niedrigere $\text{NH}_4\text{-N}$ Gehalt des Bodenaushub berücksichtigt wurde.

Gesamtstickstoff und Gesamtkohlenstoff

Tabelle 21 zeigt den Gesamtkohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalt sowie das C/N-Verhältnis der 4 Versuchsvarianten zu Versuchsbeginn und Versuchsende. Der Gesamtkohlenstoffgehalt des Kompostes der Kontrollvariante ohne Bodenaushub betrug zu Versuchsbeginn 28,37 % und der Gesamtstickstoffgehalt 1,21 %, das C/N-Verhältnis betrug 23,4. Da der Bodenaushub einen für Boden typischen, deutlich niedrigeren Gesamtkohlenstoffgehalt von 1,47 % und einen Gesamtstickstoffgehalt von 0,06 % aufwies, zeigten die Varianten mit Bodenaushub entsprechend ihrer Zugabemenge des Bodenaushubmaterials geringere Gesamtgehalte auf. Vergleicht man die Messdaten der Kompost-Bodenaushubmischungen zu Versuchsbeginn in Tabelle 21 mit den berechneten Konzentrationen, welche sich anteilmäßig aus den Gehalten des Kompostausgangsmaterials und dem Bodenaushub aus Tabelle 14 ergeben, miteinander, erhält man nur eine geringfügige Abweichung. Dies zeigt eine sehr gute Durchmischung des Kompostes mit dem Bodenaushubmaterial.

Nach einer Rottezeit von 11 Wochen wiesen die Versuchsabschnitte durch Mineralisation einen um etwa 9 % niedrigeren Gesamtkohlenstoffgehalt auf. Der Gesamtstickstoffgehalt der Mietenabschnitte lag zwischen 1,46 % bei der Kontrollvariante und 1,13 % bei der Versuchsvariante mit 15 % Bodenaushubmaterial. Bei allen Varianten stellte sich im Mittel ein C/N-Verhältnis von 13,4 ein.

Tabelle 21. Gesamt-Kohlenstoff, gesamter organischer Kohlenstoff und Stickstoff [% TM] sowie das C/N-Verhältnis von jeweils 3 Wiederholungen zu Versuchsbeginn (04.05.2023) und -ende (20.07.2023).

	04.05.2023				20.07.2023			
	Cges [%TM]	Corg [%TM]	Nges [%TM]	C/N Verhältnis	Cges [%TM]	Corg [%TM]	Nges [%TM]	C/N Verhältnis
0 % Bodenaushub	28,37	27,30	1,21	23,4	19,43	17,86	1,46	13,3
5 % Bodenaushub	26,40	25,30	1,16	22,8	17,31	15,61	1,31	13,2
10 % Bodenaushub	25,22	24,19	1,10	22,9	16,04	14,45	1,20	13,4
15 % Bodenaushub	24,06	22,85	1,06	22,7	15,66	14,07	1,13	13,8

Bestimmung des mineral-associated-organic matter (MAOM)

MAOM (mineral-associated-organic matter) wird in der Literatur als organisches Material definiert, welches mit der mineralischen Bodenmatrix durch chemische Bindung oder durch physikalische Einschlüsse verbunden ist (Ramirez et al., 2020). Calcium- oder Aluminium-Kationen fungieren dabei als Brückenbildner und damit die mikrobiellen Abbauprodukte in den Ton-Humus-Komplexen stabilisiert werden können, müssen organisches Material und mineralische Bodenmatrix in direkten Kontakt zueinanderstehen (Cotrufo et al., 2015 und Egenolf, 2022). Der organische Kohlenstoff, der an den Oberflächen der Tonmineralien gebunden ist, ist vor schneller Zersetzung geschützt und gilt als besonders stabil. Bestimmt wurde MAOM in dieser Untersuchung wie in Cambardella und Elliott (1992) und Ramirez et al. (2020) als organischer Kohlenstoff in der Korngrößenfraktion < 63 µm.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass sich der Mengenanteil der Korngrößenfraktion < 63 µm mit zunehmender Rottezeit erhöhte und größer ist, je mehr Bodenaushub zugefügt wurde (Tabelle 22). Auch der Gehalt an organischen Kohlenstoff war nach 5 Wochen Rotte in den Varianten in denen Bodenaushub zugefügt wurde, höher als in der Kontrollvariante. Nach 11 Wochen Rotte lag das MAOM (< 63 µm) hingegen mit Werten zwischen 4,40 % bei der Variante mit 15 % Bodenaushub und 4,79 % in der Kontrollvariante in einem ähnlichen Bereich. Betrachtet man das MAOM (< 63 µm) jedoch in Bezug auf den Gehalt des gesamten organischen Kohlenstoffs, so nimmt der Anteil von MAOM, also der organische Kohlenstoff, der an die mineralische Matrix gebunden ist, mit der Zugabe von Bodenaushub zu. Bei einer Zugabe von 5 % Bodenaushub erhöhte sich der Anteil an MAOM um 1,5 % des gesamten organischen Kohlenstoffs. Bei den Varianten 10 und 15 % Bodenaushub erhöhte sich der Anteil um 4 % des organischen Kohlenstoffs im Vergleich zur Kontrollvariante.

Tabelle 22. Mengenanteil der Fraktion <63 µm an der Gesamtkompostprobe (<10 mm) sowie der Gehalt an organischen Kohlenstoff [%] in der Fraktion <63 µm (MAOM) nach 5 Wochen (07.06.2023) und 11 Wochen (20.07.2023) Rotte von jeweils 3 Wiederholungen.

Variante	07.06.2023		20.07.2023		
	Anteil der Fraktion <63µm von der Gesamtprobe		Anteil der Fraktion <63µm von der Gesamtprobe		Anteil C _{org} der Fraktion <63µm (MAOM) von C _{org} der Gesamtprobe
	C _{org} der Fraktion <63µm (MAOM)		C _{org} der Fraktion <63µm (MAOM)		
	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[% TM]	[%]
0 % Bodenaushub	5,8	0,98	29,7	4,79	26,83
5 % Bodenaushub	12,9	1,86	31,4	4,42	28,34
10 % Bodenaushub	15,5	1,93	35,8	4,52	31,26
15 % Bodenaushub	18,2	2,13	37,1	4,40	31,24

Verfügbare Nährstoffgehalte

Vergleicht man, wie beim Gesamtkohlenstoff und Stickstoff, die Messdaten der Kompost-Bodenaushubmischungen zu Versuchsbeginn in Tabelle 23 mit den berechneten Konzentrationen, welche sich anteilmäßig aus den Gehalten des Kompostausgangsmaterials und dem Bodenaushub aus Tabelle 14 ergeben, miteinander, weisen auch die verfügbaren Gehalte von K, P, Li und S im CAL-Extrakt auf eine gute Durchmischung des Kompostes mit dem Bodenaushub hin. Aufgrund der niedrigeren Konzentration von K und P im Bodenaushubmaterial, wurden die Gehalte in den Varianten bei denen

Bodenaushub zugefügt wurde, verdünnt (Tabelle 23). Dieser Verdünnungseffekt ist ebenfalls zu Versuchsende noch zu erkennen. Magnesium, welches im reinen Bodenaushub in deutlich höheren Mengen im CAL verfügbar ist, wird durch den Kompost so gebunden, so dass er nicht in höheren Konzentrationen gemessen werden konnte. Weiters wurde im Rotteverlauf durch den Bodenaushub die Mobilität von K und P gesenkt und von Li und S erhöht.

Tabelle 23. Verfügbare Nährstoffgehalte [mg/kg TM] im CAL-Extrakt der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) von je 3 Wiederholungen zu Versuchsbeginn (04.05.2023) und -ende (20.07.2023).

Probenahme- datum	Variante	Ba	K	Li	Mg	Na	P	S	Sr
[mg/kg TM]									
04.05.2023	0 % Bodenaushub	33,7	8335	0,384	1937	663	745	348	39,4
	5 % Bodenaushub	31,2	7938	0,351	1779	540	747	326	40,0
	10 % Bodenaushub	34,9	7608	0,415	1880	540	690	369	47,0
	15 % Bodenaushub	30,7	6922	0,401	1845	531	643	333	48,6
20.07.2023	0 % Bodenaushub	36,9	8840	0,342	2244	686	1318	342	64,5
	5 % Bodenaushub	36,3	8232	0,399	2088	593	1247	384	65,6
	10 % Bodenaushub	38,7	7435	0,478	2135	550	1140	453	66,7
	15 % Bodenaushub	35,6	6915	0,481	2112	554	1036	445	64,7

„Gesamtgehalte“ im Königswasserauszug

Die „Gesamtgehalte“ im Königswasserauszug der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) zeigen, entsprechend dem geotechnischen Gutachten erwartet und gemäß der Analyse des reinen Bodenaushubmaterials ebenfalls bestätigt (Tabelle 15), dass es zu keiner Schwermetall- Kontamination des Kompostes durch das Bodenaushubmaterial kam (Tabelle 24). Zu Versuchsende lagen die Schwermetallgehalte (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) aller 4 Varianten unterhalb der Grenzwerte nach der österreichischen Kompostverordnung für Qualitätsklasse A+. Bei den Hauptnährstoffen wurden durch den Zusatz von Bodenaushub der Gesamtgehalt von Mg erhöht. Die Konzentration von Ca, K und P wurde geringer. Die Gehalte der Spurenelemente Fe, Mn, Co und Ni wurden durch den Zusatz angereichert, die Gehalte von Cu und Mo blieben gleich, während Zn leicht abgereichert wurde.

Tabelle 24. Gesamtnährstoffgehalte [mg/kg TM] im Königswasserauszug der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) von je 3 Wiederholungen zu Versuchs-beginn (04.05.2023) und -ende (20.07.2023).

Probenahme- datum	Variante	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K
							[mg/kg TM]					
04.05.2023	0 % Bodenaushub	7077	3,08	97,2	0,345	46091	0,034	3,55	15,6	34,27	9121	13133
	5 % Bodenaushub	7768	3,37	107,2	0,383	53251	0,048	3,66	18,3	34,97	9719	12471
	10 % Bodenaushub	8896	3,84	115,7	0,424	52348	0,058	4,34	18,8	34,41	11584	11280
	15 % Bodenaushub	8899	4,77	108,7	0,435	53888	0,061	4,54	19,2	33,67	12148	10717
Probenahme- datum	Variante	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn
							[mg/kg TM]					
04.05.2023	0 % Bodenaushub	12,66	10311	300	0,439	798	11,65	1986	16,3	76,7	14,11	113,3
	5 % Bodenaushub	13,55	11740	320	0,490	668	12,92	2036	16,3	76,2	15,08	116,4
	10 % Bodenaushub	15,59	11202	346	0,482	668	14,12	2062	15,9	76,5	16,28	107,7
	15 % Bodenaushub	17,19	12035	337	0,391	660	15,02	1971	15,9	74,0	16,67	102,4
Probenahme- datum	Variante	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K
							[mg/kg TM]					
20.07.2023	0 % Bodenaushub	10116	4,24	131,1	0,496	61742	0,288	5,01	22,1	46,07	13886	15037
	5 % Bodenaushub	10249	4,56	139,1	0,523	62860	0,265	5,38	23,6	42,83	14694	14296
	10 % Bodenaushub	11610	7,20	139,8	0,581	58588	0,295	6,04	24,6	41,19	17217	13405
	15 % Bodenaushub	11347	5,46	92,7	0,577	58653	0,291	6,30	24,7	55,41	16496	12586
Probenahme- datum	Variante	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn
							[mg/kg TM]					
20.07.2023	0 % Bodenaushub	18,30	13858	470	0,756	991	19,19	2782	29,9	102,1	21,48	163,3
	5 % Bodenaushub	20,81	14923	472	0,657	844	21,21	2589	25,9	103,8	21,82	161,1
	10 % Bodenaushub	24,01	15028	525	0,628	785	24,00	2478	23,2	102,0	23,60	151,2
	15 % Bodenaushub	24,42	15397	507	0,636	806	24,57	2300	21,8	101,1	23,64	141,7

Kompoststabilität

Nach der Rottedauer von 7 und 11 Wochen (Versuchsende) wurde von den vier Varianten zur Beurteilung der Kompoststabilität die Atmungsaktivität AT4 (ÖNORM S2027-4) bestimmt. Ein unreifer Kompost weist durch die hohe Abbautätigkeit der Mikroorganismen eine hohe Atmungsaktivität auf. Mit zunehmender Reife und Stabilität nimmt diese ab. Nach 7 Wochen Rotte wies die Kontrollvariante bereits einen niedrigen Sauerstoffverbrauch von 4,08 mg O₂/g TM auf. In den Varianten mit Bodenaushub lag die Atmungsaktivität mit 2,50, 1,91 und 1,52 mg O₂/g TM noch deutlich darunter. Nach einer Rottezeit von 11 Wochen zeigten alle Varianten, mit einem Sauerstoffverbrauch von 1,52 bis 0,95 mg O₂/g TM eine sehr geringe Atmungsaktivität auf (Tabelle 25). Die höchste Atmungsaktivität wurde auch nach 11 Wochen bei der Kontrollvariante festgestellt, welche aber auch den größten Anteil an organischer Substanz aufwies.

Tabelle 25. Atmungsaktivität (AT4) [mg O₂/g TM] des Kompostes der 4 Varianten am 21.06.2023 (7 Wochen) und zu Versuchsende am 20.07.2023

Probenahme- datum	Variante	AT4
		nach Önorm S 2027-4 [mg O ₂ /gTM]
21.06.2023	0 % Bodenaushub	4,08
	5 % Bodenaushub	2,50
	10 % Bodenaushub	1,91
	15 % Bodenaushub	1,52
20.07.2023	0 % Bodenaushub	1,57
	5 % Bodenaushub	1,44
	10 % Bodenaushub	0,93
	15 % Bodenaushub	0,92

Pflanzenverträglichkeit mit Kresse

Zu Versuchsende wurde die Pflanzenverträglichkeit aller Kompostvarianten (0, 5, 10, 15 % Bodenaushub) noch zusätzlich mittels Kresstest beurteilt. Die Ergebnisse zeigten in allen Varianten sowohl beim Kompostanteil mit 15 % als auch 30 % eine hohe Pflanzenverträglichkeit (Tabelle 26, Abbildung 17). Die Keimrate lag in allen Varianten bei 100 %. Die Biomasse nahm mit zunehmender Menge an Bodenaushub geringfügig ab, lag aber in allen Varianten auf einem hohen Niveau.

Tabelle 26. Keimrate und Biomasse [%] des Kresstests der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) mit 15- und 30-prozentigem Anteil im Substrat

Variante	Kompostanteil	Keimrate	Stabw	Biomasse	Stabw
	[%]			[%]	
0 % Bodenaushub	15%	103	2,1	106	3,8
	30%	106	5,8	98	8,6
5 % Bodenaushub	15%	104	5,3	99	7,5
	30%	109	5,5	92	4,5
10 % Bodenaushub	15%	103	3,9	95	5,0
	30%	99	11,3	84	5,6
15 % Bodenaushub	15%	99	4,8	94	4,6
	30%	107	5,0	95	2,9

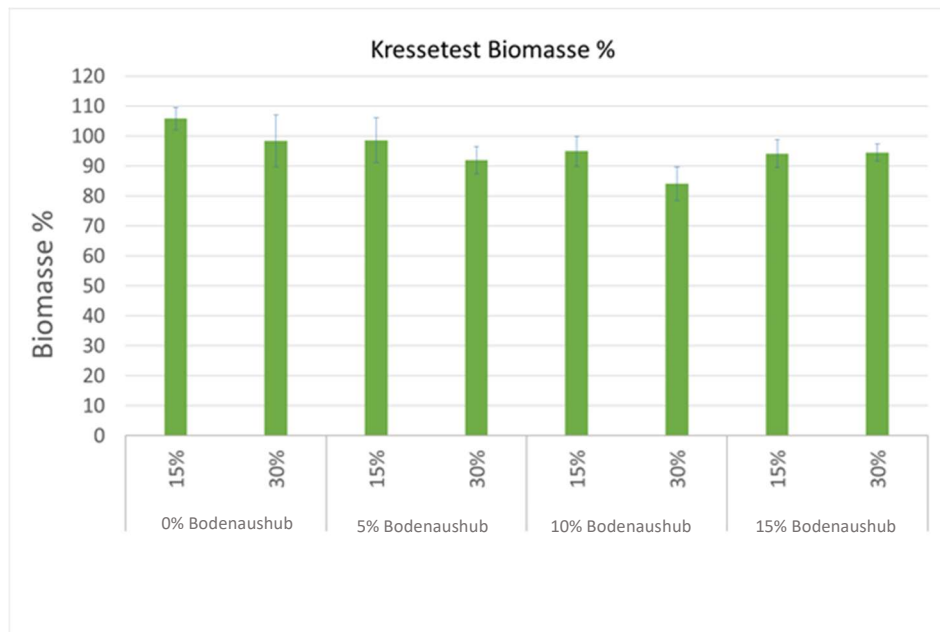


Abbildung 17. Kressetest der 4 Kompostvarianten mit unterschiedlichen Anteilen an Bodenaushub (0, 5, 10, 15 %) mit 15- und 30-prozentigem Anteil im Substrat

7.4 Diskussion und Schlussfolgerung

Das Bodenaushubmaterial, welches im Zuge des Wiener U-Bahn Baus anfällt, konnte im Praxisversuch in den zugegebenen Mengen (5, 10 und 15 Gew.%) gleichmäßig in die Kompostmiete zu Beginn der Kompostierung eingearbeitet werden. Eine gute Durchmischung des Kompostausgangsmaterials mit dem Erdmaterial konnte durch die Analysenergebnisse belegt werden. Der Masseverlust, bedingt durch den biologischen Abbau der organischen Substanz, war erwartungsgemäß niedriger, desto mehr Bodenaushub eingebracht wurde. So waren bei der Zugabe von 15 % Bodenaushub zu Versuchende um 10% mehr Kompost als bei der Zugabe von 5 % Bodenaushub vorhanden (Tabelle 17).

Die Erwartungen, dass der Erdzusatz die Rottebedingungen verbessert, da Wasser durch den Tongehalt besser gespeichert und bei Bedarf wieder abgegeben werden kann, konnte im Versuch nicht gezeigt werden. Die Wasserhaltekapazität sank mit zunehmender Menge des Bodenaushubmaterials (Abbildung 14). Ebenfalls war, trotz gleicher Behandlung, in den Varianten mit Bodenaushub im Rotteverlauf ein niedriger Wassergehalt zu beobachten als in der Kontrollvariante (Abbildung 13). Der niedrigere Wassergehalt, der als Gewichtsprozent angegeben wird, ist zum Teil darin begründet, dass das Gewicht des Kompostes durch den Erdzusatz höher war als jener der Kontrollvariante und somit mehr Wasser erforderlich wäre um den selben Wassergehalt in Gew.% zu erreichen. Die Ergebnisse weisen aber trotzdem darauf hin, dass nicht mehr Wasser in den Varianten mit Bodenaushubmaterial gespeichert werden konnte als in der Kontrollvariante. Verantwortlich wird hierfür der Tonanteil im Bodenaushubmaterial sein. Für den Versuch wurde aufgrund des Gutachtens das Material MZa mit höherem Tonanteil ausgewählt. Dieses wurde im Gutachten mit einem Tonanteil von 20-40 % beschrieben. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung des Bodenaushubmaterials, welches im Praxisversuch zum Einsatz kam, ergab einen Tonanteil von 21 % und lag somit an der unteren Grenze des angegebenen Bereiches. Dieser war, wie die Ergebnisse zeigen, für die Funktion der Wasserspeicherung und Regulierung in der Kompostmiete zu gering.

Neben der direkten Beeinflussung des Kompostierungsprozesses soll der Erdzusatz die Bildung von Ton-Humus-Komplexen bereits während des Kompostierungsprozesses ermöglichen (Gottschall, 1992 und

Dunst, 2015). Zur Beurteilung wurde im Praxisversuch einerseits der Gesamt-Kohlenstoff bzw. gesamte organische Kohlenstoff zu Versuchsbeginn und Versuchsende bestimmt aber auch versucht das mineralisch-gebundene-organische Material (MAOM) zu bestimmen. Angewendet wurde hierbei eine für Kompost angepasste Methode zur Ermittlung des MAOM aus der Bodenanalytik. Die Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs zu Versuchsbeginn und Versuchsende ergab, dass durch den mikrobiellen Abbau in allen Bodenaushubvarianten und der Kontrollvariante die gleiche Menge Kohlenstoff veratmet wurde. Die Bestimmung von MAOM zeigte, dass nach 5 Wochen Rotte der Gehalt an organischen Kohlenstoff in der Fraktion $< 63 \mu\text{m}$ in der Kontrollvariante mit 0,98 % am geringsten war und mit zunehmendem Anteil an Bodenaushubmaterial von 1,86 % auf 2,13 % zunahm. Nach 11 Wochen lag der Gehalt an organischen Kohlenstoff in der Fraktion $< 63 \mu\text{m}$ (MAOM) mit Gehalten zwischen 4,40 und 4,79 % in allen Varianten im selben Bereich, jedoch ist der Anteil zum organischen Kohlenstoff der Gesamtprobe in den Varianten mit 10 und 15 % Bodenaushub signifikant größer als in der Kontrollvariante (Tabelle 22). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass zwar in allen Varianten die gleiche Menge an organischem Material abgebaut wird, aber in den Varianten mit Bodenaushub bereits zu einem früheren Zeitpunkt mineralisch-gebundene-organische Verbindungen gebildet werden und später einen größeren Anteil zum gesamten organischen Kohlenstoff bilden. In der Literatur gilt der organische Kohlenstoff, der im Boden an den Oberflächen der Tonmineralien gebunden ist, als besonders stabil (Cotrufo et al., 2015). Um zu prüfen, ob dies beim Kompost ebenfalls zutrifft, würde es weitere Untersuchungen erfordern.

Betrachtet man bei den unterschiedlichen Varianten die Nährstoffgehalte, werden diese durch die Zugabe von Bodenaushubmaterial verändert. Die Nährstoffkonzentrationen im Bodenaushub liegen aber in einem für Böden normalen Bereich und sind vom Ausgangsgestein abhängig. Da es sich beim Aushubmaterial nicht um einen Oberboden handelt, ist der Gesamtstickstoffgehalt sehr niedrig. Durch den Erdzusatz zum Kompostausgangsmaterial wurden die Hauptnährstoffe N, P, K und Ca in den Gesamtgehalten als auch in den verfügbaren Gehalten verdünnt. Mg und die Gehalte der Spurenelemente Fe, Mn, Co, Ni sowie die Verfügbarkeit von S wurden hingegen durch den Zusatz angereichert bzw. mobilisiert. Eine Schwermetallbelastung durch das Bodenaushubmaterial liegt nicht vor.

Da es in den Varianten, bei denen Bodenaushub zugefügt wurde, größenordnungsmäßig zu keiner großen Veränderung in den Nährstoffgehalten und Verfügbarkeiten kam, kann diese als neutral gewertet werden. Veränderungen des pH-Wertes hätten ebenfalls Auswirkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit. Da der pH des Bodenaushubmaterials aber im selben Bereich wie jener des Kompostes lag, gab es keine Auswirkungen auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe.

In frühen Untersuchungen von Beckwith und Parsons (Gottschall, 1992), sowie in der Untersuchung von Chen et al. (2018) wurde eine verbesserte N-Dynamik bei der Kompostierung nach Zugabe von Tonmineralien beobachtet. In den Untersuchungen wurde festgestellt, dass durch die Tonzugabe mehr Stickstoff organisch oder an Tonminerale gebunden wird und es dadurch zu geringeren Stickstoff-Verlusten kam. In vorliegenden Praxisversuch konnte zwar beobachtet werden, dass in den Varianten mit 10 und 15 % Bodenaushub in den ersten Wochen der Kompostierung geringere $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Kompost vorlagen (Abbildung 16) und diese somit weniger vor Verlusten ausgesetzt waren, aber ein geringerer Stickstoffverlust bei den Varianten, bei denen Bodenaushub zugefügt wurde, im Vergleich zur Kontrollvariante, konnte anhand des Gesamtstickstoffgehaltes zu Versuchsende nicht festgestellt werden. Wie beim Wassergehalt, kann auch die Auswirkung des Bodenaushubmaterials auf die Stickstoffdynamik aufgrund des relativ niedrigen Ton-Anteils beeinflusst worden sein.

Die Kompoststabilität kann durch die Atmungsaktivität AT_4 beurteilt werden. Mit zunehmender Reife und Stabilität nimmt diese ab. Bereits nach 7 Wochen Rotte lag die Atmungsaktivität bei allen Varianten unter $7 \text{ mg O}_2/\text{g TM}$. Erwartungsgemäß nahm die Atmungsaktivität mit zunehmendem Anteil an Bodenaushub, aufgrund des größeren Anteils an mineralischer Substanz, ab. In der Kontrollvariante wurde nach 7

Wochen eine Atmungsaktivität von 4,08 mg O₂/g TM gemessen. Durch die Zugabe von 10 % Bodenaushubmaterial konnte diese um die Hälfte reduziert werden.

Von allen Kompostvarianten (0, 5, 10, 15 % Bodenaushub) wurde zu Versuchsende die Pflanzenverträglichkeit mittels Kresstest beurteilt. Die Ergebnisse zeigten in allen Varianten eine hohe Pflanzenverträglichkeit, wobei die Varianten mit Anteil an Bodenaushub etwas geringere Biomasseergebnisse aufwiesen als die Kontrollvariante. Der Grund hierfür ist nicht offensichtlich und kann nicht geklärt werden und scheint eher zufällig.

Die Zugabemenge (5, 10 oder 15 %) des Bodenaushubmaterials wirkt sich nicht negativ auf die Ergebnisse aus, sondern verhält sich bei den meisten Parametern proportional zur zugegebenen Menge. Bei der N-Dynamik, führte die zugegebene Menge von 5 % zu keinem eindeutigen Effekt.

Fazit

Im Praxisversuch konnte gezeigt werden, dass durch den Erdzusatz die Kompostmenge gesteigert und das Material gut in die Kompostmiete eingearbeitet werden kann. Die Ergebnisse weisen ebenfalls daraufhin, dass durch die Zugabe des Bodenaushubes früher und anteilmäßig zum gesamten organischen Kohlenstoff mehr mineralisch-gebundene-organische Verbindungen gebildet werden können. Die Atmungsaktivität wird durch den Zusatz des Bodenaushubmaterials verringert. Aufgrund seiner Nährstoffzusammensetzung und da keine Schwermetallbelastung des Bodenaushubes vorliegt, kann das Material bedenkenlos eingesetzt werden.

Aufgrund des Tonanteils von nur knapp über 20 Prozent, konnten positive Effekt auf den Wasserhaushalt der Kompostmiete oder auf die Stickstoff- Dynamik nicht gezeigt werden. Grundsätzlich kann der Zusatz von Erde bei der Kompostierung als positiv bewertet werden. Der Tongehalt sollte aber über 20 % liegen. Bei einer Zugabemenge ab 10 % sollten in allen untersuchten Parametern Auswirkungen zu erkennen sein.

7.5 Literatur

Cambardella C.A. and Elliott E.T. (1992): Particulate Soil Organic Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence; Soil Sci.Soc.Am.J. 56:777-783

Chen H., Awasthi M.K., Liu T., Zhao J., Ren X., Wang M., Duan Y., Awasthi S. K., Zhang Z. (2018): Influence of clay as additive on greenhouse gases emission and maturity evaluation during chicken manure composting. Bioresource Technology 266, 82-88.

Cotrufo, M. F., Campbell E.E., Soong J.L., Haddix M.L. (2015): Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. Nat. Geosci. 8, 776–779.

Dunst G. (2015): Kompostierung und Erdenherstellung. Verlag Sonnenerde.

Egenolf K. (2022): Die neue Humustheorie und was wir daraus für die Landwirtschaft ableiten können. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Gottschall, R. (1992): Kompostierung. 5. Aufl., Verlag C.F. Müller, Karlsruhe.

8. Arbeitspaket 8 - Recherche und Wissensaustausch zu aktuellen Themen und Forschungsfragestellungen, Erstellung von Stellungnahmen zu aktuellen Entwürfen von legislativen und technischen Normen aus dem Bereich der Bioabfallwirtschaft

Für die in diesem Arbeitspaket geplanten Themenbereiche fielen 2023 keine Aufgaben und Tätigkeiten an. Anstatt dessen wurden in anderen Arbeitspaketen die Aufgaben erweitert und berichtet.

9. Arbeitspaket 9 - Demonstrationsversuch Rautenweg mit zusätzlicher Untersuchung der Stickstoffmineralisierung von Kompost

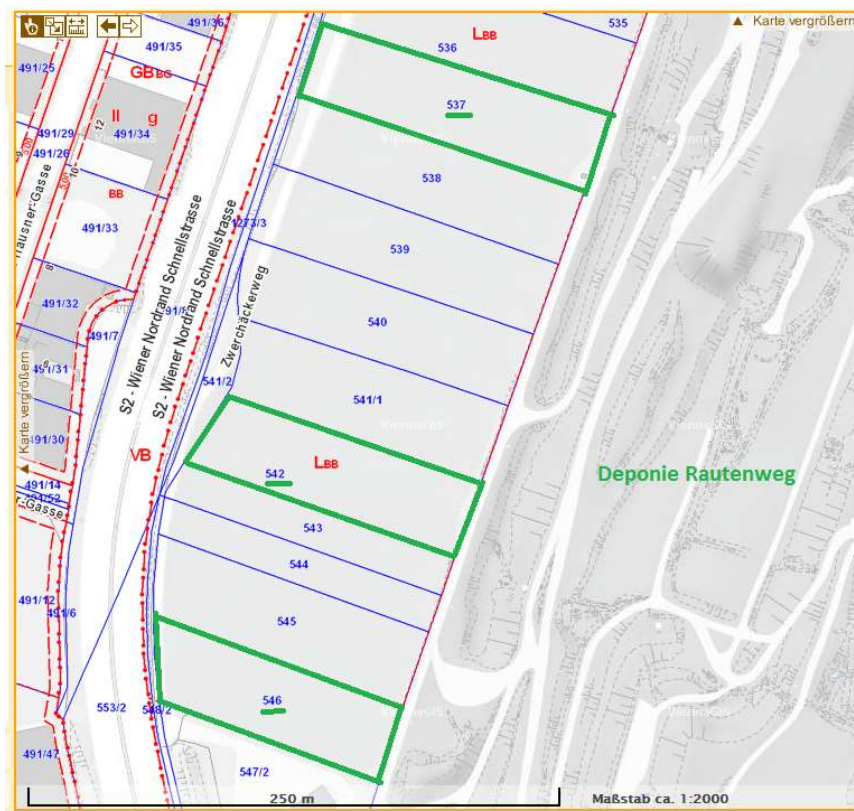
9.1 Einleitung

Beim Demonstrationsversuch Rautenweg wird seit 2014 die Wirkung von Kompost auf den Humusgehalt untersucht und in die Praxis umgesetzt. Durch die Humusanreicherung können mittelfristig große Mengen an Kohlendioxid gebunden werden. Eine Erhöhung des Humusgehaltes hat ebenfalls positiven Einfluss auf die Bodenstruktur, die Wasserspeicherung und die Nährstoffversorgung des Bodens.

Nach erneuter Aufbringung von Kompost im Herbst 2022, wird zusätzlich die Stickstoffdüngewirkung des Kompostes untersucht.

9.2 Methodik

Für die Austestung der Kompostanwendung wurden 2012 drei Flächen zwischen der Deponie Rautenweg und der S2 (Grundstücke: Gst.Nr. 537, Gst.Nr. 542 und C) ausgewählt (Abbildung 18). Jede Fläche wurde in zwei Teile (Nord und Süd) geteilt, wobei jeweils auf der Teilfläche Süd eine Kompostaufbringung in den Jahren 2012 und 2017 (Gst.Nr. 537 und Gst.Nr. 542) bzw. 2014 (Gst.Nr. 542) stattfand. Im Herbst 2022 fand erneut eine Kompostaufbringung jeweils auf der Teilfläche Süd auf allen drei Grundstücken statt.



Zur Bestimmung des N_{min} Gehaltes wurden alle Flächen im 2 Wochen Rhythmus beprobt (Tabelle 27). Die Beprobungen erfolgten mittels Pürckhauer-Bohrstock auf repräsentativen Flächen der Grundstücke, getrennt nach den Tiefenstufen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm.

Zur Bestimmung des N_{min}-Gehaltes wurde aus der frischen Bodenprobe CaCl₂-Extrakte hergestellt und der mineralische Stickstoff (N_{min} = NO₃-N + NH₄-N) photometrisch mittels CFA (Continuous Flow Analyzer, Alliance Instruments) bestimmt.

Tabelle 27. Probenahme-Termine auf allen drei Grundstücken am Rautenweg zur Bestimmung des N_{min} Gehaltes im Boden.

Probenahme-Termine 2023		
11.01.2023	05.05.2023	04.09.2023
26.01.2023	16.05.2023	18.09.2023
09.02.2023	02.06.2023	04.10.2023
23.02.2023	13.06.2023	20.10.2023
09.03.2023	03.07.2023	14.11.2023
23.03.2023	18.07.2023	29.11.2023
06.04.2023	03.08.2023	12.12.2023
20.04.2023	16.08.2023	

Zur jährlichen Bestimmung des Humusgehaltes wurden die Bodenproben des Probenahme-Termins am 09.03.2023 herangezogen. Diese wurden auf den Gehalt an Gesamt-Kohlenstoff, Gesamt-Stickstoff, Carbonat und organischem Kohlenstoff analysiert.

Die Messung von Gesamt-Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff erfolgte mittels Elementaranalyse bei 1000°C (TruSpec, LECO Corporation). Der anorganische Kohlenstoff wurde als Carbonat mittels Scheibler-Methode gemessen (ÖNORM L 1084 2006). Der Anteil des organischen Kohlenstoffs wurde als Differenz des Gesamtkohlenstoffs und des Carbonatkohlenstoffs ermittelt. Der Humusgehalt errechnete sich aus organischem C x 1,72 (ÖNORM L1080 2010).

Zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes in den verbliebenen Resten der Begrünung auf Grundstück 546 wurden am 23.02.2023 sowohl auf der Teilfläche mit und ohne Kompostdüngung jeweils 1 m² in 3 Wiederholungen die oberirdische Biomasse der Begrünungsmischung genommen.

Am 03.07.2023 erfolgte zur Bestimmung des Ertrages sowie des Stickstoffentzuges die Beprobung des Roggens. Hierfür wurden je Grundstück sowohl auf der Teilfläche mit und ohne Kompostgabe, jeweils ¼ m² Roggen in 3 Wiederholungen händisch geerntet. Der Roggen wurde in Stroh und Ähren getrennt und bei 85°C getrocknet. Die Ähren wurden anschließend gedroschen und der Ertrag bestimmt.

Am 04.09.2023 wurde auf Grundstück Nr. 546 der Kürbisertrag auf der Teilfläche mit und ohne Kompostgabe separat bestimmt. Hierfür wurde Anzahl und Gewicht der Früchte auf jeweils 6 Ernteflächen a 3 x 5 m auf jeder Feldhälfte bestimmt. Für den Stickstoffentzug wurden je Variante, 3 Kürbisse geerntet, bei 85°C getrocknet und vermahlen.

Die Begrünung, Kürbisse sowie Stroh und Korn des Roggens wurden nach dem Trocknen vermahlen und der Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalt mittels Elementaranalyse bestimmt.

Die N-Mineralisierung des Kompostes wurde wie häufig in der Literatur angeführt, wie folgt ermittelt:

$$\text{N-Mineralisierung} = \frac{\text{N-Entzug d. Ernteprodukte in Kompostvariante} - \text{N-Entzug d. Ernteprodukte in Nullvariante}}{\text{Nges-Zufuhr durch Kompost}}$$

Beim Roggen wurde hierbei der N-Entzug der gesamten oberirdischen Biomasse herangezogen. Da bei den Kürbissen nur die Früchte geerntet werden und die restliche Biomasse am Feld verbleibt, wurde nur der N-Entzug der Ernteprodukte ermittelt.

9.3 Ergebnisse

9.3.1 Biomasse

Tabelle 28 zeigt den Fruchtfolgeplan am Demonstrationsversuch Rautenweg von 2010 bis Sommer 2024.

Tabelle 28. Fruchtfolgeplan der 3 Grundstücke von 2010 bis Sommer 2024.

Jahr	Gst. Nr. 546	Gst. Nr. 542	Gst. Nr. 537
2010	Getreide	Grünbrache	Kartoffel (Violetta)
2011	Getreide	Kürbis (Hokkaido)	Grünbrache
2012	Grünbrache	Kompostausbringung im Frühjahr	
		Kartoffel (Violetta), Zuckerrübe	Kürbis (Hokkaido)
2013	Kürbis (Hokkaido)	Einkorn	Sommerwicken-Erbсен-Gemenge
2014	Kompostausbringung im Frühjahr Sommerwicken-Erbсен-Gemenge	Kürbis (Hokkaido)	Kartoffel (Violetta)
2015	Kartoffel (Violetta)	Sommerwicken-Erbсен-Gemenge	Kürbis (Hokkaido)
2016	Kürbis (Hokkaido)	Kartoffel (Violetta)	Sommerwicken-Erbсен-Hafer-Gemenge
2017	Sommerwicken-Erbсен-Hafer-Gemenge	Kürbis (Hokkaido)	Kartoffel (Violetta)
		Kompostausbringung im Herbst	
2018	Luzerne (Palava)	Luzerne (Palava)	Luzerne (Palava)
2019	Luzerne (Palava)	Luzerne (Palava)	Luzerne (Palava)
2020	Luzerne (Palava) bis Herbst Winterroggen (Amilo)	Luzerne (Palava) bis Herbst Winterroggen (Amilo)	Luzerne (Palava) bis Herbst Winterroggen (Amilo)
2021	Winterroggen (Amilo)	Winterroggen (Amilo)	Winterroggen (Amilo)
2022	Wintergerste ab Herbst abfrostende Begrünung	Wintergerste	Wintergerste
		Kompostausbringung im Herbst	
2023	Kürbis (Hokkaido, Blue Ballet, Butternuss)	Winterroggen Begrünung	Winterroggen Begrünung
2024	Winterweizen	Kürbis (Hokkaido, Blue Ballet, Butternuss)	Winterweizen



Abbildung 19. Gst. Nr. 546 am 18.07.2023 und 16.08.2023 mit dem angebauten Kürbis in 3 verschiedenen Sorten: Hokkaido (60%), Butternuss (20%) und Blue Ballett (20%).



Abbildung 20. Gst.Nr. 537 am 03.07.2023 kurz vor der Roggenernte.



Abbildung 21. Gst.Nr. 542 am 29.11.2023 mit einer Begrünung als Zwischenfrucht vor dem Kürbisanbau 2024

Auf den Grundstücken Nr. 542 und Nr. 537 wurde am 13.10.2022 ein Winterroggen angebaut und am 14.07.2023 geerntet. Bei der Roggenbeprobung zur Ermittlung des Ertrages und des Stickstoffentzuges am 03.07.2023 (Abbildung 20) konnte beobachtet werden, dass die kompostgedüngte Teilfläche (Süd) jeweils einen geringeren Unkrautbewuchs aufwies als die Kontrollvariante ohne Kompostgabe (Nord). Die Kompostdüngung führte auf beiden Grundstücken zu einem höheren Stroh- und Kornertrag des Roggens. Auf Grundstück Nr. 537 konnte auf der kompostgedüngten Teilfläche ein mittlerer Kornertrag von 7,6 t/ha und auf der Teilfläche ohne Kompost 6,0 t/ha erzielt werden. Auf Grundstück Nr. 542 konnte im Mittel ein Ertrag von 6,4 t/ha auf der kompostgedüngten Variante und 5,9 t/ha ohne Kompostdüngung erreicht werden (Tabelle 29 und Abbildung 22). Neben dem höheren Ertrag war bei beiden Grundstücken der Stickstoffgehalt in Stroh und Korn bei der kompostgedüngten Teilfläche höher als in der ungedüngten Variante.

Auf Grundstück Nr. 546 wurde im Herbst 2022 eine Begrünung mit den Komponenten Senf, Ölrettich und Phacelia angebaut. Bevor der Großteil der Biomasse verrottete, wurde diese am 23.02.2023 beprobt und der Stickstoffgehalt analysiert. Auch auf diesem Grundstück konnte die Düngewirkung des Kompostes gezeigt werden. Die Teilfläche mit Kompostdüngung (Süd) wies eine um ein Drittel höhere Trockenmasse auf als die Teilfläche ohne Kompostdüngung (Nord) (Tabelle 30). Die Pflanzen konnten auf der kompostgedüngten Teilfläche mehr Stickstoff aufnehmen und in die Biomasse einbauen. Das C/N-Verhältnis der Begrünungsbiomasse unterschied sich bei den beiden Teilflächen nicht, da es sich um dieselben Pflanzenarten handelte und zum selben Zeitpunkt angebaut und beprobt wurden. Somit war eine Freisetzung der gespeicherten Nährstoffe im selben Zeitraum zu erwarten.

Die Reste der Begrünungsbiomasse wurden am 05.05.2023 in den Boden eingearbeitet. Wetterbedingt konnte der Kürbisanbau nach der Saatbettbereitung erst am 25.05.2023 stattfinden. Angebaut wurden die Sorten Hokkaido (60 %), Butternuss (20 %) und Blue Ballett (20 %). Auf Grundstück Nr. 546 war vor allem in der Fahrspur des Traktors ein hoher Unkrautdruck gegeben, ansonsten konnte ein gutes Wachstum der Kürbispflanzen beobachtet werden (Abbildung 19). Ende August waren die Kürbisse aufgrund des späten Anbautermins noch eher klein, jedoch konnten bis zur Probenahme zur Ertrags- und Stickstoffentzugsbestimmung am 04.09.2023 gute Ergebnisse erzielt werden (Tabelle 31 und Abbildung

22). Auch beim Kürbis konnte auf der kompostgedüngten Fläche im Mittel ein höherer Ertrag von 1453 kg FM erzielt werden als auf der Teilfläche ohne Kompost mit 977 kg FM.

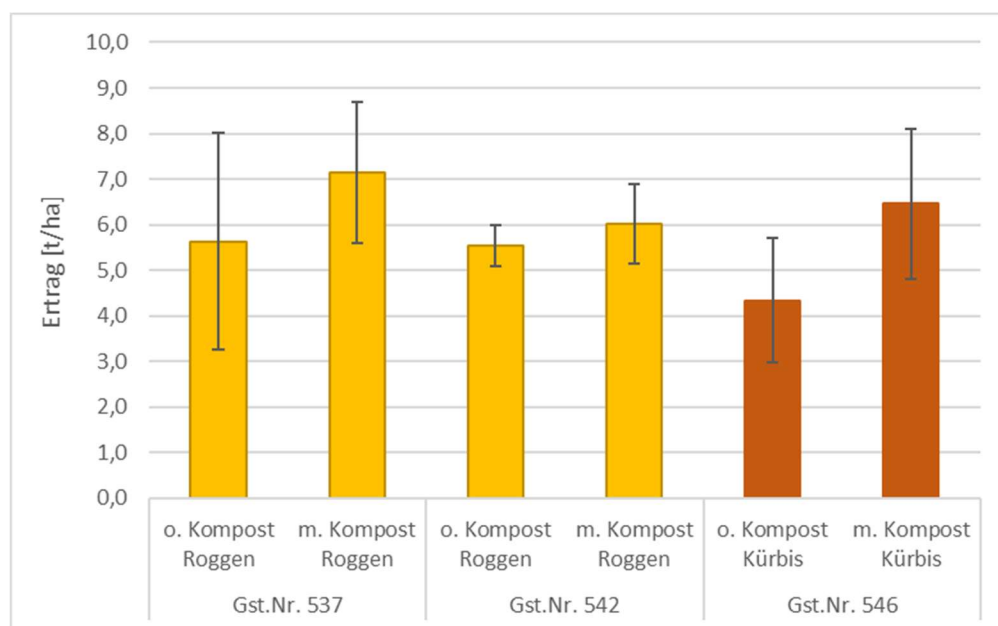


Abbildung 22. Mittelwerte und Standardabweichung des Ertrages [t/ha] von Roggen-Korn sowie Kürbis aus jeweils 3 Wiederholungen je Teilfläche mit Kompostdüngung und ohne Kompostdüngung.

Tabelle 29. Mittelwerte aus jeweils 3 Wiederholungen der gesamten oberirdischen Roggen Biomasse [t FM/ha], Anzahl der Ähren, Stroh- und Kornenertrag [t/ha], Tausendkorngewicht (TKG) [g/86%TM] sowie der N-Gehalt in Stroh und Korn [t/ha TM] der Grundstücke Nr. 537 und 542 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 03.07.2023.

Probenahme- datum	Gst.Nr	Teilfläche	Biomasse gesamt [t FM/ha]	Anzahl Ähren pro m2	Stroh [t TM/ha]	Korn [t 86%TM/ha]	TKG [g/86%TM]	N-Gehalt Stroh [kg/ha TM]	N-Gehalt Korn [kg/ha TM]
03.07.2023	537	Nord ohne Kompost	15,3	476	7,9	6,0	24,5	28	94
	537	Süd mit Kompost	21,5	595	11,3	7,6	26,0	61	113
	542	Nord ohne Kompost	15,9	473	8,5	5,9	24,4	32	84
	542	Süd mit Kompost	19,6	601	10,5	6,4	25,0	36	100

Tabelle 30. Mittelwerte aus jeweils 3 Wiederholungen der Frisch (FM)- und Trockenmasse (TM) [kg/ha] sowie der C und N Gehalt [%] in der oberirdische Begrünungsbiomasse auf Grundstück Nr. 546 auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 23.02.2023.

Probenahme- datum	Gst.Nr	Teilfläche	FM [kg/ha]	TM [%]	TM [kg/ha]	C [%]	N [%]	N [kg/ha]	C/N Verhältnis
23.02.2023	546	Nord ohne Kompost	1249	68,2	852	42,4	2,38	20	17,9
	546	Süd mit Kompost	1634	76,8	1256	44,9	2,49	31	18,0

Tabelle 31. Mittelwerte von Kürbis Ertrag, Trockenmasse, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt aus 6 Beprobungsflächen zu je 15 m² auf Grundstück Nr. 546 auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 04.09.2023

Probe- nahme- datum	Gst.Nr.	Teilfläche	Anzahl [Teilfläche]	Ertrag [kg FM/ Teilfläche]	Ertrag [kg FM/ha]	TM [%]	C [% TM]	N [% TM]	N [kgN/ha TM]
04.09.2023	546	d ohne Kom	750	977	4342	14,86	47,6	2,65	17
	546	d mit Kompo	846	1453	6458	12,93	47,7	3,79	32

Zur Vorbereitung des Grundstückes Nr. 542 für den Kürbis anbau 2024 wurde am 26.09.2023 eine Begrünungsmischung, mit den Komponenten Abessinischer Senf, Ölrettich, Sommerwicke, Rettich Phacelia, Öllein, Ramtillkraut, Alexandriner Klee, Hafer, Sudangras, Buchweizen, Leindotter angebaut. Dies ist erforderlich, um die Nährstoffe über den Winter in der Zwischenfrucht zu speichern und anschließend dem Kürbis im Folgejahr zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der Trockenheit und des späten Anbaus konnte sich die Begrünung leider nur schwach etablieren und ein lückiger Bestand mit einer geringen Biomasseentwicklung war bis Ende November 2023 zu beobachten (Abbildung 21). Auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 wurde im Herbst ein Winterweizen der Sorte Capo angebaut.

9.3.2 Boden

Auswirkung der Kompostanwendung auf den Humusgehalt

Auf das Versuchsgrundstück Nr. 546 wurde auf die südliche Teilfläche 2014 und im Herbst 2022 Kompost ausgebracht. Auf die Grundstücke 542 und 537 wurden jeweils auf die südliche Teilfläche 2012, 2017 und im Herbst 2022 Kompost aufgebracht. Bei allen drei Grundstücken konnte bei der Beprobung am 09.03.2023 auf der kompostgedüngte Teilfläche ein höherer Humusgehalt gemessen werden als auf der Teilfläche ohne Kompostaufbringung. Der Humusgehalt lag auf den kompostgedüngten Teilflächen im Oberboden (0-30 cm) zwischen 4,8 und 4,0 % und auf den Teilflächen ohne Kompost zwischen 4,0 und 3,6 %. Im Unterboden (30-60, 60-90 cm) waren die Humusgehalte naturgemäß niedriger und lagen zwischen 3,6 und 1,4 % (Tabelle 32).

Die höchsten Humusgehalte konnten heuer im Oberboden von Grundstück Nr. 546 gemessen werden. Neben der Kompostausbringung auf der Teilfläche Süd ist hierfür die gut etablierte Begrünung verantwortlich. Die im Herbst 2022 angebaute Begrünung war zum Zeitpunkt der Probenahme bereits zum Teil zersetzt und erhöhte dadurch den Humusgehalt. Dies zeigt, dass verlässliche Aussagen zu Veränderungen des Humusgehaltes nur durch Untersuchungen über einem langen Zeitraum möglich sind. Schwankungen des Humusgehaltes durch Fruchtfolge und Kulturart, welche die leicht abbaubare Fraktion stark beeinflussen, sind unvermeidbar.

Bei Betrachtung der Entwicklung der Humusgehalte von 2014 bis 2023 kann gezeigt werden, dass bei den Grundstücken Nr. 546 und 537 auf der Teilfläche mit Kompostdüngung der Humusgehalt geringfügig zunimmt, während er auf der Teilfläche ohne Kompostdüngung durch die Bewirtschaftung geringfügig abnimmt (Abbildung 23). Auf Grundstück Nr. 542 ist diese Entwicklung nicht zu erkennen. Der Humusgehalt der beiden Teilflächen befindet sich über den Zeitraum 2014 bis 2023 gesehen im selben Bereich. Es handelt sich hierbei um ein inhomogenes Grundstück, welches durch Bautätigkeiten auch immer wieder gestört wurde.

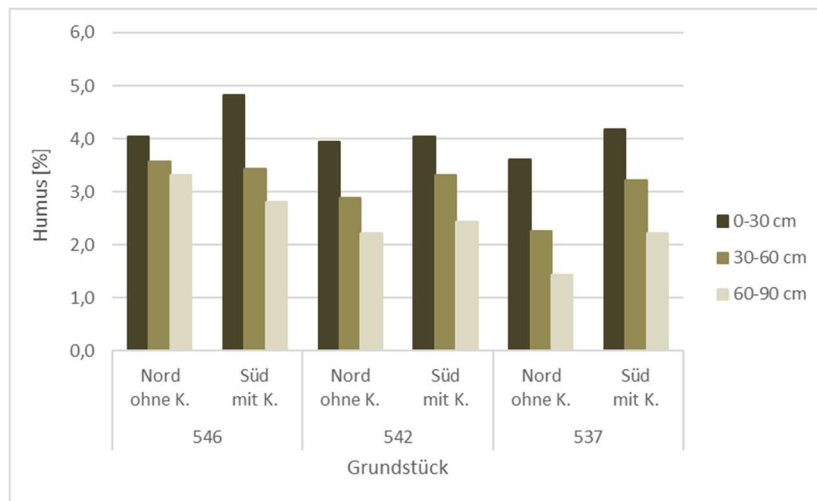


Abbildung 23. Humusgehalte [%] zur Probenahme am 09.03.2023 in unterschiedlichen Bodentiefen der drei Grundstücke des Demonstrationsversuches Rautenweg.

Tabelle 32. Gehalte an Gesamt-Kohlenstoff, Carbonat, organischer Kohlenstoff, Humus und Gesamt-Stickstoff [% TM] zur Probenahme am 09.03.2023 in unterschiedlichen Bodentiefen der drei Grundstücke des Demonstrationsversuches Rautenweg.

Gst. Nr.	Teilfläche		Bodentiefe [cm]	C gesamt [%TM]	Carbonat [%TM]	C org [%TM]	Humus [%TM]	N gesamt [%TM]
546	Nord	ohne Kompostdüngung	30	5,2	23,4	2,35	4,04	0,22
546	Nord	ohne Kompostdüngung	60	4,5	21,8	1,88	3,23	0,20
546	Nord	ohne Kompostdüngung	90	4,8	25,1	1,82	3,13	0,19
546	Süd	mit Kompostdüngung	30	5,5	22,4	2,80	4,82	0,26
546	Süd	mit Kompostdüngung	60	4,9	26,3	1,70	2,92	0,19
546	Süd	mit Kompostdüngung	90	5,3	32,1	1,44	2,48	0,13
542	Nord	ohne Kompostdüngung	30	5,5	26,5	2,29	3,94	0,21
542	Nord	ohne Kompostdüngung	60	5,6	34,8	1,42	2,44	0,13
542	Nord	ohne Kompostdüngung	90	5,8	40,5	0,95	1,64	0,06
542	Süd	mit Kompostdüngung	30	5,3	25,0	2,35	4,04	0,22
542	Süd	mit Kompostdüngung	60	5,2	29,4	1,64	2,81	0,17
542	Süd	mit Kompostdüngung	90	5,8	36,4	1,42	2,44	0,10
537	Nord	ohne Kompostdüngung	30	6,1	33,3	2,10	3,61	0,17
537	Nord	ohne Kompostdüngung	60	6,0	38,9	1,32	2,26	0,08
537	Nord	ohne Kompostdüngung	90	6,0	42,7	0,83	1,43	0,04
537	Süd	mit Kompostdüngung	30	5,8	28,4	2,43	4,18	0,21
537	Süd	mit Kompostdüngung	60	5,8	32,4	1,87	3,21	0,16
537	Süd	mit Kompostdüngung	90	6,5	43,4	1,29	2,22	0,09

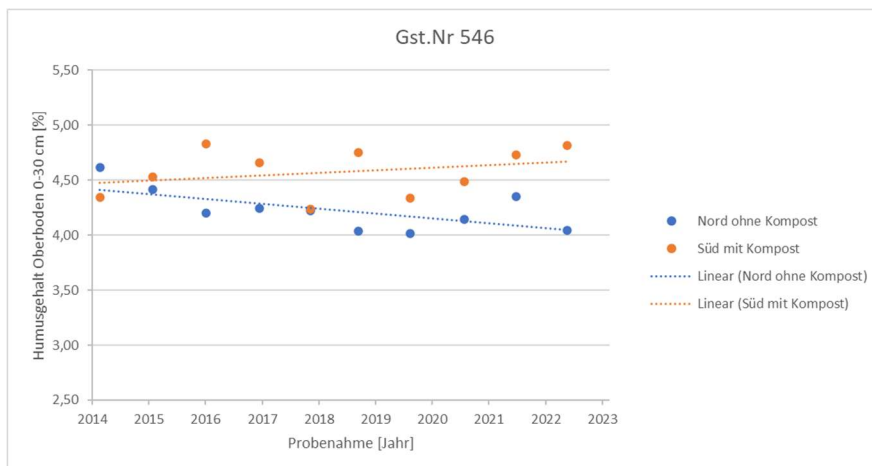


Abbildung 24. Humusgehalte der Teilflächen (ohne Kompost, mit Kompost) des Grundstückes Nr. 546 im Oberboden (0-30 cm) von 2014 bis 2023.

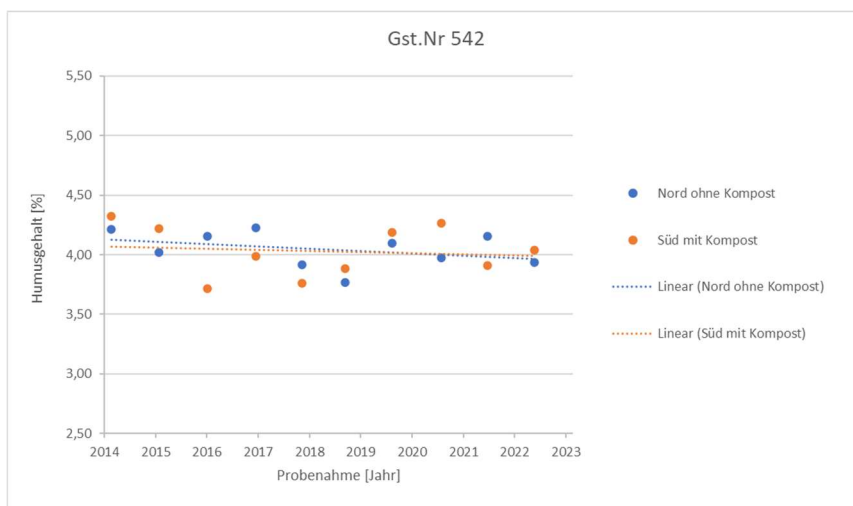


Abbildung 25. Humusgehalte der Teilflächen (ohne Kompost, mit Kompost) des Grundstückes Nr. 542 im Oberboden (0-30 cm) von 2014 bis 2023.

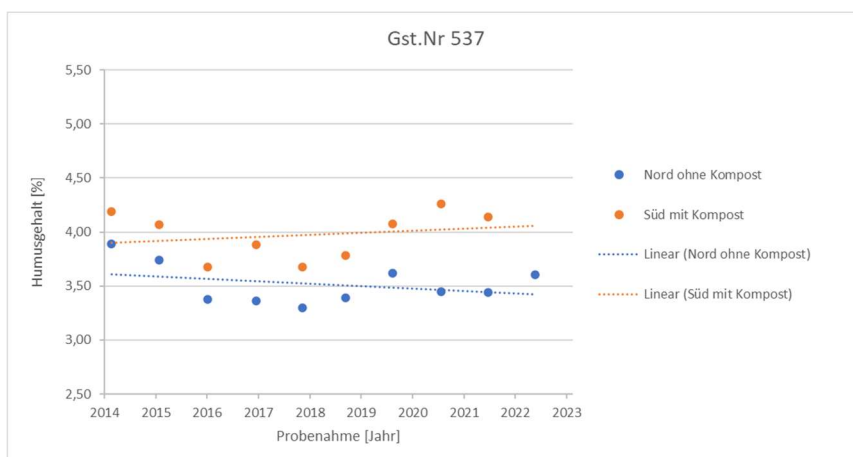


Abbildung 26. Humusgehalte der Teilflächen (ohne Kompost, mit Kompost) des Grundstückes Nr. 537 im Oberboden (0-30 cm) von 2014 bis 2023.

Der positive Effekt von Kompostdüngung auf die Wasserspeicherkapazität des Bodens konnte auf Grundstück Nr. 546 und Nr. 537 gezeigt werden. Auf dem Grundstück Nr. 546, bei dem Ende Mai der Kürbisanbau stattfand, konnte auf der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) in der Bodentiefe 0-30 cm im Mittel ein 1,1 % höherer Wassergehalt im Boden gemessen werden als auf der ungedüngten Teilfläche (Nord) (Abbildung 27). Auch in der trockensten Periode, im Zeitraum Mitte Juli bis Ende Oktober 2023, war der Boden-Wassergehalt im Oberboden auf der kompostgedüngten Teilfläche um 0,8 % höher als auf der Teilfläche ohne Kompost. Den Kulturpflanzen stand hiermit auf der kompostgedüngten Teilfläche gerade in der trockensten Periode mehr Wasser zur Verfügung. Dies ist im Hinblick auf die Klimaveränderung von besonderer Bedeutung. Auf Grundstück Nr. 537, bei dem bis Anfang Juli der Winterroggen wuchs, lag der Wassergehalt im Oberboden der kompostgedüngten Teilfläche übers gesamte Jahr im Mittel um 0,4 % über dem Boden-Wassergehalt der nicht gedüngten Teilfläche. Im Zeitraum nach der Roggenernte, Anfang Juli bis Ende Oktober, bei der das Grundstück bis zum Anbau des Winterweizens brach lag, fiel der Wassergehalt der kompostgedüngten Teilfläche im Mittel leicht unter dem Boden-Wassergehalt der nicht gedüngten Teilfläche (-0,1 %). Neben Humusaufbau ist somit auch die Bodenbedeckung durch Pflanzenbiomasse für den Bodenwassergehalt entscheidend. Der geringfügig niedrigere Wassergehalt der kompostgedüngten Teilfläche im Vergleich zur Kontrollvariante im Zeitraum ohne Pflanzenbewuchs, könnte durch humusbedingt dunklere Färbung des Bodens oder auch durch bessere Durchlüftung verursacht worden sein. Um nachzuweisen, dass das Wasserspeichervermögen des Bodens durch die Kompostanwendung größer geworden ist, wäre die Bestimmung der Wasserhaltekapazität erforderlich. Bei Grundstück Nr. 542 war der Effekt der Kompostdüngung auf den Wassergehalt des Bodens nicht zu erkennen. Über das gesamte Jahr lag im Mittel der Wassergehalt des Oberbodens der Teilfläche ohne Kompostdüngung über dem Wassergehalt der kompostgedüngten Teilfläche. Wie die Humusdaten der letzten Jahre zeigen, ist der Humusgehalt auf Grundstück Nr. 542 auf der kompostgedüngten Teilfläche im Durchschnitt nicht höher als auf der Kontrollvariante.

		Gst Nr.537		Gst Nr.542		Gst Nr.546	
		Nord ohne	Süd mit	Nord ohne	Süd mit	Nord ohne	Süd mit
Zeitraum		Kompost	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost	Kompost
MW Wasser- gehalt	20.10.2022-16.12.2023	14,4	14,8	15,6	14,8	15,8	16,9
	18.07.2023-20.10.2023	10,3	10,2	11,5	10,1	11,1	11,9

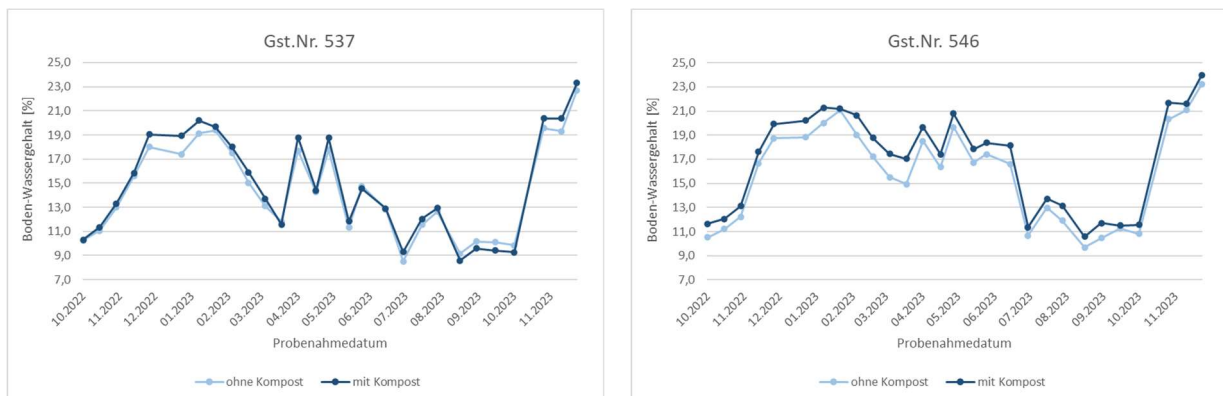


Abbildung 27. Bodenwassergehalt [%] im Oberboden (0-30 cm) auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung (dunkelblau) und ohne Kompostausbringung (hellblau) im Jahresverlauf.

Untersuchung der Stickstoffdüngewirkung des Kompostes

Der Kompost, der im Herbst 2022 jeweils auf der südlichen Teilfläche der Grundstücke aufgebracht wurde, besaß einen Gesamtstickstoffgehalt von 1,74 % und ein C/N Verhältnis von 13,8. Die Kompostreifeparameter wiesen auf noch einen instabilen Kompost hin. Durch die Kompostdüngung wurde der Gesamt-Stickstoff des Bodens um 0,017 % angereichert. Diese Anreicherung wurde teilweise auch in den Gesamtstickstoffgehalten des Oberbodens (0-30 cm) sichtbar. So war der Gesamtstickstoffgehalt bei der Beprobung am 09.03.2023 auf der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) bei allen Grundstücken höher als auf der ungedüngten Teilfläche (Nord) (Tabelle 34 und Abbildung 28). Bei Grundstück Nr. 546 und 542 ist die Erhöhung auf der Teilfläche Süd auch im Vergleich zu den Ergebnissen im Jahr 2022 sichtbar (Tabelle 34), wobei zu beachten ist, dass man im Bereich der Analysengenauigkeit und Schwankungen bedingt durch die Probenahme liegt.

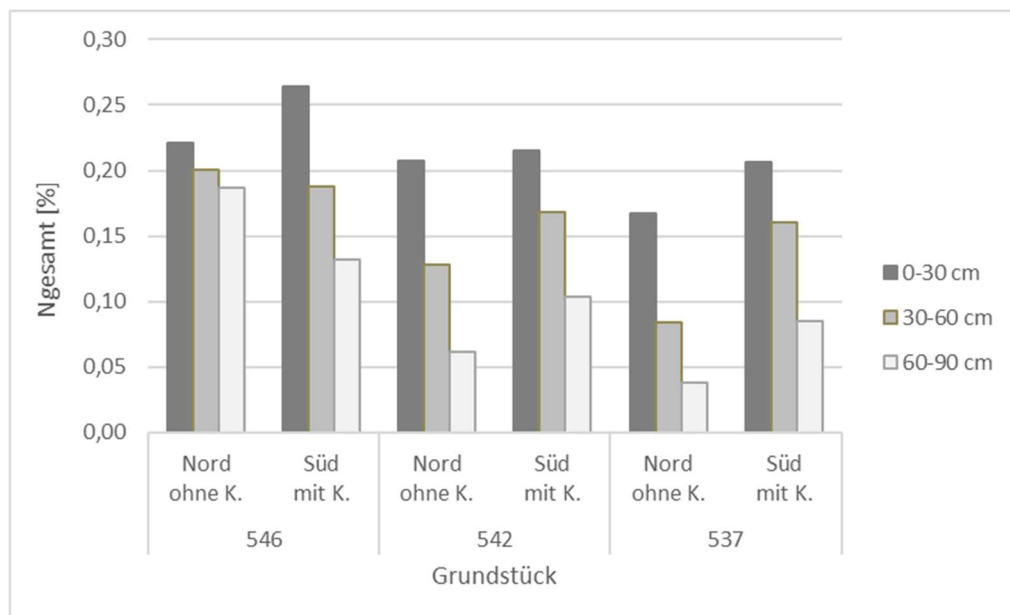


Abbildung 28. Gesamt-Stickstoffgehalt [%] zur Probenahme am 09.03.2023 in unterschiedlichen Bodentiefen der drei Grundstücke des Demonstrationsversuches Rautenweg.

Tabelle 34. Gesamt-Stickstoffgehalt [%] im Oberboden (0-30 cm) zur Probenahme am 09.03.2022 und 09.03.2023 der drei Grundstücke des Demonstrationsversuches Rautenweg.

Gst. Nr.	Teilfläche	2022	2023
		0-30 cm	0-30 cm
546	Nord ohne K.	0,23	0,22
	Süd mit K.	0,23	0,26
542	Nord ohne K.	0,20	0,21
	Süd mit K.	0,20	0,22
537	Nord ohne K.	0,17	0,17
	Süd mit K.	0,21	0,21

Die N_{\min} Analyse der Bodenproben, die zur Bestimmung der Stickstofffreisetzung aus Kompost gezogen wurden, zeigte auf allen Grundstücken beachtliche Gehalte an mineralischem Stickstoff im Boden. Die N_{\min} Gehalte auf den kompostgedüngten Teilflächen (Süd) lagen im gesamten Wurzelraum (0-90 cm) im Zeitraum von Oktober 2022 bis Dezember 2023 zwischen 19 kg/ha und 282 kg/ha. Auf den ungedüngten Teilflächen wurden im selben Zeitraum zwischen 19 kg/ha und 255 kg/ha gemessen. Fast der gesamte mineralische Stickstoff lag dabei als NO_3-N vor.

Gut zu erkennen ist, dass auf Grundstück Nr. 546 im Herbst und Winter der im Boden gelöste Stickstoff zu einem großen Teil durch die Begrünung aufgenommen wurde und so vor Auswaschung geschützt war. Die N_{\min} Gehalte lagen auf diesem Grundstück bis Ende März in der Bodentiefe 0-30 cm im Vergleich zu Grundstück Nr. 537 und Grundstück Nr. 542, wo jeweils ein Winterroggen angebaut war, im Mittel um 60 kg/ha bzw. 30 kg/ha niedriger (Abbildung 29). Betrachtet man den gesamten Wurzelraum (0-90 cm) waren auf dem Grundstück mit der Begrünungsbiomasse bis zu 100 kgN/ha weniger an mineralischem Stickstoff im Boden. Ende März wurde die Mineralisierung der Begrünungsbiomasse sichtbar und der N_{\min} Gehalt im Boden stieg bis Anfang Juli an. Der Kürbis nahm wieder große Mengen an mineralischen Stickstoff bis zur Ernte Anfang September auf. Durch Mineralisierung der am Feld verbliebenen Erntereste wurde der N_{\min} Gehalt anschließend wieder angehoben und wurde durch die Niederschläge ab November in die tieferen Bodenschichten transportiert.

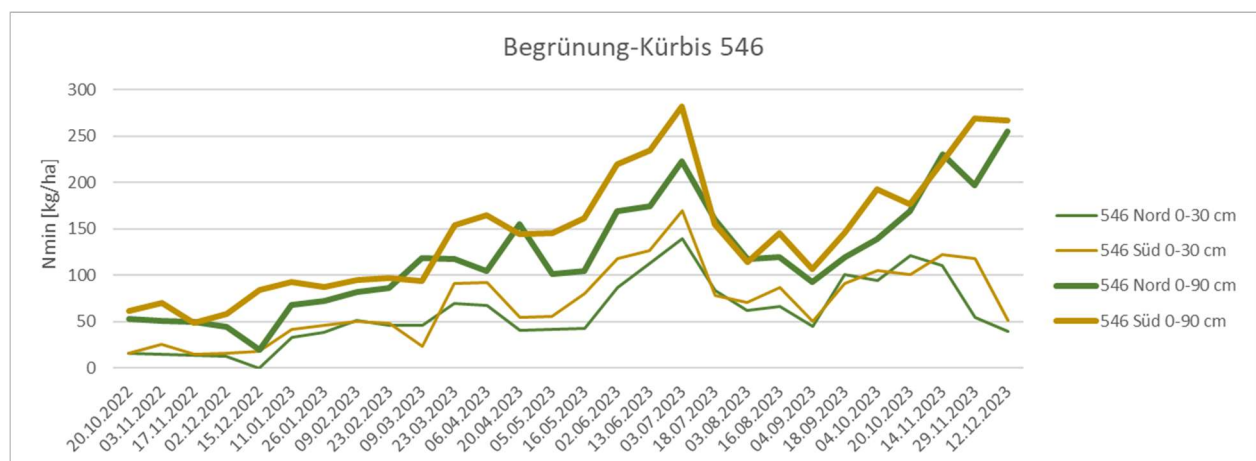


Abbildung 29. N_{\min} -Gehalt des Bodens der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) und der ungedüngten Teilfläche (Nord) in 0-30 cm und 0-90 cm Tiefe des Grundstückes Nr. 546 im Jahresverlauf.

Die jungen Winterroggenpflanzen benötigen im Bestockungsstadium, in dem sie überwintern, praktisch keinen Stickstoff. Daher sind die N_{\min} -Gehalte im Herbst 2022 und Winter 2023 auf den Grundstücken Nr. 542 und 537 deutlich höher als auf Grundstück Nr. 546, wo die Begrünung angebaut war. Dabei war

der Nmin-Gehalt auf Grundstück Nr. 542 um 50 bis 100 kg/ha niedriger als auf Grundstück Nr. 537. Erst nach Beginn des Schossens des Roggens im Frühjahr wurde mineralischer Stickstoff bis zur Ernte Mitte Juli aufgenommen und in die Biomasse eingebaut. Nach der Ernte wurde im Boden weiterhin Stickstoff mineralisiert, wodurch der mineralische Stickstoffgehalt um bis zu 100 kg/ha anstieg. Bedingt durch die schwache Entwicklung der Biomasse, der im Herbst 2023 auf Grundstück Nr. 542 angebauten Begrünung, wurden im Winter noch Nmin-Gehalte bis 100 kg/ha gemessen. Auch auf diesen Grundstücken wurde durch die Niederschläge ab November das Nitrat in die tieferen Bodenschichten verfrachtet. Der Jahresverlauf des mineralischen Stickstoffs in der Bodentiefe 0-30 und 0-90 cm durch den Roggen ist in Abbildung 30 Grundstück Nr. 542 und Abbildung 31 Grundstück 537 ersichtlich.

Betrachtet man die Stickstoffdüngewirkung des Kompostes im Zeitraum von 20.10.2022 bis 12.12.2023 im Vergleich zur ungedüngten Teilfläche ist auf den drei Grundstücken ein unterschiedliches Bild zu erkennen. Auf Grundstück Nr. 546 lag der Nmin-Gehalt im Oberboden (0-30 cm) der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) im Mittel um 11 kg/ha und maximal um 63 kg/ha höher als in der ungedüngten Kontrollvariante (Nord). Wird der gesamte Wurzelraum (0-90 cm) betrachtet, wurden in der Kompostvariante (Süd) im Mittel 25 kg/ha mehr an mineralischen Stickstoff gemessen als in der Kontrollvariante.

Auf Grundstück Nr. 542 wurden im untersuchten Zeitraum durch die Kompostaufbringung keine höheren Nmin-Gehalte auf der Teilfläche Süd gemessen. Die Kontrollvariante ohne Kompost (Nord) wies bisher im Durchschnitt um 18 kg/ha höhere Nmin-Gehalte als die kompostgedüngte Teilfläche (Süd) auf.

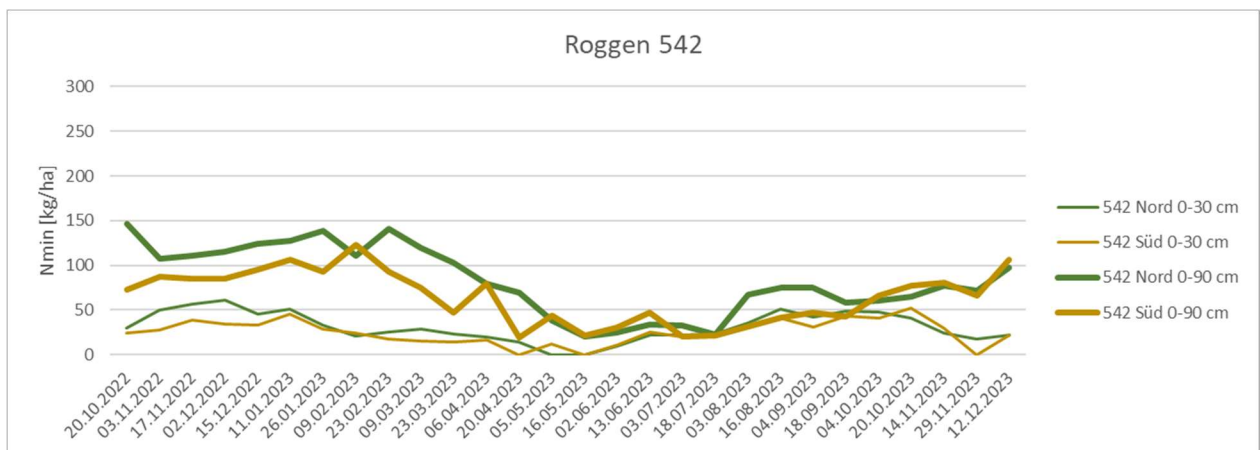


Abbildung 30. Nmin-Gehalt des Bodens der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) und der ungedüngten Teilfläche (Nord) in 0-30 cm und 0-90 cm Tiefe des Grundstückes Nr. 542 im Jahresverlauf.

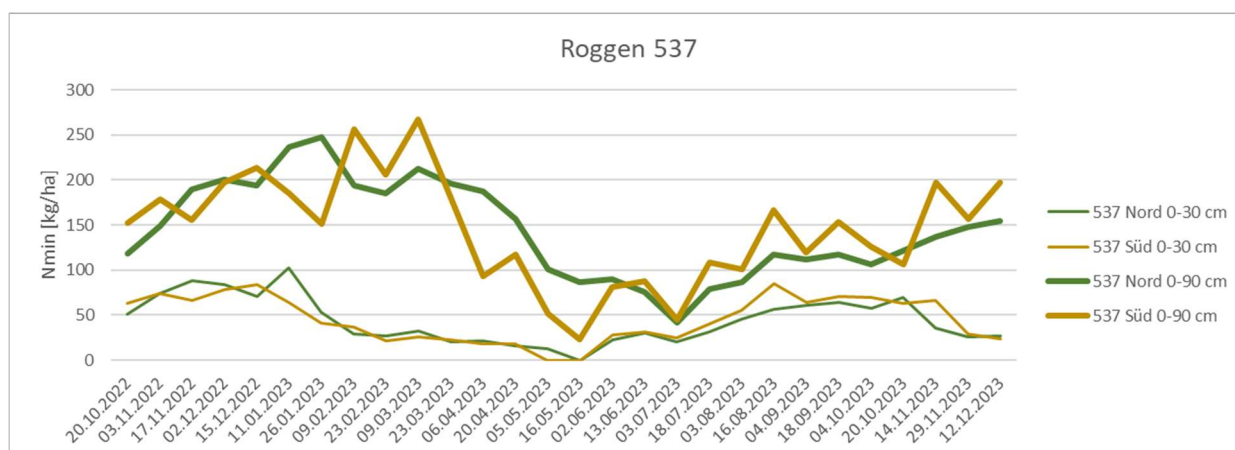


Abbildung 31. Nmin-Gehalt des Bodens der kompostgedüngten Teilfläche (Süd) und der ungedüngten Teilfläche (Nord) in 0-30 cm und 0-90 cm Tiefe des Grundstückes Nr. 537 im Jahresverlauf.

Bei Grundstück Nr. 537 lagen die Nmin-Gehalte von der kompostgedüngten Variante im Oberboden (0-30 cm) im Zeitraum 20.10.2022 bis 15.12.2022 im Mittel um 1 kg/ha und maximal um 31 kg/ha, im Gesamtwurzelraum (0-90 cm) um 1 kg/ha höher als in der ungedüngten Variante (Nord). Der geringe Anstieg des Nmin-Gehaltes im Boden nach der Kompostgabe entspricht auch früheren Befunden aus der Literaturübersicht von Amlinger et al. (2003).

Nach Berechnung der N-Mineralisierung des Kompostes durch Berücksichtigung des Stickstoff-Entzuges der Ernteprodukte (Kürbis) bzw. der gesamten oberirdischen Biomasse (Roggen und Begrünung) sowie des mittleren Nmin-Gehaltes im Boden wurden im ersten Jahr nach Ausbringung des Kompostes auf Grundstück Nr. 546 und Nr. 537 7,1 bzw. 7,7 % des Gesamtstickstoffes des Kompostes mineralisiert (Tabelle 35). Auf Grundstück Nr. 542 wurden 2,8 % des Gesamtstickstoffes des Kompostes mineralisiert und in die Roggenbiomasse eingebaut. Da der Nmin-Gehalt des Bodens auf diesem Grundstück übers gesamte Jahr in der Kontrollvariante höher war als auf der kompostgedüngten Teilfläche, wurde dieser nicht berücksichtigt.

Tabelle 35. Menge des im ersten Jahr nach Ausbringung mineralisierten Stickstoffs (in % vom Gesamtstickstoff des aufgebrauchten Kompostes).

Grundstück	N-Mineralisierung [% von Nges]
Gst. Nr. 546	7,1
Gst. Nr. 542	2,8
Gst. Nr. 537	7,7

Das Ergebnis ist mit Literaturstudien vergleichbar, die zeigen, dass im Anwendungsjahr 5-10 % des Gesamtstickstoffgehaltes im Kompost mineralisiert werden und düngewirksam sind. Ähnliche Ergebnisse lieferte beispielsweise der Feldversuch von Gale et al. (2006) in Washington und Oregon bei dem 14 Komposte in einem einjährigen Versuch mit Zuckermais getestet wurden. Auch hier wurde anhand der Feldversuch Ergebnisse bestimmt, wieviel vom Gesamtstickstoff der Komposte in Pflanzen und Nachernte-Boden-Nmin wiedergefunden wurde. Die Komposte wiesen ebenfalls eine N-Ausnutzung von 7 % auf. Im Endbericht 2021 wurde von Erhart in einer Literaturübersicht zur Stickstoffmineralisierung von

Komposten, die jährliche Stickstoffausnutzung von Komposten, getrennt nach den Versuchsjahren, ausgearbeitet. Im ersten Jahr betrug die mittlere Stickstoffausnutzung bei 29 Versuchen/Varianten 4,5 % der Gesamtstickstoffmenge des aufgetragenen Kompostes. Die Minimalwerte lagen bei -3,9 % durch Stickstoff-Immobilisierung bis hin zu Maximalwerten von 22%. Mittelwert und Median lagen im selben Bereich.

Laut den gesetzlichen Vorgaben können laut den Richtlinien der sachgerechten Anwendung von Komposten maximal 8 t Kompost TM/Jahr ausgebracht werden, wobei 5 Jahre für eine Kompostgabe zusammengelegt werden können (40 t Kompost TM/ha). Laut dem Wasserrechtsgesetz wird die Ausbringungsmenge für Stickstoff aber mit 170 kg/ha/Jahr begrenzt, wobei für die Berechnung der zulässigen Kompostausbringungsmenge der Gesamtstickstoff herangezogen wird. In dieser Untersuchung wurden im ersten Jahr der Kompostaufbringung maximal 7,7 % des Gesamtstickstoffgehaltes des Kompostes ausgenutzt. Wobei ein großer Anteil des Stickstoffs hierbei in der Biomasse gebunden wurde und als Ernte abgeführt wurde. Betrachtet man nur die durchschnittlich höheren N_{min}-Gehalte im Boden, werden maximal 3,6 % (bei Grundstück Nr. 546) des Gesamtstickstoffgehaltes des Kompostes im Boden als höhere N_{min}-Gehalte im Vergleich zur Kontrollvariante gefunden.

9.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Demonstrationsversuches am Rautenweg zeigen, dass die regelmäßigen Kompostgaben seit 2014 auf den Grundstücken Nr. 546 und Nr. 537 zu einer positiven Humusbilanz führen, während im selben Zeitraum in der Kontrollvariante eine leichte Abnahme des Humusgehaltes über die Jahre zu beobachten ist. Der höhere Humusgehalt der kompostgedüngten Teilfläche wirkt sich dabei auch positiv auf den Wassergehalt des Oberbodens (0-30 cm) und die Nährstoffversorgung der Kulturfrüchte aus. Beides ist in Bezug auf den Klimawandel sehr wichtig, da in Trockenzeiten den Pflanzen länger Wasser zur Verfügung steht und die Pflanzen durch die verbesserte Nährstoffversorgung resistenter gegen Umwelteinwirkungen sind.

Durch die Kompostgabe im Herbst 2022 wurde der Stickstoffvorrat um 0,017 % erhöht, jedoch konnte im Vergleich zur Kontrollvariante nur eine geringe Erhöhung der N_{min}-Gehalte beobachtet werden. Die Erträge konnten aber sowohl beim Roggen als auch beim Kürbis auf der kompostgedüngten Fläche gesteigert werden. Insgesamt wurden im ersten Versuchsjahr auf den Grundstücken Nr. 537 und 546 7,7 bzw. 7,1 % vom Gesamtsickstoff des Kompostes ausgenutzt. Bei Grundstück Nr.542 lag die Stickstoffausnutzung nur bei 2,8 %. Bei diesem Grundstück müssen die mit dem Kompost zugeführten Stickstoffmengen überwiegend zum Aufbau von bakterieller Biomasse und Bodenhumus genutzt worden sein. Somit konnte gezeigt werden, dass auch auf den Versuchsfeldern des Demonstrationsversuches Rautenweg der Großteil des Gesamtstickstoffgehaltes von Kompost in stabilen organischen Substanzen gebunden ist und nur ein kleiner Anteil rasch verfügbar ist.

9.5 Anhang

Tabelle 36. Wassergehalt, NH₄-N-, NO₃-N- und Nmin-Gehalt in unterschiedlichen Bodentiefen des Grundstücks 546 (Winterbegrünung und Kürbis) des Demonstrationsversuches Rautenweg nach der Kompostaufbringung im Herbst 2022.

Gst.Nr. 546									
Probenahme- datum	Boden	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
	tiefe [cm]	WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
20.10.2022	30	10,5	1	14	53	11,7	2	13	61
	60	11,7	1	18		11,0	1	19	
	90	12,0	1	17		9,5	0	26	
03.11.2022	30	11,2	1	14	51	12,0	1	24	70
	60	11,2	1	14		9,4	1	21	
	90	11,5	1	20		9,4	1	22	
17.11.2022	30	12,2	1	12	49	13,1	1	14	49
	60	11,0	1	12		11,1	1	11	
	90	11,7	1	22		9,8	1	21	
02.12.2022	30	16,7	0	13	44	17,6	1	14	59
	60	12,3	0	12		12,7	0	16	
	90	12,5	0	20		11,3	0	27	
15.12.2022	30	18,7	0	0	19	19,9	1	17	84
	60	11,5	0	0		11,6	0	22	
	90	12,3	0	19		9,1	0	44	
11.01.2023	30	18,8	5	28	68	20,2	4	37	92
	60	12,9	3	12		13,2	2	25	
	90	11,5	2	17		8,9	2	22	
26.01.2023	30	20,0	2	37	72	21,3	2	44	87
	60	15,2	0	15		15,2	0	23	
	90	11,6	0	18		9,4	0	18	
09.02.2023	30	21,1	1	50	82	21,2	2	48	95
	60	17,0	0	16		16,5	0	24	
	90	12,3	0	15		9,5	0	20	
23.02.2023	30	19,0	0	46	86	20,6	0	49	97
	60	16,6	0	20		16,6	0	24	
	90	11,9	0	20		11,2	0	24	
09.03.2023	30	17,2	0	46	118	18,8	0	23	94
	60	16,7	0	21		16,6	0	38	
	90	12,6	1	51		11,0	0	33	
23.03.2023	30	15,5	0	70	117	17,4	0	91	154
	60	16,2	0	25		16,4	2	34	
	90	13,2	0	22		11,8	0	28	
06.04.2023	30	14,9	0	67	104	17,0	0	93	164
	60	15,3	0	22		15,7	0	34	
	90	11,9	0	15		12,3	0	37	
20.04.2023	30	18,5	0	40	155	19,7	0	55	144
	60	17,4	0	46		17,5	0	48	
	90	17,1	0	70		16,4	0	42	
05.05.2023	30	16,3	0	42	101	17,4	0	56	145
	60	16,6	0	39		16,9	0	56	
	90	9,7	0	20		13,5	0	33	

Gst.Nr. 546									
Probenahme- datum	Boden tiefe [cm]	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
		WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
16.05.2023	30	19,7	0	43	104	20,8	0	81	161
	60	16,8	0	39		17,4	0	47	
	90	16,4	0	22		15,9	0	33	
02.06.2023	30	16,7	0	87	170	17,8	0	118	220
	60	16,8	0	48		17,0	0	59	
	90	17,1	0	34		17,1	0	43	
13.06.2023	30	17,4	0	113	175	18,4	0	127	235
	60	16,9	0	39		16,9	0	55	
	90	17,2	0	22		16,5	0	54	
03.07.2023	30	16,6	0	139	223	18,1	2	168	282
	60	16,3	0	50		16,8	0	62	
	90	16,8	0	34		16,5	0	51	
18.07.2023	30	10,7	0	83	161	11,4	0	79	155
	60	13,8	0	44		13,9	0	39	
	90	15,4	0	33		14,7	0	37	
03.08.2023	30	13,0	0	62	117	13,7	0	71	115
	60	12,0	0	30		12,1	0	21	
	90	14,0	0	24		11,9	0	23	
16.08.2023	30	11,9	0	67	120	13,1	0	87	146
	60	12,0	0	28		12,5	0	34	
	90	12,9	0	25		12,2	0	25	
04.09.2023	30	9,7	0	45	93	10,6	0	51	107
	60	11,4	0	26		11,6	0	32	
	90	11,8	0	22		10,5	0	24	
18.09.2023	30	10,5	0	101	120	11,7	1	90	146
	60	11,1	0	19		11,2	0	28	
	90	11,9	0	0		11,3	0	27	
04.10.2023	30	11,3	2	93	139	11,5	2	104	193
	60	11,8	0	26		11,9	1	38	
	90	12,2	0	18		11,4	0	49	
20.10.2023	30	10,8	0	121	169	11,6	0	101	176
	60	11,5	0	25		11,4	0	39	
	90	11,7	0	23		10,7	0	37	
14.11.2023	30	20,3	2	109	231	21,7	2	120	222
	60	15,9	0	96		16,1	0	80	
	90	12,1	0	25		11,2	0	20	
29.11.2023	30	21,1	6	48	197	21,6	1	116	268
	60	17,9	0	116		17,5	0	123	
	90	14,0	1	25		12,9	0	28	
12.12.2023	30	23,2	2	38	255	23,9	3	49	267
	60	19,3	1	116		18,7	0	162	
	90	17,2	0	98		15,2	2	52	

Tabelle 37. Wassergehalt, NH₄-N-, NO₃-N- und Nmin-Gehalt in unterschiedlichen Bodentiefen des Grundstücks 542 des Demonstrationsversuches Rautenweg nach der Kompostaufbringung am 04.10.2022.

Gst.Nr. 542									
Probenahme- datum	Bodentiefe [cm]	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
		WG [%]	NH₄-N [kg/ha]	NO₃-N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH₄-N [kg/ha]	NO₃-N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
20.10.2022	30	11,0	2	28	147	10,3	2	22	73
	60	10,4	0	35		10,4	0	24	
	90	8,2	0	82		8,7	1	24	
03.11.2022	30	12,1	2	48	108	11,0	2	25	88
	60	10,5	1	33		10,7	2	19	
	90	6,3	0	24		7,5	1	39	
17.11.2022	30	13,7	1	55	111	12,6	0	39	85
	60	10,9	0	29		10,7	1	18	
	90	7,9	0	26		8,5	1	27	
02.12.2022	30	16,4	1	59	115	15,7	0	34	85
	60	11,0	0	27		11,0	0	18	
	90	7,9	0	27		8,1	0	33	
15.12.2022	30	19,4	0	45	125	18,8	0	34	95
	60	13,2	0	38		11,5	0	34	
	90	9,3	0	41		8,7	0	27	
11.01.2023	30	19,0	3	48	128	18,5	3	42	106
	60	14,2	3	47		13,2	3	34	
	90	8,1	2	24		8,3	0	24	
26.01.2023	30	20,1	1	32	139	20,1	1	28	92
	60	15,3	0	67		15,1	1	39	
	90	8,9	0	39		8,4	0	24	
09.02.2023	30	20,1	2	19	111	19,9	1	23	123
	60	16,8	0	56		16,7	0	44	
	90	11,5	0	33		9,7	0	55	
23.02.2023	30	18,1	0	25	141	18,2	0	18	93
	60	16,1	0	71		16,0	0	44	
	90	10,9	0	45		10,0	0	31	
09.03.2023	30	16,1	0	29	120	15,8	2	14	74
	60	15,7	0	55		15,3	0	30	
	90	10,9	0	36		10,6	0	29	
23.03.2023	30	14,9	0	23	103	13,3	1	13	47
	60	15,6	0	50		14,3	0	0	
	90	11,0	0	30		11,2	0	33	
06.04.2023	30	13,2	0	20	79	11,7	0	16	80
	60	13,6	0	30		12,6	0	15	
	90	9,7	0	29		10,1	0	49	
20.04.2023	30	18,7	0	14	70	18,6	0	0	19
	60	17,2	0	19		15,9	0	0	
	90	12,6	0	37		10,5	0	19	
05.05.2023	30	15,6	0	0	38	14,7	0	12	44
	60	15,9	0	13		14,5	0	0	
	90	12,8	0	25		10,5	0	32	

Gst.Nr. 542									
Probenahme- datum	Bodentiefe [cm]	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
		WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
16.05.2023	30	18,7	0	0	20	18,0	0	0	21
	60	14,6	0	0		13,5	0	0	
	90	10,9	0	20		10,5	0	21	
02.06.2023	30	12,7	1	9	24	12,8	0	11	30
	60	13,9	1	0		14,4	1	0	
	90	10,4	1	12		11,3	1	17	
13.06.2023	30	16,1	0	22	33	15,1	0	26	47
	60	14,1	0	0		12,8	0	0	
	90	12,3	0	11		10,9	0	22	
03.07.2023	30	14,3	0	21	32	14,0	0	20	20
	60	11,6	0	0		11,1	0	0	
	90	8,7	0	11		9,9	0	0	
18.07.2023	30	10,7	0	23	23	9,4	0	22	22
	60	10,4	0	0		9,9	0	0	
	90	6,3	0	0		8,5	0	0	
03.08.2023	30	12,7	0	36	67	11,5	0	32	32
	60	10,9	0	11		10,0	0	0	
	90	8,0	0	21		7,4	0	0	
16.08.2023	30	14,1	0	51	74	12,4	0	41	41
	60	11,4	0	11		11,1	0	0	
	90	9,4	0	12		8,6	0	0	
04.09.2023	30	10,1	0	42	75	8,6	0	30	48
	60	10,1	0	11		10,0	0	0	
	90	6,9	0	23		8,3	0	17	
18.09.2023	30	10,9	0	48	59	9,9	1	42	43
	60	10,3	0	0		10,6	0	0	
	90	7,2	0	11		9,4	0	0	
04.10.2023	30	10,8	1	46	61	9,3	2	39	66
	60	11,0	1	11		10,2	1	11	
	90	7,7	1	0		8,4	1	12	
20.10.2023	30	11,1	0	41	65	9,8	2	51	77
	60	11,0	0	12		10,4	0	13	
	90	9,4	0	12		8,6	0	11	
14.11.2023	30	20,4	0	24	78	20,3	2	28	80
	60	16,3	0	38		14,7	0	39	
	90	10,2	0	15		9,1	0	12	
29.11.2023	30	20,0	1	16	72	20,1	0	0	66
	60	17,0	0	36		16,7	0	46	
	90	11,1	0	18		10,6	0	21	
12.12.2023	30	26,9	2	20	98	23,5	3	19	106
	60	18,4	1	42		18,3	2	53	
	90	14,9	1	31		13,1	0	30	

Tabelle 38. Wassergehalt, NH₄-N-, NO₃-N- und Nmin-Gehalt in unterschiedlichen Bodentiefen des Grundstücks 537 des Demonstrationsversuches Rautenweg nach der Kompostaufbringung am 04.10.2022.

Gst.Nr. 537									
Probenahme- datum	Bodentiefe [cm]	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
		WG [%]	NH₄-N [kg/ha]	NO₃-N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH₄-N [kg/ha]	NO₃-N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
20.10.2022	30	10,2	2	49	118	10,3	2	60	152
	60	9,2	0	43		12,0	1	50	
	90	8,1	0	24		10,9	1	37	
03.11.2022	30	11,1	1	73	149	11,4	2	72	178
	60	8,8	1	44		11,9	1	47	
	90	7,6	0	29		11,5	1	54	
17.11.2022	30	13,0	1	87	190	13,3	0	66	155
	60	10,0	1	60		12,1	0	44	
	90	8,5	1	40		11,7	1	44	
02.12.2022	30	15,6	0	84	201	15,8	2	76	197
	60	10,5	0	65		12,5	0	53	
	90	8,2	0	52		11,8	0	65	
15.12.2022	30	18,0	0	71	194	19,1	0	84	214
	60	11,4	0	78		13,0	0	84	
	90	8,1	0	44		12,1	0	46	
11.01.2023	30	17,4	0	102	237	18,9	2	63	185
	60	12,3	0	52		14,8	0	84	
	90	8,0	0	82		12,3	0	37	
26.01.2023	30	19,1	2	51	248	20,2	2	39	151
	60	13,5	0	105		16,6	0	74	
	90	8,5	0	91		12,2	0	37	
09.02.2023	30	19,4	2	27	194	19,7	3	34	257
	60	14,0	0	102		16,9	0	116	
	90	10,2	0	62		12,9	0	104	
23.02.2023	30	17,5	0	27	185	18,0	0	22	206
	60	13,8	0	100		16,6	0	111	
	90	9,5	0	58		13,5	0	73	
09.03.2023	30	15,0	1	31	212	15,9	2	24	267
	60	13,4	0	97		15,9	0	100	
	90	10,3	0	83		13,5	0	142	
23.03.2023	30	13,1	1	20	197	13,7	2	20	181
	60	12,6	0	91		15,0	0	78	
	90	9,9	1	84		14,1	0	80	
06.04.2023	30	11,8	0	21	187	11,6	0	18	93
	60	11,5	0	68		13,9	0	25	
	90	8,6	0	98		12,9	0	50	
20.04.2023	30	17,7	0	16	156	18,8	1	16	117
	60	14,7	0	48		16,7	0	13	
	90	10,3	0	91		13,8	0	86	
05.05.2023	30	14,3	0	13	101	14,4	0	0	51
	60	12,6	0	18		15,1	0	0	
	90	10,0	0	71		14,0	0	51	

Gst.Nr. 537									
Probenahme- datum	Bodentiefe [cm]	Nord (ohne Kompost)				Süd (mit Kompost)			
		WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]	WG [%]	NH ₄ -N [kg/ha]	NO ₃ -N [kg/ha]	Nmin (0-90 cm) [kg/ha]
16.05.2023	30	17,8	0	0	87	18,7	0	0	23
	60	11,8	0	15		14,7	0	0	
	90	10,2	0	72		14,3	0	23	
02.06.2023	30	11,3	0	23	90	11,8	0	28	81
	60	11,8	1	11		14,1	0	0	
	90	9,8	1	53		13,9	0	54	
13.06.2023	30	14,8	0	30	76	14,5	1	30	87
	60	11,3	1	0		13,2	0	11	
	90	9,7	1	43		13,4	0	45	
03.07.2023	30	12,8	0	20	41	12,9	0	25	45
	60	9,8	0	0		12,0	0	0	
	90	8,8	0	21		12,2	0	21	
18.07.2023	30	8,5	0	32	79	9,3	0	40	109
	60	7,3	0	12		10,2	0	23	
	90	5,8	0	35		11,2	0	46	
03.08.2023	30	11,6	0	45	86	12,0	0	56	101
	60	8,6	0	12		11,0	0	16	
	90	6,5	0	29		11,3	0	29	
16.08.2023	30	12,6	0	57	118	12,9	0	84	167
	60	9,4	0	16		12,1	0	29	
	90	6,6	0	45		12,1	1	52	
04.09.2023	30	9,1	0	61	111	8,6	0	64	120
	60	8,8	0	20		11,5	0	26	
	90	6,7	0	30		10,9	0	30	
18.09.2023	30	10,2	0	64	118	9,6	2	69	153
	60	10,2	0	18		11,6	1	28	
	90	7,9	0	35		11,5	0	53	
04.10.2023	30	10,1	2	56	107	9,4	2	68	126
	60	9,8	1	15		11,5	1	22	
	90	8,0	1	32		11,0	1	32	
20.10.2023	30	9,8	1	68	122	9,3	1	61	106
	60	9,5	0	22		11,3	0	22	
	90	6,8	0	31		11,2	0	22	
14.11.2023	30	19,6	0	36	137	20,4	1	65	197
	60	15,6	0	69		15,8	0	76	
	90	8,6	0	33		12,5	0	54	
29.11.2023	30	19,3	0	26	148	20,4	2	27	157
	60	14,4	0	75		17,3	0	82	
	90	10,2	0	47		13,3	0	45	
12.12.2023	30	22,7	2	25	154	23,3	1	22	197
	60	16,9	0	69		18,4	0	93	
	90	12,6	0	58		14,6	0	80	

9.6 Literatur

Aichberger A., Wimmer J. Und Mayr R. (2000): Auswirkung der Kompostanwendung auf ertrag und Bodeneigenschaften. 6. Alpenländisches Expertenforum. BAL

Amlinger F., Götz B., Dreher P., Geszti J., Weissteiner C. (2003): Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilisation and availability-a review. Eur.J.Soil Biol.39, 107-116

BMLF, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (2010) Richtlinie für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft

Gale E.S., Sullivan D.M., Cogger C.G., Bary A.I., Hemphill D.D. Myhre E.A. (2006): estimating plant available nitrogen release from manures, composts and speciality products. J.Environ. Qual. 35, 2321-2332