



Angewandte Forschung zur Kreislaufwirtschaft 2024 Optimierung der Kompostanwendung - Endbericht

Impressum

Herausgeber:

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

Erstellt im Rahmen des Projektes: Angewandte Forschung zur Kreislaufwirtschaft 2024- Optimierung der Kompostanwendung

März, 2025

© 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

Sören Risse MSc.

unter Mitarbeit des Bio Forschung Austria-Teams

Sämtliche Rechte, insbesonders 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 – Praktische Umsetzung des Leitfadens für die Zusammensetzung der Inputmaterialien auf Basis der C/N-Verhältnisse.....	5
1.1 Einleitung.....	5
1.2 Methodik	5
1.3 Ergebnis	6
2. Arbeitspaket 2 -Fortsetzung Optimierung des Guter Grund-Substrates.....	9
2.1 Einleitung.....	9
2.2 Material und Methoden Pflanzentests	9
2.3 Guter Grund Produktion 2024	10
2.3.1 Pflanzentests GG Produktion 2024	10
2.3.2 Schlussfolgerungen GG Produktion 2024.....	13
2.4 Guter Grund Produktion 2025	14
2.4.1 Substratkomponenten Kompost und Rindenhumus für GG25	14
2.4.2 Prüfung von Mischungen für Guter Grund 2025	16
2.4.2.1 Stickstoffverfügbarkeit in GG-Versuchsmischungen.....	17
2.4.2.2 Offizielle Probemischung für Guter Grund 2025.....	21
2.4.3 Schlussfolgerungen	23
2.5 Recherche alternativer organischer Dünger	23
3. Arbeitspaket 3: Bestimmung der Atmungsaktivität AT4 von unterschiedlichen Komposten, Prüfung der NIRS-Anwendung zur Vorhersage von AT4 und Evaluierung der Kompostreife-Modelle	30
3.1 Einleitung.....	30
3.2 Sauerstoffverbrauch - AT4 und OUR	30
3.2.1 Material und Methoden.....	30
3.2.2 Ergebnisse	31
3.2.3 Fazit	31
3.3 Prüfung der NIRS-Anwendung zur AT ₄ Bestimmung.....	35
3.3.1 AT ₄ -Modellierung	35
3.5 Schussfolgerungen	37
4. Arbeitspaket 4 – Recherche und Wissensaustausch zu aktuellen Themen und Forschungsfragestellungen	38
5. Arbeitspaket 5 - Demonstrationsversuch Rautenweg	39
5.1 Einleitung.....	39
5.2 Methodik	39
5.3 Ergebnisse	41
5.3.1 Überblick Fruchtfolge.....	41
5.3.2 Kompostausbringung	42
5.3.3 Biomasse und Erträge	43

5.3.4 Maßnahmen zur Reduzierung des Unkrautdruckes.....	48
5.3.5. Boden	49
5.4 Zusammenfassung.....	57
6. Arbeitspaket 6 - Bestimmung des mineralisch-assoziierten organischen Kohlenstoffs am Demonstrationsversuch Rautenweg.....	58
6.1 Einleitung.....	58
6.2 Methodik	58
6.3 Ergebnisse	59
6.4 Literatur.....	65

1. Arbeitspaket 1 – Praktische Umsetzung des Leitfadens für die Zusammensetzung der Inputmaterialien auf Basis der C/N-Verhältnisse

1.1 Einleitung

Im Rahmen der Untersuchungen von 2020 bis 2023 wurde ein Handbuch zu den C/N-Verhältnissen der Kompostausgangsmaterialien am Kompostwerk Lobau zur Erreichung einer optimalen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials ausgearbeitet. Hierfür wurden die Ausgangsmaterialien der beiden Inputströme „Biotonne“ und „Strukturmaterial“ im Jahresverlauf beprobt und das C/N-Verhältnis untersucht und anschließend eine praktische Handlungsanleitung erstellt.

Ziel des gegenständlichen Arbeitspakets ist die praktische Umsetzung der Handlungsanleitung und die Kontrolle des C/N-Verhältnisses des aufgesetzten Kompostausgangsmaterials durch monatliche Probenahmen. Weiters soll ein Datenaustausch zum C/N-Verhältnis der Ausgangsmaterialien im Rahmen des FFG-COMET-Projekts „Trockenvergärung“ stattfinden.

1.2 Methodik

Die Kompostmieten wurden, soweit das Ausgangsmaterial vorhanden war, durch die Mitarbeiter des Kompostwerkes laut Handbuch aufgesetzt. Einmal im Monat wurde das Ausgangsmaterial direkt nach dem Aufsetzen der Miete beprobt und das C/N-Verhältnis bestimmt. Die Probenahme erfolgte jeweils mit 65 Liter Mörtelwannen in 4 Wiederholungen.

Aus den Proben wurden im Labor Verunreinigungen wie Kunststoff, Glas, Stoff usw. entfernt und anschließend der Wassergehalt durch trocknen über mehrere Tage bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank bei 85°C bestimmt. Nach der Trocknung wurden die Proben mit dem Häcksler Tritone one (Ceccato olindo) vorzerkleinert und anschließend mittels Planetenkugelmühle für die CN-Analyse fein vermahlen. Die CN-Bestimmung erfolgte mittels Elementaranalyse durch Verbrennung unter Sauerstoffstrom bei 1.000°C (Tru spec, Leco Instruments). Zum Vergleich der im Jahr 2020 erhobenen Analysedaten des Inputstroms Biotonne wurden zusätzlich Proben, die von der BOKU einmal im Monat genommen wurden, ebenfalls wie beschrieben im Labor aufbereitet und das C/N-Verhältnis ermittelt.

Für das FFG-COMET-Projekt „Trockenvergärung“ wurde, wie beim Kick-off Meeting des Projektes vereinbart, aus vorangegangenen Untersuchungen, eine Zusammenfassung der Ergebnisse zu den C/N-Verhältnissen und Fotos zu jedem Monat im Jahr des Biotonne Materials zusammengestellt und den Verantwortlichen zur Verfügung gestellt.



Abbildung 1. Probenahme des Ausgangsmaterials direkt nach dem Aufsetzen der Miete mit Mörtelwannen in 4 Wiederholungen.

1.3 Ergebnis

Bei der Untersuchung des Ausgangsmaterials des Inputstroms „Biotonne“ wurde in diesem Jahr ein Wassergehalt zwischen 47,4 und 56,3 % und ein C/N-Verhältnis zwischen 21 und 34 ermittelt (Tabelle 1). Wie in der Untersuchung der Kompostausgangsmaterialien von 2020 können saisonale Unterschiede beobachtet werden. So weist das Biotonne Material in den Frühjahrs- und Sommermonaten ein engeres C/N-Verhältnis (21-25) als in den Wintermonaten (31-34) auf. Die Messwerte sind mit den Ergebnissen der Untersuchung im Jahr 2020 vergleichbar. Die Abweichung zwischen den Ergebnissen von 2020 und 2024 ist in den Monaten April bis August sowie November und Dezember sehr gering. Nur in den Monaten Februar und März wies das Material im Jahr 2020 ein weiteres C/N-Verhältnis auf als in diesem Jahr, während es in den Monaten September und Oktober umgekehrt war (Abbildung 2). Somit wurde durch die wiederholte Messung bestätigt, dass der Schwankungsbereich des C/N-Verhältnisses des Materials der Biotonnesammlung am Kompostwerk Lobau über das ganze Jahr gesehen zwischen 21 und 38 liegt.

Für die Mischung des Kompost-Ausgangsmaterials wird nach dem aktuellen Stand der Technik ein C/N-Verhältnis im Bereich von (20) 25 - 35 (40): 1 als Zielgröße angegeben. Ein zu enges C/N-Verhältnis könnte zu Stickstoffverlusten in Form von Ammoniak oder Lachgas führen, während ein zu weit C/N-Verhältnis den Rotteprozess durch Stickstoffmangel verzögern würde. Außerdem wird durch die Beimischung von Strukturmaterial zu strukturarmen Ausgangsmaterialien das Porenvolumen erhöht, um eine ausreichende Durchlüftung des Komposthaufens zu gewährleisten. Aufgrund dieser Vorgaben wurde im letzten Jahr gemeinsam mit der Kompostwerksleitung eine Handlungsanleitung zur Herstellung der Mischung erarbeitet und nun monatlich Testmessungen durchgeführt. Die Testmessungen erfolgen noch bis Juli 2025.

Tabelle 1. Wassergehalt und C/N-Verhältnis des Inputmaterials Biotonne (2024) im Vergleich zu Messungen im Jahr 2020.

Monat	Wassergehalt			C/N-Verhältnis			2024	
	2020			2024	2020			
	Min [n=10]	Max [n=10]	Mittelwert [n=10]		Min [n=10]	Max [n=10]	Mittelwert [n=10]	
Jänner	48,8	58,9	54,3	54,1	34	43	38	31
Februar	43,8	50,6	46,5	47,4	34	41	38	33
März	38,0	51,7	45,2	50,6	34	43	38	32
April	40,7	46,1	42,7	50,1	24	29	27	23
Mai	36,0	51,4	44,2	53,8	20	32	25	23
Juni	54,1	65,8	60,7	56,3	18	25	22	21
Juli	56,7	63,5	59,9	54,8	20	24	22	25
August	57,6	66,4	61,5	53,7	20	25	23	24
September	60,2	65,1	63,0	56,1	22	25	23	29
Oktober	41,5	59,8	54,9	53,4	24	30	27	33
November	54,1	58,4	56,4	56,3	27	33	29	31
Dezember	53,5	59,9	57,1	54,4	30	39	34	34

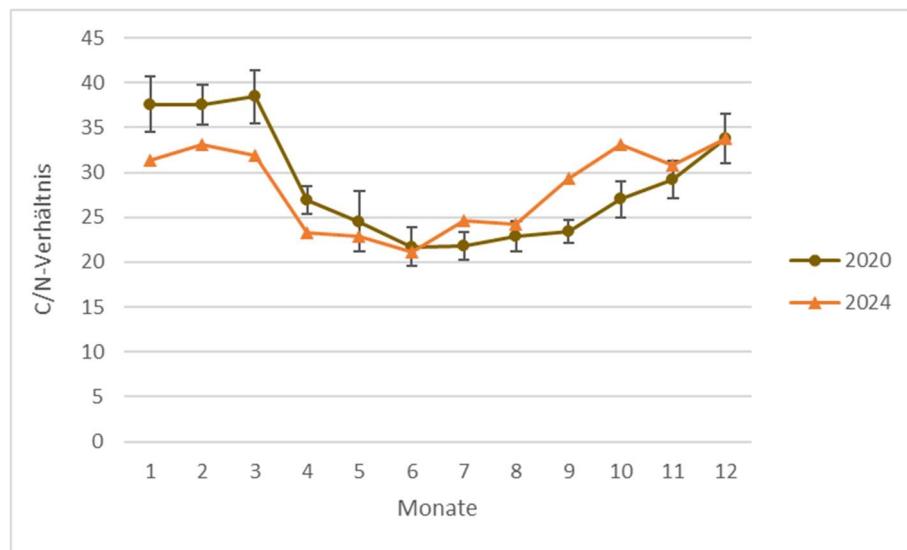


Abbildung 2. C/N-Verhältnis des Inputmaterials Biotonne (2024) im Vergleich zu Messungen im Jahr 2020.

Bei den Ausgangsmaterialmischungen (Inputstrom Biotonne und Inputstrom Restmaterial*), die direkt nach dem Aufsetzen der Miete beprobt wurden, konnten die in Tabelle 2 angeführten C/N-Verhältnisse gemessen werden.

Die C/N-Verhältnisse von August bis Oktober liegen im optimalen Bereich zwischen 25 und 35. Das C/N-Verhältnis von November bis Dezember liegt im oberen Bereich, was auf das bereits höhere C/N-Verhältnis des Biotonne-Inputmaterials in diesen beiden Monaten zurückzuführen ist. Durch die Zugabe von Strukturmaterial, das auch für die Erhaltung der luftführenden Poren wichtig ist, kam es bei den verfügbaren Inputmaterialien zu etwas weiteren C/N-Verhältnissen, die sich im Durchschnitt jedoch noch innerhalb der vorgegebenen Zielgröße von 40 befinden.

Die ersten Testmessungen zeigen somit, dass die Anforderung der Ausgangsmischung in Bezug auf das C/N-Verhältnis eingehalten werden kann. Weitere Testmessungen werden noch bis Juli 2025 durchgeführt.

Tabelle 2. Wassergehalt [%], Kohlenstoff-, Stickstoffgehalt [%] und C/N-Verhältnis des Ausgangsmaterials (Mischung Biotonne und Strukturmaterial) direkt nach dem Aufsetzen der Kompostmiete an den angegebenen Probenahmeterminen.

Monat	Probenahme-termin	WG [%]	C [%]	N [%]	C/N Verhältnis
August	29.08.2024	49,8 ± 2,9	33,5 ± 0,9	1,35 ± 0,08	25 ± 1
September	26.09.2024	50,7 ± 1,4	37,5 ± 2,0	1,09 ± 0,08	35 ± 3
Oktober	17.10.2024	56,4 ± 0,9	36,1 ± 0,6	1,28 ± 0,05	28 ± 1
November	20.11.2024	51,3 ± 1,4	39,6 ± 2,4	1,06 ± 0,07	38 ± 1
Dezember	18.12.2024	46,8 ± 3,8	38,4 ± 2,1	0,98 ± 0,08	40 ± 5
Jänner	22.01.2025	54,5 ± 4,9	40,0 ± 3,4	1,24 ± 0,17	32 ± 2

*Restmaterial: In diesem Inputstrom werden alle nicht verunreinigten organischen Materialien verarbeitet. Es handelt sich hierbei um Baum- und Strauchschnitt der Wiener Stadtgärten und Forstverwaltung, aber auch um organisches Material mit einem engen C/N-Verhältnis wie beispielsweise Rasenschnitt, Laub und Mähgut aus der Alten Donau.

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

2.1 Einleitung

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

- a) wurde die **Produktion 2024** begleitet und evaluiert
- b) wurden für die **Produktion 2025** Einzelkomponenten und Substratmischungen untersucht mit dem Schwerpunkt der Untersuchung der Stickstoffverfügbarkeit in den Mischungen.

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 gefüllt, 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, gedüngher 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 abgesiebtes 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 2024

2.3.1 Pflanzentests GG Produktion 2024

Es wurden zwei Produktionen durchgeführt, die erste Produktion erfolgte am 14. Februar, die zweite am 10. April. Die Rezeptur des Substrates enthält die Komponenten Kompost, Rinde, Holzfaser zu den Volumenanteilen von 40 – 20 – 40 % und als organischen Dünger Horngrieß zu 3 kg/m³. Die Abpackung des Substrates erfolgte zu beiden Produktionen in 18 L und 40 L Säcken. Für die Prüfung der Pflanzenverträglichkeit mit Kresse wurden pro Produktion und Volumeneinheit jeweils 5 Säcke getestet, insgesamt 20 Säcke. Der Pflanzenwachstumstest mit Chinakohl wurde bei jeweils 3 Säcken pro Produktion und Volumeneinheit, insgesamt 12 Säcke, durchgeführt. In Abbildung 3 und 4 sind die Ergebnisse der Biomasse und der Keimrate von Kresse und Chinakohl dargestellt. Fotos der Pflanzenentwicklung sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 zu sehen.

Kressetestergebnisse

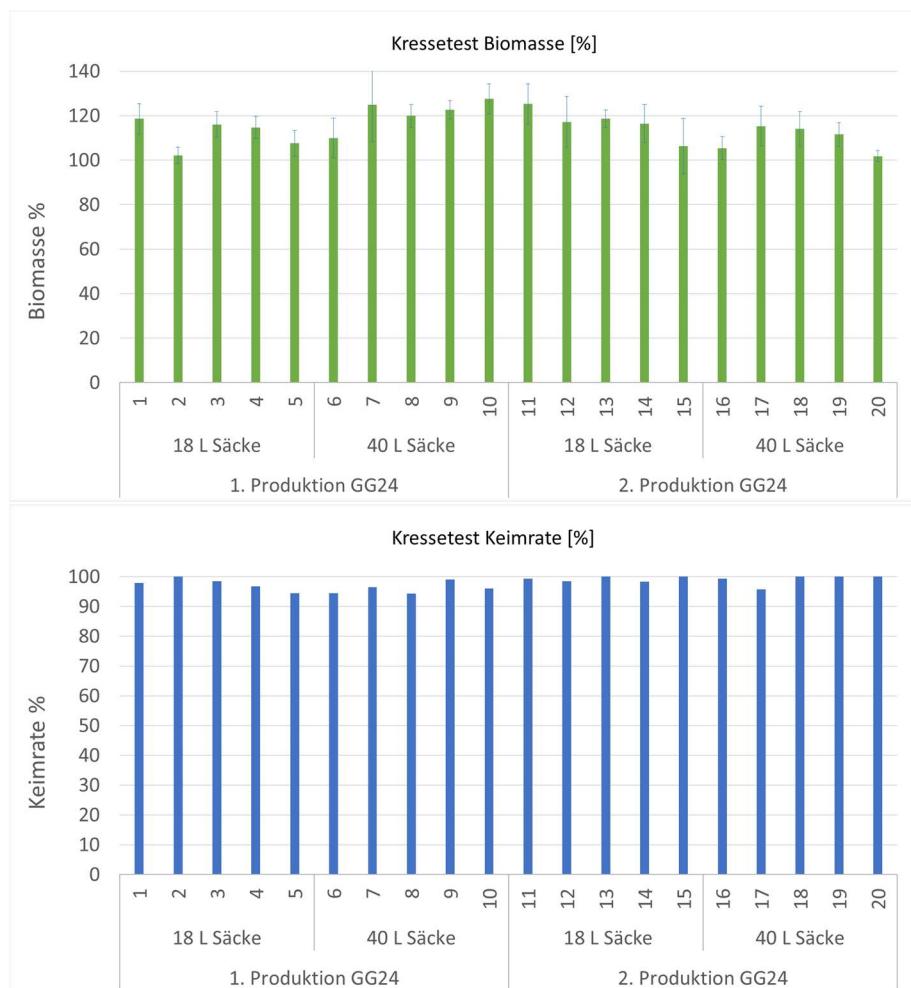


Abbildung 3. Kressetest von GG24, Ergebnisse der 1. und 2. Produktion, Biomasse [%] (Grafik oben), Keimrate [%] (Grafik unten). Testung von jeweils fünf 18 L und 40 L Säcken je Produktion, insgesamt 20 Säcke (Sacknummer 1-20).

Chinakohltestergebnisse

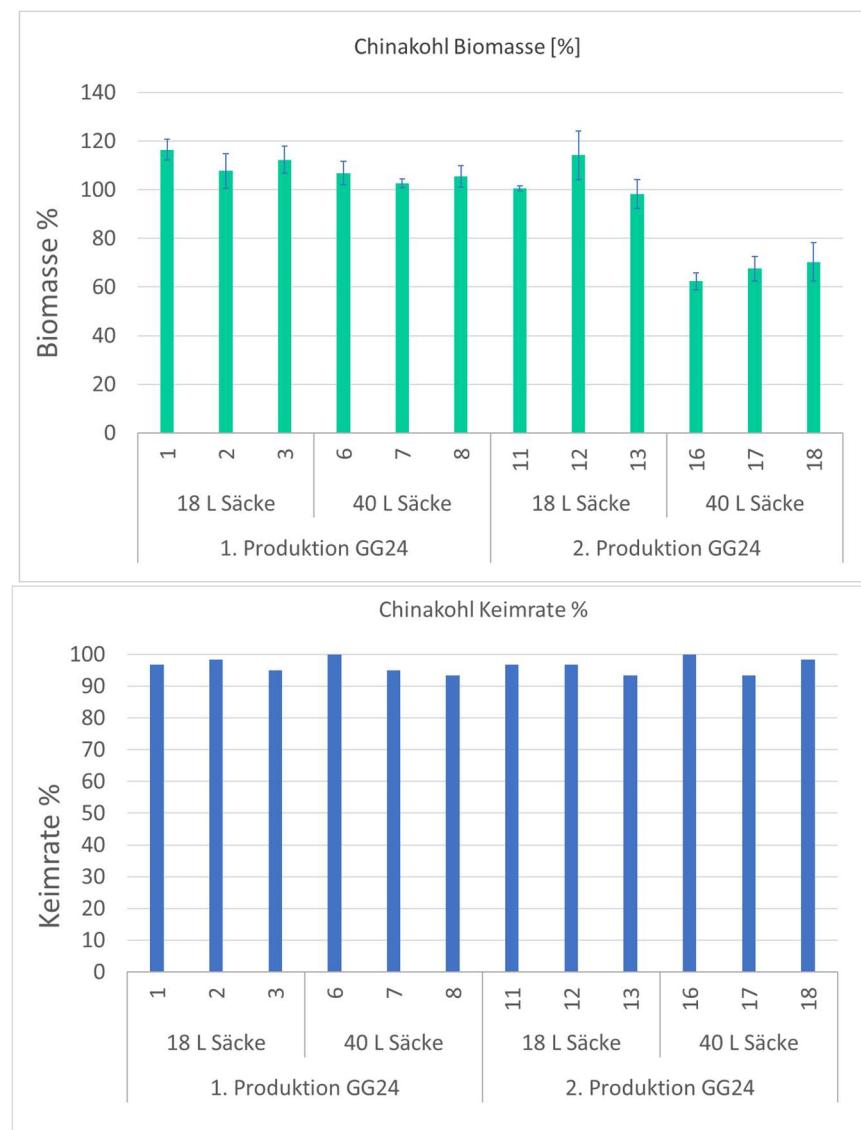


Abbildung 4. Chinakohltest von GG24, Ergebnisse der 1. und 2. Produktion, Biomasse [%] (Grafik oben), Keimrate [%] (Grafik unten). Testung von jeweils drei 18 L und 40 L Säcken je Produktion, insgesamt 12 Säcke (Sacknr. 1-18).

Tabelle 3. Biomasse und Keimrate im Kressetest der Substratkomponenten Kompost, Rindenhumus und Holzfaser für die Produktion 2024, Werte der zuletzt durchgeführten Tests im Jänner 2024.

	Biomasse %	Keimrate %
Kompost für GG24 -15%	103	98
Kompost für GG24 - 30 %	107	99
Rinde für GG24 -15%	113	95
Rinde für GG24 -30%	120	95
Holzfaser 30 %	106	98

Fotos GG-Substrat Produktion 1 und 2



Abbildung 5. Kressetest - Prüfung von jeweils fünf 18 L- und 40 L- Säcken Guter Grund je Produktion, insgesamt 20 Säcke. Foto oben erste Produktion (Sacknr. 1-10), Ansatz am 20.02.2024, Foto unten zweite Produktion (Sacknr. 11-20), Ansatz am 16.04.2024.

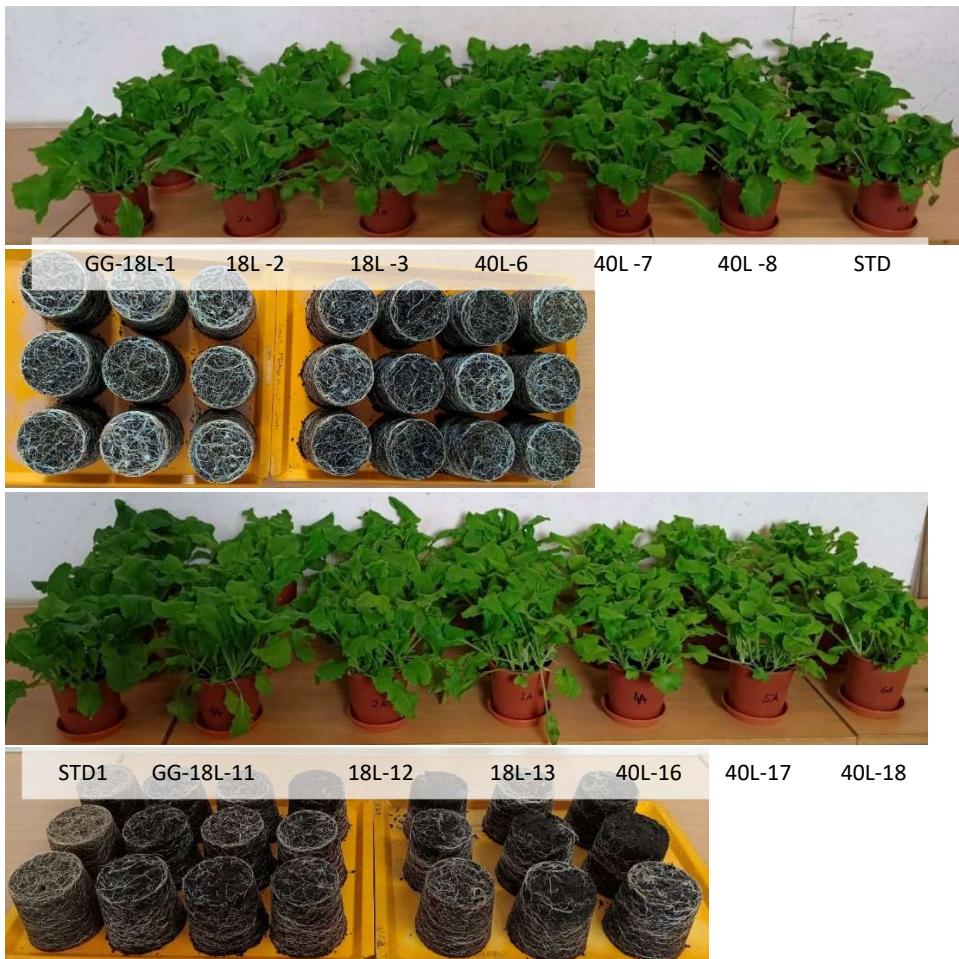


Abbildung 6. Chinakohltest - Prüfung von jeweils drei 18 L- und 40 L- Säcken je Produktion, insgesamt 12 Säcke. Fotos oben erste Produktion (Sacknr. 1-3, 6-8), Ansatz am 28.02.2024, Fotos unten zweite Produktion (Sacknr. 11-13, 16-18), Ansatz am 02.05.2024. Zu sehen: Pfl.Biomasse oberirdisch und Wurzelentwicklung oberflächlich (Topfinhalt umgedreht).

Tabelle 4. Sauerstoffverbrauch AT4 und OUR, Nitratanteil an Nmin und Salzgehalt von Kompostproben für die Produktion 2024.

Bezeichnung	Probennahme- datum	AT4 mg O ₂ /gTM	OUR mmol O ₂ /kg OM/h	NO ₃ N-Anteil an Nmin %	Salzgehalt g/l
GG24-ZM1	24.05.2023	2,0	13,9		2,8
GG24-ZM2	24.05.2023		17,9	100	2,6
GG24-ZM3	24.05.2023	2,6	16,2	100	2,8
GG24 (Haufen)	20.07.2023		11,1	57	2,4
GG24 (Haufen)	20.07.2023		12,4	86	2,6
GG24 (Haufen)	20.07.2023		11,1	93	2,4

Die getesteten Substrate beider Produktionen weisen durchgehend hohe Kresse Biomassewerte auf mit Werten zwischen 102 % und 128 %, der Median liegt bei 115 %, die Spannweite ist mit 26 % relativ hoch. Die unterschiedlichen Produktionen oder Sack-Volumina zeigen keinen Einfluss auf das Ergebnis. Die Keimrate ist nicht beeinträchtigt, die Werte liegen im Mittel bei 98 % (min. 94 %, max. 108 %). Die Ergebnisse entsprechen auch der vorab getesteten Probemischung mit 120 % Biomasse (Bericht 2023). Die Qualität der Einzelkomponenten von Kompost, Rindenhumus und Holzfaser konnte mit Werten über 100 % Kresse-Biomasse als sehr gut bewertet werden (siehe Tabelle 3). Auch wurde der Kompost anhand des Sauerstoffverbrauches als stabil eingestuft mit a) AT4 2 bis 2,6 mg /TM schon zum früheren Termin am 24.05.2024 und b) OUR 11,1 bis 12,4 mmol/ kg OM/h zum Termin am 20.07.2024 (Tabelle 4). Der Anteil des Nitratgehaltes an mineralischem Stickstoff ist ab der Lagerung als Haufenmiete variabel zwischen 57 und 93 %, der Salzgehalt konstant um 2,5 g/L.

Im Chinakohlttest zeigt die Pflanzenentwicklung der ersten Produktion ebenfalls gute Ergebnisse mit Biomassewerten zwischen 103 und 116 % (Abbildung 4), vergleichbar mit der Biomasse der davor erstellten offiziellen Probemischung (103 %). Bei der zweiten Produktion sind die 18 L-Säcke vergleichbar hoch (98 bis 114 %), die 40 L-Säcke jedoch weisen mit Werten um 67 % eine deutlich geringere Entwicklung auf. Eine hohe Variabilität an pflanzenverfügbarem Stickstoff in den Säcken könnte hier eine Erklärung für die deutlich geringere Biomasse bei den drei getesteten 40 L-Säcken der 2. Produktion sein. Die im Vorjahr in einem Zeitverlauf untersuchten Nmin-Gehalte in 26 Säcken ließen eine hohe Stickstoffdynamik erkennen, mit zum Teil sehr unterschiedlichen N-Mineralisierungsraten in den Säcken (Bericht 2023). Von einer zu geringen Kompostreife ist auch aufgrund der Kresserergebnisse nicht auszugehen. Eine Keimminderung oder Keimverzögerung konnte nicht beobachtet werden. Die Keimrate ist bei allen getesteten Säcken (beider Produktionen) vergleichbar hoch und beträgt durchschnittlich 95%.

2.3.2 Schlussfolgerungen GG Produktion 2024

- In der ersten Produktion konnten durchgehend sehr gute Ergebnisse im Pflanzentest erzielt werden. Unterschiede im Pflanzenwachstum treten beim Chinakohl in der 2. Produktion auf, nicht jedoch im Kressetest. Im Chinakohlttest sind hier zum einen gute Ergebnisse zu sehen, die die gute Qualität betätigen, zum anderen weist ein Teil der Ergebnisse darauf hin, dass das Pflanzenwachstum bei Produktions-Chargen (in diesem Fall bei 40 L-Säcken beobachtet) geringer ausfallen kann. Als Ursache wird ein unterschiedlich pflanzenverfügbarer Stickstoffgehalt angenommen. Dieser kann durch i) eine variierende Menge an Horngrieß je Sack (Frage der Spannbreite bei der technischen Abmischung), ii) eine unterschiedliche Mineralisierungsraten (Mikroorganismenaktivität) in Abhängigkeit von Temperatur und Wasser im Substrat bzw. Kompost (Lagerbedingungen) verursacht sein. Von

wachstumsmindernden Stoffen wird nicht ausgegangen, da die Keimraten weder bei den Einzelkomponenten noch in der Substratmischung reduziert waren.

- Die verlängerte Führung des Komposts auf Zeilenmieten bei gutem Wassergehalt waren entscheidende Faktoren für die gute Substrat-Qualität. Der Kompost konnte für den Zeitpunkt der Produktion als stabil eingestuft werden.
- Die Rezeptur für GG24 mit einem Kompost-Rindenhumus-Holzfaser Anteil von 40-20-40 % und einer Horndüngermenge von 3 kg/m³ erzielte ein gutes Pflanzenwachstum.
- Die Verringerung der Horndüngermenge auf 3 kg/m³ in der Substrat-Rezeptur aufgrund der dazu erfolgten vorhergehenden Untersuchungen erwies sich als richtige Maßnahme.

2.4 Guter Grund Produktion 2025

Für die kommende Produktion von Guter Grund 2025 wurden der Kompost sowie Substrat-Probemischungen untersucht. Der für die Produktion vorgesehene Kompost wurde wie im Vorjahr bis Ende Mai 2024 auf Zeile (Umsetzung 14-täig) geführt und danach als Haufenmiete aufgesetzt (Umsetzung monatlich mittels Radlader). Eine weitere Kompost-Zeilenmiete wurde ebenfalls beprobt, die bei Bedarf für die GG-Produktion verwendet werden kann. Zur Prüfung der Qualität wurden Pflanzentests mit Kresse zu mehreren Terminen durchgeführt.

2.4.1 Substratkomponenten Kompost und Rindenhumus für GG25

▪ Kompost

Die Prüfung der Kompostqualität anhand des Kressetests erfolgte bis dato an 3 Beprobungsterminen im Zeitraum von Juli bis Oktober 2024. Die Ergebnisse sind als konstant zu bewerten, bei einem 15-prozentigen Kompostanteil im Substrat werden Werte zwischen 85 und 86 % erzielt, bei einem 30-prozentigen Kompostanteil Werte zwischen 81 und 94 % (Abbildung 7). In Abbildung 8 ist der Ansatz des zuletzt durchgeführten Tests zu sehen (29.10.2024).

In Tabelle 5 sind Reifeparameter zur Einschätzung des Kompostes für GG25 zu sehen, von Probenahmeterminen von Juni bis Dezember. Anhand des Sauerstoffverbrauches (AT4 und OUR) kann der Kompost von allen Proben als stabil eingestuft werden. Der Nitratanteil am mineralischen Stickstoff ist ebenfalls relativ hoch mit Werten ab 75 % überwiegend jedoch über 90 % (was für Reife spricht). Der Salzgehalt ist relativ hoch mit 3,2 g/l bis mit 4 g/l, nur in der Zeilenmiete (am 5.9.2024) gering mit 1,6 g/L.

Tabelle 5. Sauerstoffverbrauch AT4 und OUR, Nitratanteil an Nmin und Salzgehalt von Kompostproben für die Produktion Guter Grund 2025.

Bezeichnung	Probenahme-datum	AT4	OUR	NO3N-Anteil an Nmin	Salzgehalt
		mg O ₂ /gTM	mmol O ₂ /kg OM/h	%	g/l
GG25 (Haufen)	12.06.2024	3,7	10,6	94,4	3,3
GG25 (ZM)	12.06.2024	1,1	11,3	100,0	3,2
GG25 (Haufen)	13.08.2024	1,9	11,3	96,3	4,0
GG25 (ZM)	05.09.2024	2,3	13,5	75,0	1,6
GG25 (Haufen)	10.10.2024	2,3	7,2	80,1	3,8
GG25 (Haufen)	05.12.2024	2,0	7,8	99,0	3,4

- **Rindenhumus**

Der Rindenhumus wurde im Jänner dieses Jahres untersucht, eine weitere Testung fand bis jetzt nicht statt, da es sich um Material derselben Miete handelt. Die bisherige Untersuchung weist eine hohe Qualität auf, die Werte zeigen gute Ergebnisse mit einer Kresse-Biomasse >100 % und einer Keimrate von 95 % (siehe auch Tabelle 3).

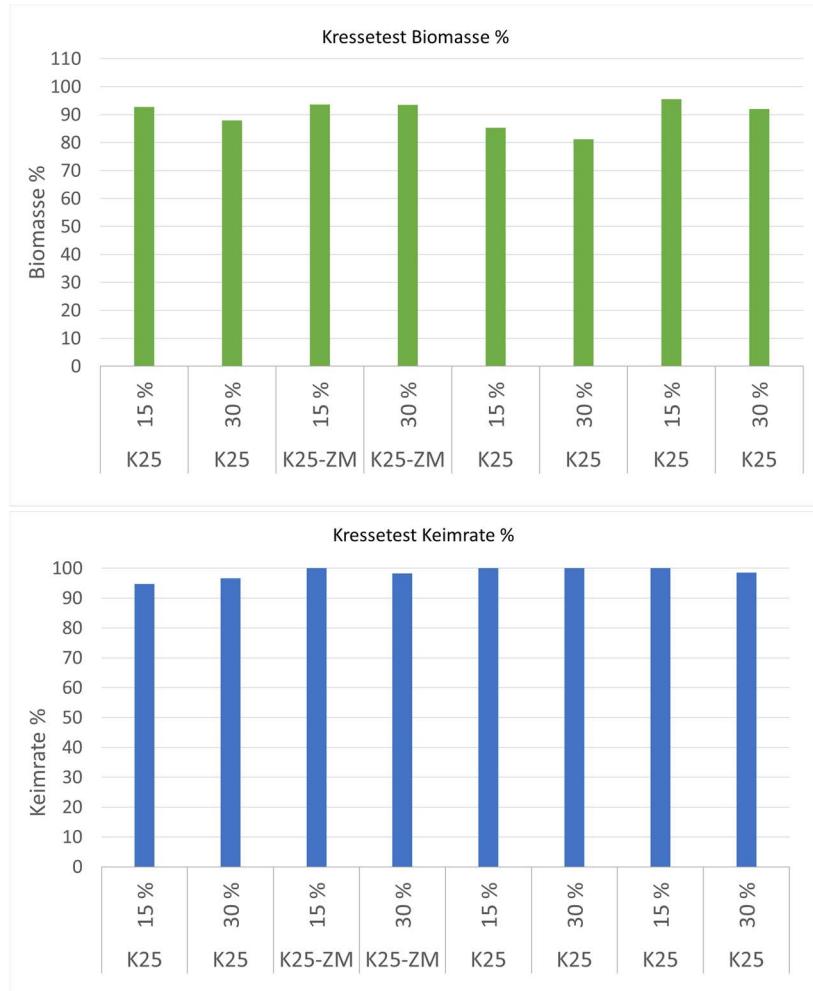


Abbildung 7. Kressetests von Kompost für Guter Grund 2025 von 3 Beprobungsterminen, (davon eine Zeilenmiete, für eine mögliche Integration in die Haufenmiete), Kompostanteil im Substrat 15- und 30-Prozent, Biomasse (Grafik oben) und Keimrate (Grafik unten) in %.



Abbildung 8. Kressetest von Kompost für GG-2025, Ansatz am 29.10.2024.

2.4.2 Prüfung von Mischungen für Guter Grund 2025

Bei den Substratmischungen wurde das Augenmerk auf den organischen Dünger gelegt. Die Volumenanteile von Kompost, Rindenhumus und Holzfaser entsprechen dem Rezept des Vorjahres mit 40-20-40 %.

In einer ersten Testung wurde die Düngemenge von Horngrieß zwischen 3, 4 und 5 kg/m³ variiert, um die Wirkung des Düngers in der diesjährigen Mischung einzuschätzen. Zu erkennen ist, dass bei zwar allen Düngemengen hohe Kresse-Biomassewerte erreicht werden (92 bis 116 %), dennoch besteht eine negative Korrelation zwischen Biomasse und zunehmende Düngemenge (Abbildung 9, Foto in Abbildung 10). Eine Düngemenge von 3 kg Horngrieß/m³ ist somit für die nächste Produktion als Richtwert anzusehen, der auch für die folgenden Versuche als Maß herangezogen wurde.

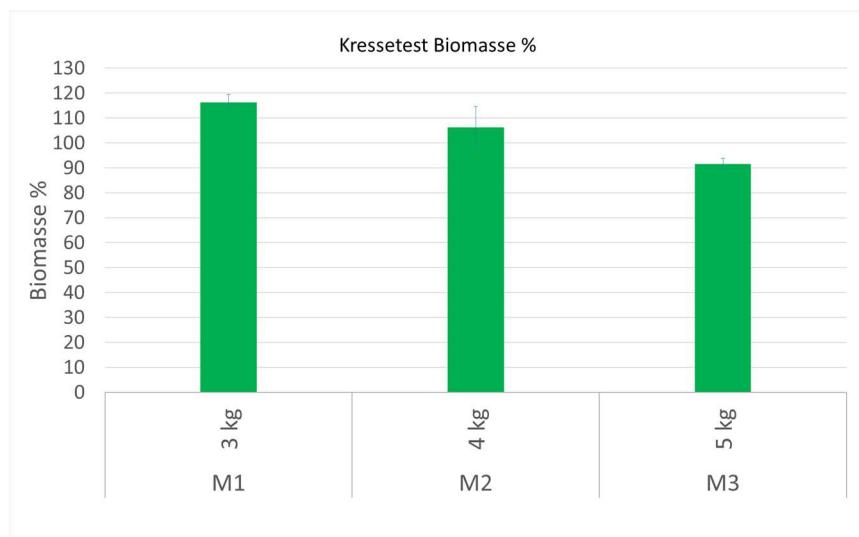


Abbildung 9. Versuchsmischungen M1 bis M3 für Guter Grund 25, Biomasse von Kresse [%], unterschiedliche Mengen an Horngrieß mit 3, 4 und 5 kg/m³ (Ansatz vom 29.10.2024).

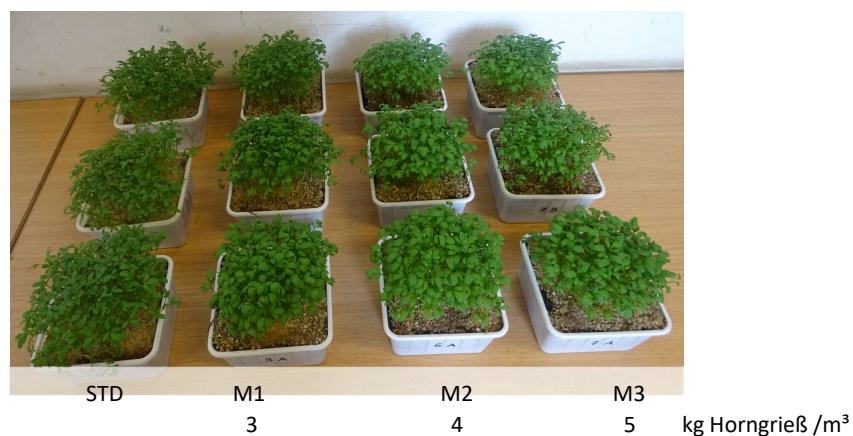


Abbildung 10. Kressetest Versuchsmischungen M1 bis M3 mit unterschiedlichen Düngemengen, Standard STD, Horndüngermengen von 3; 4 und 5 kg/m³, die Komponenten von Kompost Rinde und Holzfaser sind unverändert im Verhältnis von 40:20:40.

2.4.2.1 Stickstoffverfügbarkeit in GG-Versuchsmischungen

Versuch A

Ein wichtiger Faktor für die Qualität des Substrates ist eine gute Stickstoffverfügbarkeit. Zur Untersuchung der Düngewirkung und der Stickstoffverfügbarkeit in den GG-Versuchsmischungen wurden vier Düngevarianten (siehe Tabelle 6) bei gleichbleibenden Komponentenanteilen (KRH: 40-20-40 %) hergestellt. Einerseits wurde der Horndünger variiert, indem neben Horngrieß (Korngröße 0-5 mm) auch ansteigende Anteile von Hornspänen (>5 mm) eingebracht wurden (M4-M6, die Dünge-Gesamtmenge wurde bei 3 kg/m³ belassen), andererseits wurde zum Vergleich auch eine Düngevariante mit Ammoniumnitrat (M7) hinzugenommen. Die Verwendung des künstlichen Düngers dient zum Vergleich von sofort pflanzenverfügbarem Stickstoff (NH_4NO_3) gegenüber dem beim Horndünger erst durch Mikroorganismenaktivität pflanzenverfügbar gemachten Stickstoff. Der N-Gehalt der Dünger wurde bei allen GG-Mischungsvarianten mit 360 mg N/L Substrat gleichgesetzt. Dazu wurde der Anteil von Stickstoff im Horndünger mit dem Durchschnittswert von 12 % angenommen und der so errechnete Gehalt für die Menge der Ammoniumnitrat-Variante übernommen. Ein Vergleich mit dem Standardsubstrat (STD), das entsprechend Methodenvorschrift (DIN EN 16086) mit Torf und einem handelsüblichen NPK-Volldünger zu 225 mg N/L Substrat bereitet wird, gibt zusätzlich Auskunft über die gemeinsame Wirkung von N, P und K. Die Mischung der Versuchssubstrate erfolgte einen Tag vor dem Ansatz, die Dauer des Pflanzenversuches betrug 28 Tage.

Tabelle 6. Anwendung unterschiedlicher Düngevarianten für die Substratversuchsmischungen. Variation der Anteile an Horngrieß und Hornspäne (gesamt 3 kg/m³) sowie eine künstliche N-Düngung mit Ammoniumnitrat. Standardsubstrat mit Volldünger NPK.

	Dünger	Menge kg/m ³	mg N/L	Substrat
STD	Volldünger (NPK)		225	Torf
M4	Horngrieß:Hornspäne 3:0	3	360	
M5	Horngrieß:Hornspäne 2:1	3	360	
M6	Horngrieß:Hornspäne 2,5:0,5	3	360	
M7	Ammoniumnitrat (N)		360	

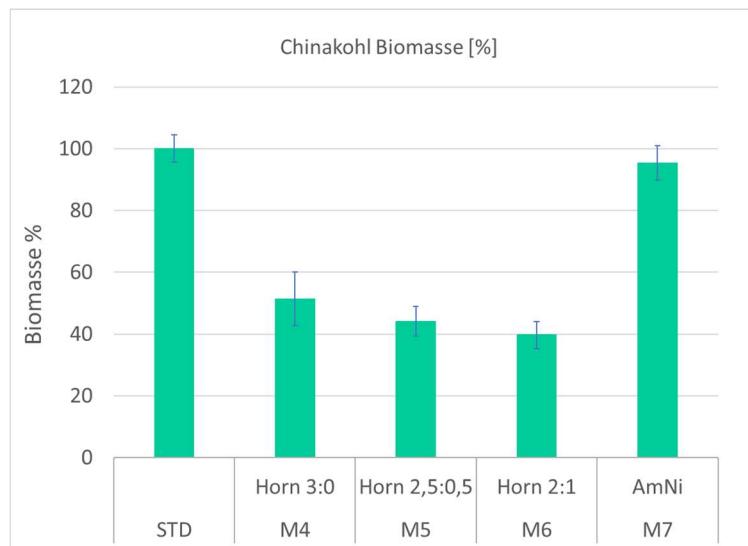


Abbildung 11. Biomasse von Chinakohl, Versuchsmischungen M4-M7 mit unterschiedlichen Anteilen an Horngrieß und Hornspäne sowie eine mineralische N-Düngung mit Ammoniumnitrat. Das Standardsubstrat STD enthält Torf und einen mineralischen Volldünger (NPK).

Die Ergebnisse (Abbildung 11) zeigen, dass die mit Ammoniumnitrat gedüngte Versuchsmischung M7 eine vergleichbar hohe Biomasse entwickelt wie der Standard STD. Die Blattfarbe war bei M7 jedoch deutlich heller (hellgrün) im Vergleich zum STD (dunkelgrün). Die Mischungen M4, M5 und M6 erzielen vergleichsweise eine geringere Biomasse (40-50 %). Ein deutlicher N-Düngeeffekt ist gegeben, da alle Mischungen dieselben Komponenten enthalten abgesehen vom Dünger. Die geringe Biomasse der Versuchsmischungen M4, M5 und M6 stehen im Widerspruch zum Ergebnis der offiziellen Prüfmischung (siehe Abbildung 16), die 80 % erreicht. Bei den Mischungen M4, M5 und M6 ist weiters zu erkennen, dass mit höher werdendem Anteil an Hornspänen die Biomasse ebenfalls tendenziell abnimmt. Aufgrund der größeren Körnung sind Hornspäne weniger schnell abbaubar als Horngrieß und die Wirkung setzt deutlich später ein. Die Menge von 3 kg/m³ Horndünger in Form von Horngrieß sollte somit beibehalten und nicht unterschritten werden.

Versuch B

Für eine weitere Untersuchung der Stickstoffdynamik wurden unterschiedlich gedüngte Substrate (Tabelle 7) in 6 originale 18 L-Säcke abgefüllt (M9-M14) und die N-Mineralisierungsrate festgestellt. Die Horndüngermenge variiert zwischen 3 kg/m³ und 4,5 kg/m³. Die unterschiedlichen Korngrößen des Horndüngers bewirken eine unterschiedlich schnelle Mineralisierung. Einerseits ist der Abbauprozess bei einem größeren Hornspäne-Anteil verlangsamt, andererseits kann das N-Depot erhöht und die Wirkung zeitlich verlängert werden. Ziel ist es, die N-Dynamik in den Säcken zu erfassen, um pflanzenschädigende Einflüsse zu vermeiden und die Düngung für die Produktion zu optimieren. Zusätzlich wird eine Variante (M14) mit einem Anteil Phytogrieß gemischt - es handelt sich um ein Produkt ohne tierische Inhaltsstoffe, welches bei der Recherche alternativer organischer Dünger (siehe Seite 23) als interessant aufschien. Es wurde bereits bei der GG-Substratproduktion eingesetzt (2021/2022). Im Versuch soll das Produkt mitgetestet werden und die Wirkung nach längerer Lagerung in Kombination mit Horndünger nochmals beurteilt werden. Die N_{min}-Messungen erfolgten von der ungedüngten NULL-Variante (Versuchsmischung ohne Dünger als Ausgangsbasis), von einer Versuchsmischung mit Volldünger (NPK) und von den Mischungen in den Säcken M9 bis M14 nach 4 Wochen Lagerung (Abbildung 12).

Tabelle 7. Substratversuchsmischungen M8 – M13 mit unterschiedlichen Düngevarianten, Variation der Menge und Anteile an Horngrieß und Hornspäne sowie eine Variante mit dem Dünger Phytogrieß. Angabe der Düngemenge (kg/m³) und der Stickstoffmenge (mg N/L Substrat), und des Kompost-Holzfaser-Rindenanteils KHR, Lagerung in original GG-18L-Säcken.

Dünger	Menge kg/m ³	mg N/L	Substrat
M8	Volldünger (NPK)	225	Versuchsmischung (KHR 40-40-20 Vol%)
M9	Horngrieß:Hornspäne 3:0	3	
M10	Horngrieß:Hornspäne 3:0,5	3,5	
M11	Horngrieß:Hornspäne 3:1	4	
M12	Horngrieß:Hornspäne 3,5:0,5	4	
M13	Horngrieß:Hornspäne 3,5:1	4,5	
M14	Horngrieß:Phytogrieß 2,5:1,7	2,5+1,7	

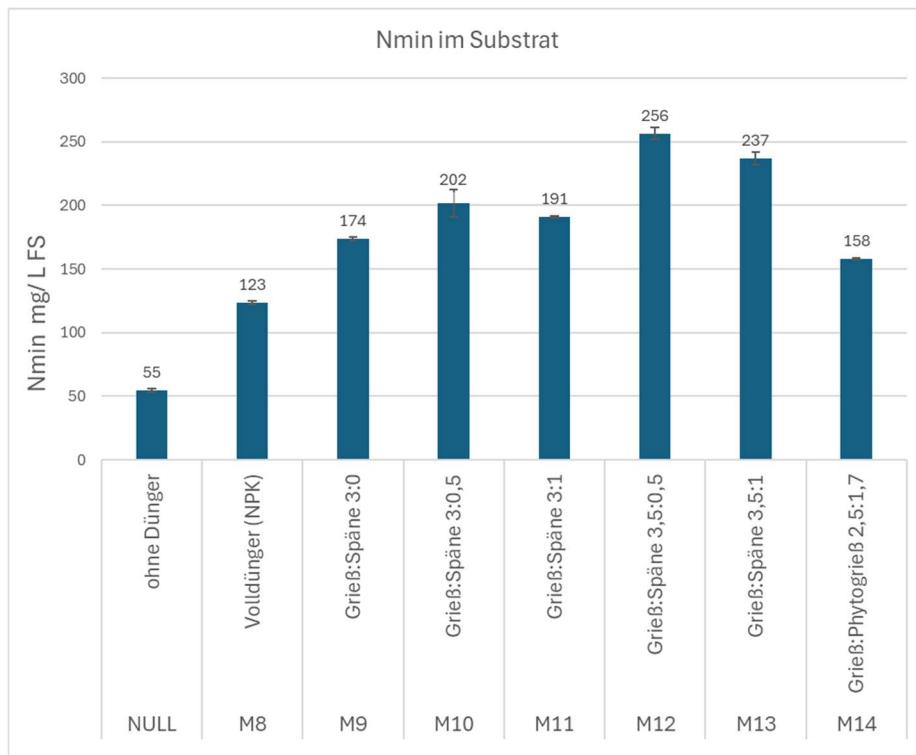


Abbildung 12. Pflanzenverfügbarer Stickstoff Nmin (mg/L FS) im Versuchssubstrat, Versuchsmischungen NULL zum Zeitpunkt der Abmischung, M8 bis M13 mit unterschiedlichen Düngevarianten, Variation der Menge und Anteile an Horngrieß und Hornspäne sowie eine Variante mit dem Dünger Phytogrieß M14. Analyse nach 4 Wochen Lagerung in original GG-18L-Säcken zwischen 15-21 °C.

Abbildung 12 zeigt den Anteil an N_{min} in den Versuchsmischungen nach 4 Wochen Lagerung bei Zimmertemperatur (15-21°C). Die Ergebnisse zeigen, dass der N_{min} -Gehalt in den Säcken M9-M14 während der Lagerung steigt und im Vergleich zur Nullprobe NULL deutlich höher liegt.

Der im Horndünger enthaltene Stickstoff N wird weiter mineralisiert. Die Variante M9, die der GG-Rezeptur entspricht, enthält zu Beginn ca. 9,5 mg an N_{min} / l FS, der vom Horndünger stammt (Horndünger Analyse Labor MA48), der Rest ist organisch gebunden und wird im weiteren Verlauf umgebaut. Nach 4 Wochen sind in M9 insgesamt 174 mg N_{min} / l FS enthalten. Im Vergleich dazu enthält die reine Versuchsmischung ohne Horndünger (NULL) zum Zeitpunkt der Abmischung 55 mg N_{min} / l FS. Demnach sind in dem Zeitraum 109,5 mg N_{min} / l FS (Differenz 174-9,5-55) in M9 mineralisiert worden, zum Zeitpunkt der Abmischung wären in M9 64,5 mg N_{min} / l FS enthalten. Der untere Grenzwert für Substrate beträgt 100 mg N_{min} / l FS, der insofern eingehalten werden kann, als eine relativ schnelle (< 4 Wochen) Umsetzung in den Säcken stattfindet. Die Erhöhung der Horngrießmenge in den Säcken M12 und M13 von 3 auf 3,5 kg/L FS führt sichtlich zu höheren N_{min} Gehalten, jedoch nicht durch die Zugabe oder Erhöhung der Hornspänenmenge (M11 und M13). Die Variante M14 mit Horngrieß und Phytogrieß, die vom N-Niveau der Variante M10 gleichkommt, weist eine deutlich langsamere Umsetzung auf. Zusätzlich wurden Pflanzentests durchgeführt. Nach 4 Wochen Lagerung wurde aus den Säcken Substrat entnommen und ein Pflanzentest mit Kresse und Chinakohl angesetzt. Die Ergebnisse des Kressetests (M8, M9, M13) zeigen, dass eine Erhöhung der Düngermenge von 3 kg Horngrieß/ m³ auf 3,5 kg Horngrieß und zusätzlich 1 kg Hornspäne / m³ keine Verminderung der Biomasse im Vergleich zur aktuellen Rezeptur bedeutet (Abbildung 13). Der Pflanzentest mit Chinakohl (Abbildung 14), der über einen längeren Zeitraum läuft (28 Tage) und mehr über die Dungewirkung aussagt als Kresse, zeigt, dass die Biomasse der Varianten M8 bis M14 in einem Zusammenhang mit dem pflanzenverfügbaren Stickstoff (N_{min}) steht ($r=0,9$). Gleichzeitig ist zu erkennen,

dass die Zugabe von Hornspänen in dem beobachteten Zeitraum statistisch einen geringen Einfluss auf das Wachstum von Chinakohl hat, vielmehr ist die Mineralisierungsrate ausschlaggebend.

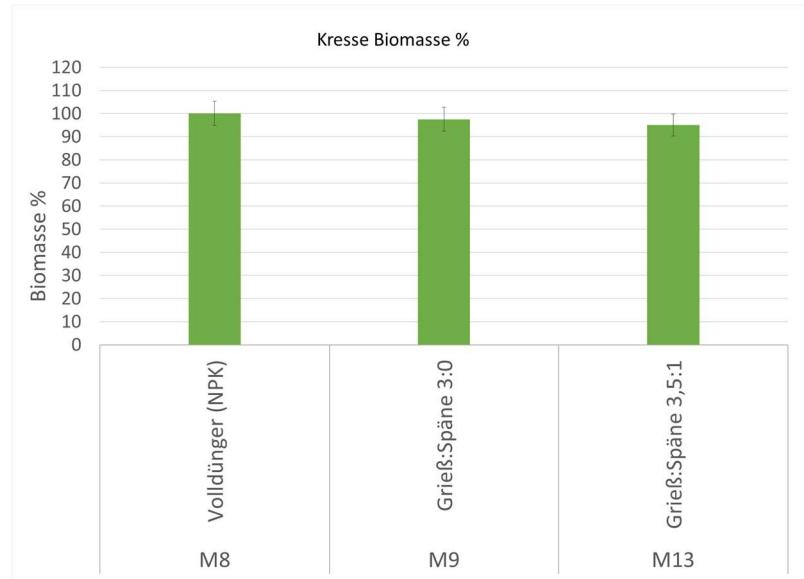


Abbildung 13. Kressetest mit den Versuchsmischungen M8 (Volldünger), M9 (aktuelle GG-Rezeptur mit 3 kg/m³ Horngrieß) und M13 (4,5 kg /m³ Horndünger - Anteile an Horngrieß und Hornspäne 3,5:1) Testansatz mit Substrat nach 4 Wochen Lagerung in original GG-18L-Säcken zwischen 15-21 °C.

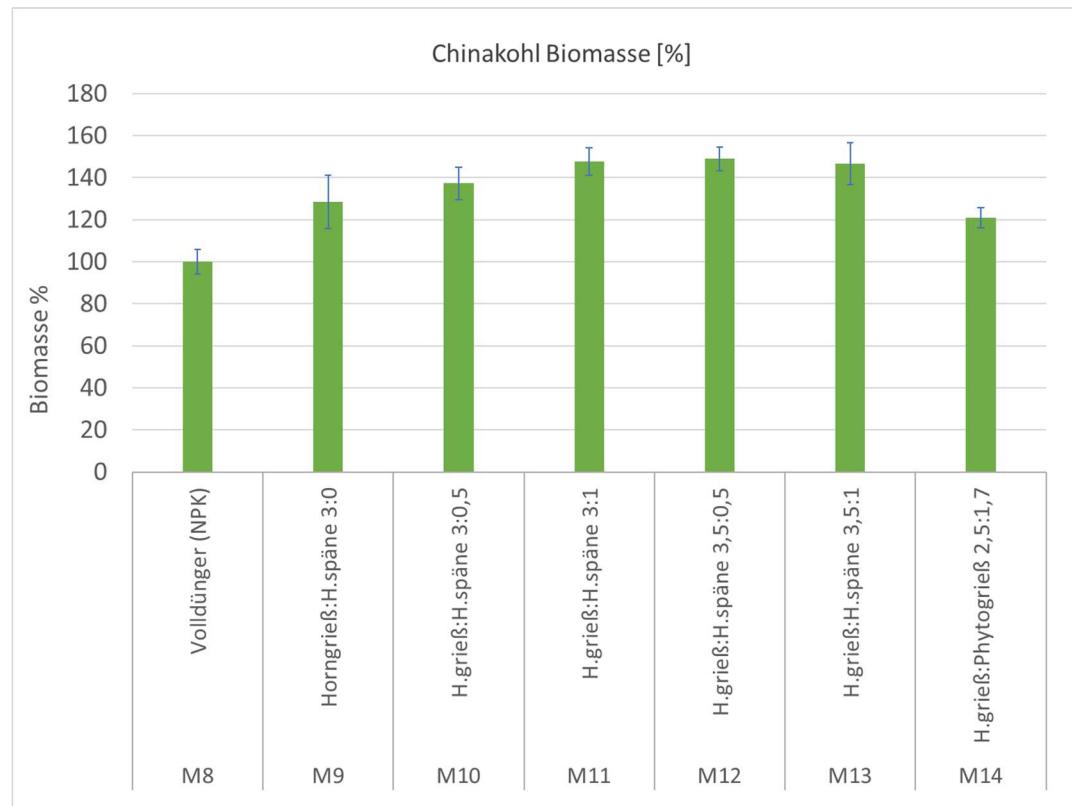


Abbildung 14. Chinakohl-Biomasse der Versuchsmischungen M8 bis M13 mit unterschiedlichen Mengen und Anteilen an Horngrieß und Hornspäne sowie eine Variante mit dem Dünger Phytogrieß M14. Ansatz nach 4 Wochen Lagerung in original GG-18L-Säcken zwischen 15-21 °C, Ernte nach 28 Tagen Wachstum.



Abbildung 14-a. Foto von Chinakohltest mit den Versuchsmischungen M8 bis M14 zur Ernte.

Fazit

Die Stickstoffverfügbarkeit ist entscheidend für das Wachstum der Pflanzen, im Kressetest konnte gezeigt werden, dass die Erhöhung der Horndüngermenge das Wachstum nicht negativ beeinflusste. Im Chinakohltest führte die Zugabe von Hornspänen und die Erhöhung der Menge im beobachteten Zeitraum zu keinem statistisch abgesichert höheren Wachstum. Bedeutender ist die Mineralisierungsrate von Horngrieß im Substrat, sie wirkt sich deutlich auf das Wachstum aus. Für die Düngung des Substrates lässt sich eine Menge im Bereich von 3 bis 3,5 kg Horngrieß / m³ ableiten.

2.4.2.2 Offizielle Probemischung für Guter Grund 2025

Die Probemischung zur Vorabtestung der Substratqualität für die kommende Produktion wurde am 5. November 2024 durchgeführt. Der Kompost-Holzfaser-Rindenhumus-Anteil (Vol%) für die Probemischung beträgt 40-40-20 %, als organischer Dünger wurde Horngrieß zu 3 kg / m³ zugefügt.

Die Pflanzentests zur Prüfung der Probemischung erfolgten noch am selben Tag der Abmischung. Der Kressetest zeigt ein sehr gutes Ergebnis mit einer Biomasse von 114 % (Abbildung 15 und Foto Abbildung 17). Zum Vergleich und zur Bestätigung wurde in der Grafik die Mischung M1 (siehe auch Abbildung 9), die nach derselben Rezeptur abgemischt wurde, dargestellt (116 % Biomasse).

Im Chinakohl-Test erzielt die Probemischung im Vergleich zum Standard 80 % Biomasse und weist eine deutlich hellere Blattfarbe auf (Abbildung 18).

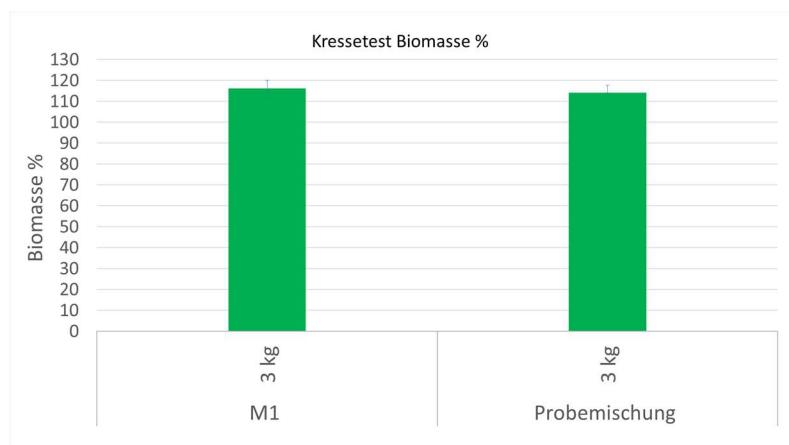


Abbildung 15. Kressetest Guter Grund Versuchsmischung M1 und die offizielle Probemischung für GG25, beide mit gleicher Rezeptur (KHR:40:40:20 %) und Düngemenge, erstere abgemischt durch BFA und zweitere durch MA48 am KW Lobau (Keimrate beide um 100 %).

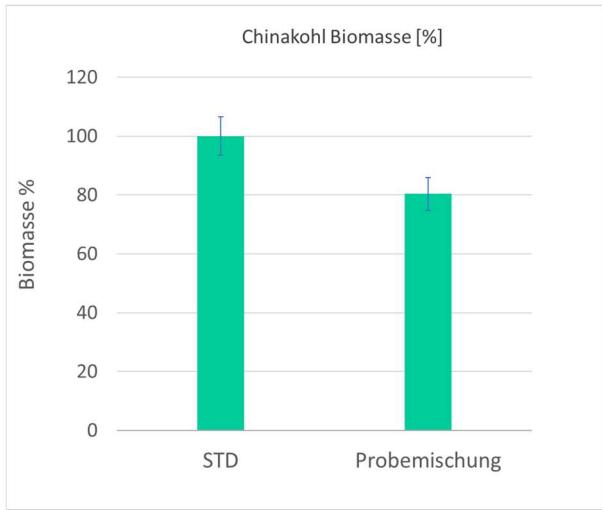


Abbildung 16. Biomasse von Chinakohl Test offizielle Probemischung für GG25 im Vergleich zum Standard (die Keimrate beträgt 100 %, hier nicht dargestellt).



Abbildung 17. Kressetest: Standard (a), Probemischung GG25 (b).



Abbildung 18. Chinakohl: Standard (a), offizielle offizielle Probemischung GG25 (b).

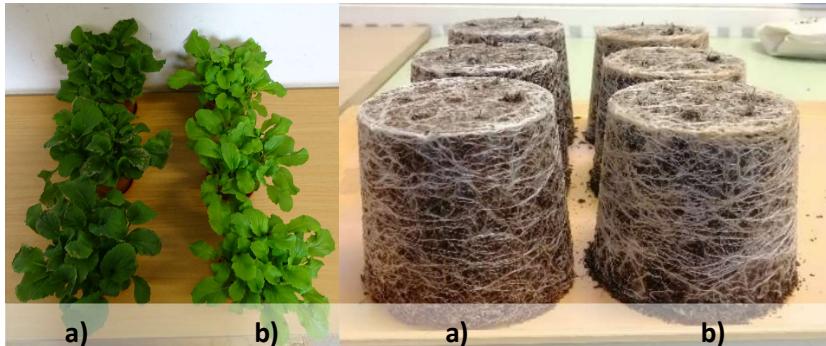


Abbildung 19. Bessere Durchwurzelung beim GG-Substrat (b) im Vergleich zum Standard (a).

2.4.3 Schlussfolgerungen

- Der Kompost für die Guter Grund Produktion 2025 kann anhand der Parameter AT4, OUR und 'Reifepunkte' als reif beurteilt werden. Die im Vorjahr begonnene verlängerte Führung in Zeilenmieten bei gutem Wassergehalt trägt deutlich zur Verbesserung der Qualität bei.
- Die offizielle Probemischung für GG25 mit einem Kompost-Rindenhumus-Holzfaser-Anteil von 40-20-40 % zeigte bei einer Horndüngermenge von 3 kg/m³ sehr gute Ergebnisse im Kressetest. Im Test mit Chinakohl erzielt die Mischung mit 80 % eine etwas geringere Biomasse.
- In weiteren Mischungsversuchen kann einerseits im Kressetest die Düngemenge von 3 kg/m³ als optimal bestätigt werden, andererseits ist bei Chinakohl ein N-Düngeeffekt zu beobachten, der auf einen Mangel an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Vergleich zum Standard hinweist. Ein Grund dafür ist die Anwendung des Substrates gleich nach der Abmischung, zu einem Zeitpunkt, an dem die Mineralisierung des Horndüngers erst beginnt.
- Eine Erhöhung der Horndüngemenge auf 3,5 kg Horngrieß/m³ kann im weiteren Versuch im Kressetest als ebenso pflanzenverträglich bestätigt werden, wobei die Anwendung des Substrates 4 Wochen nach Abmischung erfolgte.
- Die optimale Wirkung der Substrate setzt erst nach Beginn der Mineralisierung von Horndünger ein (ca. 2-3 Wochen, in Abhängigkeit von der Lagerungstemperatur und vom Ausgangsgehalt an N_{min} im Kompost).

2.5 Recherche alternativer organischer Dünger

Einleitung

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene organische Dünger aufgelistet und ihre Nährstoffgehalte N, P, K zum Vergleich dargestellt. Die Phosphor- und Kalium-Gehalte beziehen sich auf P und K und nicht auf die oft verwendeten P₂O₅ und K₂O Gehalte.

In den **Kriterien für Dünger und Substrate bei „biologisch gärtnern“** wird beschrieben, worauf die KonsumentInnen beim Kauf achten sollten (*Stand Februar 2024, sie orientieren sich an den Bestimmungen für die biologische Landwirtschaft, entsprechend der Verordnung (EU) 2018/848 und Anhang II der Durchführungsverordnung (EU) 2021/1165 i.d.g.F. Sie wurden bearbeitet und ergänzt durch die Projektgruppe „biologisch gärtnern“, bestehend aus EASY-CERT services, der Firma biohelp Garten & Bienen und DIE UMWELTBERATUNG*). So ist zum Beispiel **Torf** für eine umweltverträgliche biologische Dungung **nicht erlaubt**. Von Produkten und Nebenprodukten pflanzlichen Ursprungs für Düngezwecke sind **Extraktionsschrote nicht erlaubt**, Kakaoschalen sind erlaubt. Guano ist erlaubt, wenn er im Substratgemisch oder in Erden enthalten ist (nicht erlaubt als Einzeldünger). Jedoch wird empfohlen den Nachweis der Nachhaltigkeit bei fraglichen Produkten zu prüfen bzw. nachhaltige Produkte zu bevorzugen. Getrockneter Geflügelmist ist ausschließlich aus biologischer Produktion zu beziehen. Generell empfohlen sind Produkte aus biologischer Landwirtschaft. Um lange Transportwege zu vermeiden und nachhaltige Produktionsbedingungen zu sichern, sollten Dünger und Substrate bei ausreichender Verfügbarkeit aus Österreich oder dem grenznahen Ausland stammen. Sind sie hier nicht verfügbar, sind Produkte mit geringen Transportwegen aus dem europäischen Raum zu wählen.

Organische Dünger tierischer Herkunft

Hornmehl/-grieß/-späne werden aus Hörnern und Klauen von Rindern gewonnen. Als N-Lieferant (10-15 % N) eignet es sich für Böden oder Substrate, die ausreichend P und K enthalten (die PK-Gehalte in Horn sind weit unter 1% mit 0,003 und 0,07%). Da es erst abgebaut werden muss, wird es in humusreichen Böden schneller zersetzt als in humusarmen. Dadurch besteht auch keine Gefahr der Überdüngung. Ein weiterer Vorteil ist, dass Horndünger bei kühler, trockener Lagerung jahrelang haltbar ist. Wegen seinen hervorragenden Eigenschaften wird es auch in vielen handelsüblichen organischen Düngern verwendet.

Rinderdung pelletiert/granuliert hat einen geringeren N-Gehalt als Hornprodukte, jedoch deutlich höhere P-K-Gehalte mit 1,8-3,1-2,3. Er unterstützt beim Humusaufbau, liefert wertvolle Spurenelemente und versorgt die Pflanze langfristig.

Schafwollpellets weisen einen hohen N-Gehalt von 10-12 % auf. Der P-Gehalt liegt bei 0,03 %, der K-Gehalt bei 0,07 %. Abgesehen von der Düngewirkung über einen längeren Zeitraum, verbessern sie die Bodenstruktur, indem sie den Boden belüftet und Wasser speichern. Schafwolle un-pelletiert ist zusätzlich ein idealer Lebensraum für Nützlinge und fördert das Bodenleben. In einem Brutversuch zur N-Freisetzung (Koch et al, 2017) wurde gezeigt, dass diese bei Schafwolle im Vergleich zu Horngrieß verzögert einsetzt, jedoch insgesamt mehr N freigesetzt wird. Schafwolle eignet sich besonders für die Bevorratungsdüngung.

Bei **Fleischknochenmehl** besteht die Düngewirkung durch die Nährstoffe N (7,2 %), P (6,1 %) und Ca (12,0 %). N im Fleischknochenmehl wird den Pflanzen rasch zur Verfügung gestellt. Es eignet sich daher zur akuten Bedarfsdeckung. Bei P verhält es sich genau umgekehrt, es wird langsam aus dem Fleischknochenmehl freigesetzt (noch langsamer in basischen Böden).

Federmehl hat einen sehr hohen N-Gehalt von 13,5 %, 2,9 % P und 1,5 % K. Es fällt als Nebenprodukt bei der Fleischproduktion von Hühnern, Enten und Gänsen an. Es hat eine schnellere N-Freisetzung als Horndünger.

Hühnertrockenkot: Die Nährstoffgehalte schwanken stark und liegen zwischen 2,1 % - 7,7 % N, 0,8 - 2 % P und 1,2 -1,7 % K. Obwohl Hühnertrockenkot ein wertvoller und kostengünstiger Dünger ist, gibt es auch Nachteile, die gegen seinen Einsatz sprechen. Eine Übertragung von Salmonellen durch den Hühnertrockenkot ist zwar unwahrscheinlich, kann jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Auch sollte der Hühnertrockenkot nicht direkt mit Gemüse in Kontakt kommen. Der Geruch kann sehr intensiv sein, ist jedoch durch Verdünnung mit einem Substrat abzumildern.

Guano entsteht aus Seevogel-Exkrementen, die auf kalkreichem Gestein verwittern. Durch die Anreicherung mit Gesteinsmehl und Algenablagerungen entsteht ein wertvoller Volldünger. Er enthält zwischen 10-12 % N, 10-12 % P und 3 % K. Guano ist ein Langzeitdünger, der im Boden umgebaut wird - unter anderem zu Humus, zusätzlich wirkt er als natürliches Fungizid. Die meisten Hersteller verwenden den Vogelkot als Bestandteil eines NPK-Düngers, jedoch sind nur selten mehr als 30 Prozent enthalten. Bei der Recherche konnten auch einige Produkte im heimischen Handel gefunden werden, im Sinne der Nachhaltigkeit sollte jedoch von der Verwendung von Guano gänzlich abgesehen werden. Der Abbau von Guano zerstört Brutstätten gefährdeter Vogelarten und Ökosysteme, der weite Transport (Südamerika) ist klimaschädlich und die Arbeitsbedingungen sind gesundheitsgefährdend (noch heute wird per Hand abgebaut). Guano von Fledermäusen ist ebenfalls umstritten, da der Abbau in den Höhlen (z.B. Sardinien, Andalusien, Texas) zu einer Ruhestörung der Fledermäuse führt.

Organische Dünger pflanzlicher Herkunft

Pflanzliche Produkte in Form von Schrotten, Presskuchen, Trestern u.a. werden als Dünger in der (biologischen) Landwirtschaft zur Nutzung von Reststoffen verwendet, die bei der Produktion anfallen und so im Kreislauf verbleiben. Hauptsächlich werden diese Stoffe jedoch als Futtermittel oder in der Lebensmittelindustrie eingesetzt.

Leguminosen- und Raps-Schrot: Im Folgenden werden die N Gehalte verschiedener Schrote angeführt, deren durchschnittliche Netto-N-Mineralisation in Brut- und Gefäßversuchen untersucht wurden und in einer Zusammenschau (Laber, 2003) verglichen wurden. Unter anderem wurden Schrote und Hornmehl verglichen, Hornmehl mineralisierte im Untersuchungszeitraum 55 % des Gesamtstickstoffs (10-15% Nges).

- **Ackerbohnenschrot** enthält ca. 4 % N, 0,5 % P und 1,2 % K, die N-Mineralisierungsrate beträgt zwischen 35 und 40 %. Preislich ist er im unteren Mittelfeld aus ökologischer Landwirtschaft.
- **Lupinenschrot** enthält ungefähr 5 % N, 0,4 % P und 1 % K, die N-Mineralisierungsrate beträgt 70 % und liegt deutlich höher im Vergleich zu anderen Schrotten. Als pflanzlicher organischer Dünger bringt die Lupine die Vorteile wie die Ackerbohne.
- **Erbse** enthält 3,4 % N, 0,4 % P, 0,9 % K, die N-Mineralisierungsrate beträgt 40 %.
- **Rapsschrot** enthält ca. 5 % N, 1 % P und 1,2 % K, die N-Mineralisierungsrate beträgt 55 %. Rapsschrot enthält deutlich mehr P als die anderen Schrote.

Sojaextraktionsschrot ist gemäß den oben angeführten Kriterien von „*biologisch gärtnern*“ als Extraktionsschrot nicht erlaubt. Er enthält 6,8 % N, 0,5 % P, 1,9 % K. Im Vergleich mit den anderen Schrotten fallen die hohen N- und K-Gehalte auf. Der gebundene N mineralisiert jedoch langsam und ist daher eher als Langzeitdünger geeignet. **Sojapresskuchen** enthält ungefähr 7 % N, 0,8 % P und 0,8 % K. Er kann als Kurz- und Langzeitdünger eingesetzt werden, wird aber hauptsächlich als Futtermittel eingesetzt.

Kürbiskernkuchen hat einen relativen hohen Gehalt an N von 8,5 %. Bei Versuchen mit Salatköpfen wiesen die mit Kürbiskuchen gedüngten Varianten im Vergleich mit anderen organischen Düngern einen deutlichen höheren Nitratgehalt in den Blättern auf (innerhalb des erlaubten Grenzwertes).

Frischer Traubentrester hat Nährstoffgehalte zwischen 0,7-1 % N, 0,01-0,03 % P und 0,06-0,09 % K, **kompostierter Traubentrester** 1 % N, 0,1 % P, 1,3 % K. **Traubenkernmehl** 1,2 % N, 0,03 % P und 0,09 % K. Kompostierter Traubentrester wird im Handel als Flüssigdünger vertrieben, Traubenkernmehl wird in vielen handelsüblichen festen organischen Düngern verwendet, wird aber immer mit anderen Komponenten kombiniert. Traubenkerne enthalten viele primäre und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe wie phenolische Verbindungen, organische Säuren, Spurenelemente und Mineralien. Auf die Blätter applizierte Extrakte können bei richtiger Anwendung Pilzbefall reduzieren.

Melasse fällt als Nebenerzeugnis bei der Zuckerproduktion an (Zuckerrübe, Zuckerrohr). Sie enthält zwischen 1,3 und 1,9 % N, 0,1 % P und 3,5 % K. Bei **Vinassee** handelt es sich um fermentierte Melasse sie enthält 4 % N, 0,2 % P und 5 % K. Sie sind häufig in handelsüblichen Düngern zu finden. Neben der direkten Dungewirkung gibt es noch einen weiteren positiven Effekt. Die hohen Gehalte an einfachen Zuckern sind Nahrungsquellen für das Bodenleben, die zur Steigerung der mikrobiellen Aktivität beitragen.

Der klassische **Algendünger** wird aus Grün- und Braunalgen, zum Beispiel aus Treibsel (Material, das vom Meer an den Strand getrieben wird) gewonnen. Sie enthalten N, P, K, Ca, Mg, Schwefel, Spurenelemente und Pflanzenhormone, die zusätzlich zum Pflanzenwachstum beitragen. Genaue Angaben zur Höhe der NPK-Gehalte konnten nicht gefunden werden. Algen fördern die Aktivität der Bodenorganismen und verbessern die Wasserhaltefähigkeit. **Algenkalk** hingegen wird aus den Ablagerungen von Rotalgen

gewonnen. Diese kommen hauptsächlich in Meeren vor. Algenkalk enthält 70 -80 % Kalziumcarbonat, 10 % Magnesiumkarbonat und ca. 4 % Kieselsäure und einige Spurenelemente. Algenkalk ist kein klassischer NPK-Dünger, seine Düngewirkung bezieht sich auf die Spurenelemente. Er fördert die Aktivität der Mikroorganismen und regt so das Bodenleben an. Es gibt auch Bemühungen, Algen aus Abwässern zu produzieren, dann mit Nährstoffen anzureichern und so als Dünger zu verwenden.

Kakaoschalen enthalten zwischen 2,5-2,7 % N, 0,9-1,2 % P und 3 % K. Da sie erst von den Bodenorganismen zersetzt werden müssen, können sie als Langzeitdünger eingesetzt werden, wobei die höchste Stickstoffabgabe im ersten Jahr erfolgt. Kakaoschalen speichern Wasser im Boden und als Mulch verhindern sie Verdunstung. Bei Kakaoschalen handelt es sich um die hölzernen Schalen der Kakaobohnen, die bei der Schokoladeproduktion anfallen, d.h. sie werden nicht weiterverwendet und gelangen normalerweise als Abfall in den Müll. Zu beachten ist jedoch, dass Kakao in Afrika, Mittel- und Südamerika und Asien angebaut wird und weltweit eine der Kulturen ist, die massiv zur Entwaldung beiträgt. Große Teile der Kakaoplantagen liegen auf illegalen entwaldeten Flächen wie zum Beispiel in Nationalparks. Auch wenn es alternative Anbaumethoden gibt, ist die Monokultur im Kakaoanbau das gängige Modell. Die Ausbeutung der Bäuerinnen und Bauern sowie Kinderarbeit sind ebenfalls keine Seltenheit. Bei Verwendung sollte die Herkunft des Produkts geprüft werden.

Weitere Dünger/Zusätze in Düngern

Regenwurmhumus/-kompost enthält ungefähr 1-1,4 % N, 0,2-0,7 % P und 0,5-1,1 % K, Spurenelemente, Huminsäuren, Mikronährstoffe, Enzyme und Botenstoffe. Die enthaltenen Mikroorganismen tragen zur Belebung des Bodens bei, die Ton-Humus-Komplexe verbessern die Bodenstruktur und die Wasserspeichermöglichkeit des Bodens zudem ist Regenwurmhumus sehr pflanzenverträglich.

Bei Düngern mit **Mykorrhiza** handelt es sich um Pilze, die Symbiosen mit Pflanzen eingehen und nicht um einen klassischen Dünger. Ihre positive Wirkung entsteht dadurch, dass sie Nährstoffe, vor allem P und Wasser an die Pflanzen liefern. Pflanzen, die Symbiosen mit Mykorrhiza eingehen, sind deshalb auch häufig widerstandsfähiger gegen Schädlinge und Krankheiten. Dünger mit Mykorrhiza-Zusätzen eignen sich besonders für langlebige Pflanzen z.B. Bäume.

Quellenverzeichnis

Delventhal, R., Spees, N., Kellerer, T., Stromeck-Faderl, A., Röder, T., Schmitt, A., Kortekamp, A., Steiner, U., Thieron, M., Schaffrath, U., 2014: Poster, Pflanzenschutz im ökologischen Landbau. 59. Deutsche Pflanzenschutztagung „Forschen – Wissen – Pflanzen schützen: Ernährung sichern!“ in Freiburg. <https://core.ac.uk/download/pdf/235687812.pdf>, abgerufen am 11.11.2024.

Fischer, P. 2000: N-Freisetzung verschiedener organischer N-Dünger in Mineralböden. SÖL-Berater-Rundbrief (4), S. 3-7.

Grunert, M., 2019: Tabelle 19: Nährstoffgehalte organischer Dünger aus ökologischem Landbau. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Freistaat Sachsen. Abteilung Landwirtschaft/Pflanzenbau. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Tab_19_Nahrstgeh_organ_Duenger_oeko_20191125.pdf, abgerufen am 10.10.2024.

Laber, H., 2003: N-Freisetzung aus organischen Handeldüngern – Übersicht und eigene Versuchsergebnisse im ökologischen Gemüsebau. <https://orgprints.org/id/eprint/2041/1/2041-laber-2003-statusseminar-17-20.pdf> abgerufen am 10.10.2024.

Mack, C., 2012: Biologischer Düngemittelversuch an Salat. Das Land Steiermark. https://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/10555164_15998102/0743badb/2012-01%20Biologischer%20D%C3%BCngemittelversuch%20an%20Salat.pdf, abgerufen am 10.10.2024.

Rebschutz- und Weinbauinformationsdienst Pfalz. Sondermitteilung. 2021: Ausbringung und Lagerung von Trester (Düngeverordnung 2020 und Landesdüngeverordnung 2021). Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinpfalz. [https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/SE/0851DD5935C8E864C12587F7003E3F06/\\$FILE/Sondermitteilung_Weinbau_TRESTER_01.09.2021.pdf](https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/SE/0851DD5935C8E864C12587F7003E3F06/$FILE/Sondermitteilung_Weinbau_TRESTER_01.09.2021.pdf), abgerufen am 11.11.2024.

Koch, R.; Degen, B.; Lohr, Dieter; Meinken, Elke; Emmel, Michael (2017): Organische Dünger auf dem Prüfstand: Stickstoff-Freisetzung. Gärtnerbörse 117 (1), 48-51. <https://www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2017/april-2017/organische-duengung.html> abgerufen am 10.10.2020.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Öffentlichkeitsarbeit, 2002: Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 6 – 7. Jahrgang 2002. Dresden: Sächsischen Digitaldruck Zentrum GmbH Dresden.

Sradnick, A., Feller, C., Fink, M., 2017: Nährstoffgehalte und N-Mineralisierung organischer Düngemittel. IGZ Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren. N-Expert- Düngungsberatung und Nährstoffbilanzen für den Freilandgemüsebau. https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Organische_Duenger_Naehrstoffgehalte_N_Mineralisierung.pdf, abgerufen am 23.10.2024

Staatliches Weinbauinstitut Freiburg. Information, 2019: Was ist im Herbst /Winter 2019/20 bei der Aufbringung und Lagerung von Traubentrester zu beachten? Baden-Württemberg, WBI, LVWO, RP Freiburg. file:///C:/Users/k.hissek/Downloads/Traubentrester_Info_2019_f%C3%BCr_Baden-W%C3%BCrttemberg.pdf, abgerufen am 11.11.2024

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2009: Merkblatt. Einsatz von Fleischknochenmehl, Knochenmehl und Fleischmehl als Düngemittel im Pflanzenbau. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Fortsten, Umwelt und Naturschutz. Freistaat Thüringen. Jena. Abteilung Pflanzenproduktion und Agrarökologie. Abteilung Untersuchungswesen.

https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00027534/Fleischknochenmehl.pdf, abgerufen am 04.10.2024.

https://agrarzone.at/27223/leimueller-rapseextraktionsschrot-25-kg?dilcg=EA1aIQobChMI2dLDgNfbIQMVXaFoCR1OKhpDEAQYASABEgKbxfDBwE&gad_source=1&gclid=EA1aIQobChMI2dLDgNfbIQMVXaFoCR1OKhpDEAQYASABEgKbxfDBwE, abgerufen am 25.10.2024.

<https://agrimand.com/produkte/duenger/benesol-federmehl-bigbags>, abgerufen am 17.10.2024

<https://aktuell.uni-bielefeld.de/2022/06/24/wie-algen-aus-abwaessern-zu-duenger-werden/#:~:text=Nach%20und%20nach%20w%C3%A4chst%20in,daher%20zentrale%20Bestandteile%20von%20D%C3%BCnger.>, abgerufen am 19.11.2024.

https://at.all.biz/maisglutenmehl-futtermittel-mit-hohem-g23028DE#google_vignette, abgerufen am 29.10.2024.

https://www.betriebsmittelbewertung.at/wp-content/uploads/2024/02/Kriterien-fuer-Duenger-und-Substrate-bei-biologisch-gaertnern_Februar-2024-1.pdf, abgerufen am 23.10.2024.

<https://bio-gartenwelt.de/shop/braunalgen-kelp/>, abgerufen am 19.11.2024.

https://boni-shop.at/25-kg-Provita-Schafwoll-Pellets-117-54-fuer-ca250m?gad_source=1&gclid=EA1aIQobChMI27K4gvzaiQMV4Z2DBx1-Gg4iEAQYASABEgKgkfDBwE, abgerufen am 17.10.2024.

<https://edfa.eu/de/umwelt-recycling/>, abgerufen am 18.10.2024

<https://em-sued.de/anwendungsgebiete/garten/herstellung-ema/zuckerrohrmelasse-5-liter>, abgerufen am 28.10.2024.

https://flexikon.doccheck.com/de/Aspergillus_niger, abgerufen am 14.11.2024.

<https://foodcom.pl/de/maisglutenmehl-ein-produkt-das-mehr-aufmerksamkeit-verdient-als-esbekommt/>, abgerufen am 29.10.2024.

<https://grundstoff-shop.de/products/soyakuchen#:~:text=Sojakuchen%20ist%20ein%20hochwertiger%20organischer,unterst%C3%BCtzt%20Kompostw%C3%BCrmer%20bei%20der%20Vermehrung>, abgerufen am 25.10.2024.

<https://www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2017/april-2017/organische-duengung.html>, abgerufen am 21.10.2020.

<https://humusbewegung.at/product/kiserit-mg-s/>, abgerufen am 08.11.2024.

https://shop.garten-bienen.at/pflanzen-staerken/biovin-fluessigduenger-1-l.html?srsltid=AfmBOoqX8U_6T66_erAbjP_I7f9XOBDuJd7vVM0nmSP8vN7OZ4ZhSaWr, abgerufen am 06.11.2024.

https://utopia.de/ratgeber/algenkalk-vorteile-und-anwendung-des-natuerlichen-duengemittels_127918/, abgerufen am 19.11.2024.

https://utopia.de/ratgeber/guano-duenger-besonderheiten-anwendung-und-nachteile_145642/, abgerufen am 23.10.2024

<https://wurmkiste.at/wurmgefluester/wunderduenger-wurmkompost-und-wurmtee/>, abgerufen am 12.11.2024.

<https://xn--stadtmhle-waldenbuch-uec.de/p/1460/sojaschrot-gvo-frei/>, abgerufen am 25.10.2024.

<https://www.agrarshop-online.com/beckmann-bio-schafwoll-pellets.php>, abgerufen am 17.10.2024.

<https://www.agrarshop-online.com/lupinen.php>, abgerufen am 24.10.2024.

<https://www.agrostim.de/produkte/duenger/kakaoschalen>, abgerufen am 06.11.2024.

<http://www.biofert.at/>, abgerufen am 19.11.2024.

<https://www.biokaufladen.de/ackerbohnen.htm>, abgerufen am 24.10.2024.

<https://www.boilieandmore.at/d/det/11262/zucker-melasse-5ltr.htm>, abgerufen am 19.11.2024

<https://www.bund-nrw.de/themen/braunkohle/hintergruende-und-publikationen/braunkohle-und-umwelt/>, abgerufen am 11.10.2024.

https://www.carpline24.at/Kuerbiskernmehl-25-kg-Oelkuchen-gemahlen?gad_source=1&gclid=EAIalQobChMlIe-QpdrbiQMVIK6DBx0wKQFNEAQYAiABEgJ_qPD_BwE, abgerufen am 29.10.2024.

<https://www.deutschlandfunkkultur.de/treibsel-als-natuerliche-ressource-wie-seegras-und-algen-zu-100.html>, abgerufen am 19.11.2024.

<https://www.duenger-und-erde.de/erden/kakaoschalen-duenger.html>, abgerufen am 06.11.2024.

<https://www.garten-schlueter.de/ratgeber/allgemein/hornspaene/#>, abgerufen am 14.10.2024.

https://www.grow-shop24.de/Plagron-Bat-Guano-Fledermausduenger-1kg?srsltid=AfmBOorx_zw-Tsui4ykIctT8VQQBt496bRNBQJDRfK9hcZT_p1fGiCwLTxU, abgerufen am 24.10.2024.

https://www.hauert-manna.com/produkte-ratgeber/produkte/detail/manna-bio-hornmehl-1kg?srsltid=AfmBOoomn7Hi_S02JG4L6Mo6Wrn4Xlg6X5FBArHFmCO9KjwTQlzNj2Sl, abgerufen am 16.10.2024.

https://www.heinrichs-agrar.de/duengemittel/rasenduenger/profi_duenger_organisch_25_kg_humuskorn_huehnertrockenkot_pelletiert_p:967.html, abgerufen am 23.10.2024.

https://www.idealo.at/preisvergleich/OffersOfProduct/2291226_-hornmehl-25-kg-oscorna.html?gclid=EAIalQobChMlmeC0q_naiQMVmZeDBx2Mlg8zEAQYASABEgJKrPD_BwE&utm_campaign=SEM-AT-WEB-CVR-SHOPPING-21813531092&utm_medium=cpc&utm_source=google, abgerufen am 16.10.2024

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/chemie/alles-eine-frage-des-stoffwechsels-zitronensaeure-ausschimmelpilzen/>, abgerufen am 14.11.2024.

<https://www.koenig-agrar.de/fleischknochenmehl-organischer-npduenger-715-p-824.html?osCsid=cj0p7cehd5fsiosfbch2fnuk4>, abgerufen am 17.10.2024.

<https://www.liquid-energy.ch/wp/wp-content/uploads/A-1-Mineralgehalt-Rohr-und-Ruebe.pdf>, abgerufen am 11.11.2024.

<https://www.liquid-energy.ch/wp/wp-content/uploads/A-1-Stickstoffgehalt-von-Melasse-Nitrogen-Content-of-Molasses.pdf>, abgerufen am 11.11.2024.

<https://www.lombardodier.com/de/contents/corporate-news/responsible-capital/2021/may/seabirds-the-secret-fertilisers.html#:~:text=Was%20Guano%20ist&text=Das%20feink%C3%B6rnige%20Gemenge%20stammt%20aus,Pelikanen%20und%20Guanot%C3%B6lpeln%20besiedelt%20sind>, abgerufen am 23.10.2024.

<https://www.mein-schoener-garten.de/themen/hornmehl>, abgerufen am 14.10.2024.

<https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/landwirtschaft/umweltschutz/23828.html#:~:text=Von%20den%20weltweit%20abgebauten%20190,fc%20Futtermittel%20in%20die%20H%C3%B6he>, abgerufen am 20.11.2024.

<https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/moore-und-klimawandel/23375.html>, abgerufen am 11.10.2024.

<https://www.natsource.fr/de/rohstoffe/zuckerrohrmelasse/>, abgerufen am 28.11.2024.

<https://www.paligo.com/ratgeber/regenwurmhumus-als-allzweckwaffe/?srsltid=AfmBOoqSlbaDKdd1yPN0IHVFbb3PBNu9tTZMx-gKWLSWAIK49mlOnE4d>, abgerufen am 13.11.2024.

<https://www.plantura.garden/gartenpraxis/duenger/guano-duenger>, abgerufen am 23.10.2024.

<https://www.plantura.garden/gartenpraxis/duenger/hornmehl>, abgerufen am 14.10.2024.

<https://www.plantura.garden/gartenpraxis/duenger/hornspaene>, abgerufen am 16.10.2024

<https://www.plantura.garden/gartenpraxis/duenger/mykorrhiza-duenger>, abgerufen am 13.11.2024.

https://www.raiffeisen.com/pflanzen/ackermanager/duengung_nahrstoffe_wirtschaftsd.html, abgerufen am 17.10.2024.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071721000626#:~:text=Aspergillus%20niger%20and%20organic%20acids,from%20a%20highly%20weathered%20Oxisol>

<https://www.srf.ch/sendungen/kassensturz-espresso/umwelt-und-verkehr-schaedlicher-phosphat-abbau-arbeiterleiden-fuer-unseren-duenger>, abgerufen am 20.11.2024.

<https://www.swardman.com/de/biovin-traubentrester/?srsltid=AfmBOorEdBBjYDZft0f2AKrYAk5f95NfgtYPrxQ4mhV03050NcxVRwy>, abgerufen am 06.11.2024.

<https://www.vermigrand.eu/regenwurmhumus/regenwurmhumus-15-l-sack-3-mm-siebung.html>, abgerufen am 12.11.2024.

<https://www.wochenblatt-dlv.de/dorf-familie/garten-gesundheit/so-nutzt-man-huehnermist-gartenduenger-568598#:~:text=Wie%20wann%20und%20bei%20welchen%20Kulturen%20bringt%20man%20H%C3%B6Chnermist%20aus%3F&text=Optimal%20eignet%20sich%20Gefl%C3%BCgelmist%20f%C3%BCr,aus%20f%C3%BCr%20Rosen%20und%20Prachtstauden>, abgerufen am 23.10.2024.

<https://www.wwf.de/themen-projekte/landwirtschaft/produkte-aus-der-landwirtschaft/kakao>, abgerufen am 19.11.2024

<https://www.xn--ostseemhle-geb.de/kuerbiskern-presskuchen>, abgerufen am 14.11.2024.

3. Arbeitspaket 3: Bestimmung der Atmungsaktivität AT₄ von unterschiedlichen Komposten, Prüfung der NIRS-Anwendung zur Vorhersage von AT₄ und Evaluierung der Kompostreife-Modelle

3.1 Einleitung

Zur Bewertung der Stabilität und Reife von Komposten wurde der Sauerstoffverbrauch von Kompostproben unterschiedlicher Herkünfte und Reifegrade anhand der Atmungsaktivität AT₄ nach ÖNORM S2027-4 und der OUR nach EN 16087-1 gemessen. Zum bestehenden Datenpool wurden somit weitere Werte zur Evaluierung der Methoden hinzugefügt. Weiters wurden alle Proben mit NIRS (Nah-Infrarot Spektrometrie) gemessen, um die Modellierbarkeit des Sauerstoffverbrauchs nach AT₄ weiter zu prüfen und bestehende Modelle zur Reifebestimmung weiterzuentwickeln.

3.2 Sauerstoffverbrauch - AT₄ und OUR

3.2.1 Material und Methoden

Zur Charakterisierung von Kompostproben wurden insgesamt 59 Proben unterschiedlicher Herkünfte analysiert, davon 21 von 7 regionalen Kompostproduzenten und 38 von der MA48. In Tabelle 8 auf Seite 32 und 35 ist eine Übersicht der Kompostproben und der gesamten Analyseparameter zu sehen. Eine Reihung der Kompostproben wurde je Herkunft nach Rottedauer und Sauerstoffverbrauch-AT₄-Wert vorgenommen. Die regionalen Kompostwerke wurden gebeten, Komposte mit unterschiedlicher Rottedauer zu schicken (im Rotteprozess befindliche und „reife“ Komposte), um den Datenpool zu erweitern. Die MA48 Komposte stammen einerseits von Zeilenmieten der Routinebeprobung und von längerrottenden Mieten bzw. von Haufenmieten für die Gute Grund Produktion.

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. Als Richtwert wird ein Wert von < 23 mmol O₂/kg OM/h für stabile Proben herangezogen.
- 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 von < 7 mg O₂/g TM für stabile Komposte wird aktuell in der Bearbeitung der neuen Kompostverordnung vorgeschlagen.

Für die Messung des Sauerstoffverbrauchs der Komposte wurde die OxiTop® Technologie für beide Parameter (AT₄, OUR) verwendet.

3.2.2 Ergebnisse

Die AT₄- und OUR-Werte der untersuchten Kompostproben aller Herkünfte sind in Abbildung 20 dargestellt, die Parameter korrelieren mit $r = 0,85$. Nach aktuellem Stand der Diskussion sind beide Parameter für die Reifebeurteilung einsetzbar.

Ein Fazit, das vom Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft bei der DepoTech 2024 zum Vergleich von AT₄ und OUR präsentiert wurde, lautete (https://www.recydepotech.at/media/31_Binner.pdf):

- AT₄ und OUR sind geeignet für die Beurteilung der Kompoststabilität
- OUR₃₀ erscheint für die Beurteilung von Rottegut weniger gut geeignet
- beide Methoden erfordern unterschiedliche Grenzwerte:
AT₄ = 7 mg O₂/g TM (= Grenzwertvorschlag der KoVO 2024)
entspricht einer OUR = 17 bis 23 mmol O₂/kg oTM
- eine gesicherte Korrelation ist bis dato nur für stabile Komposte (AT₄ < 5 mg O₂/g TM) belegt
- bei OUR ist die Versuchstemperatur anzugeben (20 °C bzw. 30 °C)
- für unterschiedliche Anwendungen erscheinen unterschiedliche Grenzwerte sinnvoll

3.2.3 Fazit

- AT₄ und OUR können für die Beurteilung der Reife von Komposten verwendet werden und von BFA gemessen werden.
- Für die Produktion reiferer Komposte ist eine Rottedauer von mindestens 8 Wochen vorzuschlagen.

Tabelle 8. Analyseparameter zur Charakterisierung von 59 Kompostproben, Herkunft MA48 (ZM und GG, n=38) und regionale Kompostproduzenten A-G (n=21).

Nr.	WG	Feucht-dichte	pH (Wasser)	pH (CaCl ₂)	Salzgehalt	Leitfähigkeit (frische Probe)	Leitfähigkeit (getrocknete Probe 45°C)	Humus zahl	AT4 nach Önorm S 2027-4	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
	%	kg/l FS			g/l	mS/cm	mS/cm		[mg O ₂ /gTM]	[mmol O ₂ /kg OM/h* ₁]	mg/l	mg/kg TS	mg/kg TS	%	
1	64,5	0,72	7,4	6,3	0,6	0,16	0,77	4	3,2	4,2	539	0,0	76	100	7
2	39,4	0,75	8,8	8,2	5,7	1,45	2,49	18	1,5	10,7	769	200	62	24	6
3	39,3	0,80	8,8	8,2	6,0	1,43	2,54	15	1,8	10,9	659	4,0	17	81	6
4	36,7	0,85	8,8	8,2	6,2	1,39	2,29	13	1,4	9,5	598	3,0	316	99	6
5	43,9	0,73	8,1	7,5	5,2	1,33	2,46	14	1,6	9,8	616	4,1	550	99	7
6	35,0	0,71	8,8	8,3	10,9	2,91	1,94	37	5,6	17,6	1183	1165	0	0	4
7	34,5	0,66	8,5	8,0	5,9	1,69	3,85	20	12,6	23,7	1317	2791	0	0	4
8	29,9	0,94	8,8	7,9	4,8	0,98	1,57	7	0,8	4,6	398	2,2	70	97	7
9	45,6	0,80	8,8	8,1	2,7	0,63	1,22	6	1,5	10,7	440	3,0	22	88	6
10	49,0	0,74	8,7	7,9	6,2	1,58	3,05	12	2,0	11,4	605	5,4	142	96	6
11	33,5	0,75	7,9	7,4	13,8	3,47	5,40	9	1,2	7,6	766	321,8	1847	85	6
12	42,0	0,48	8,3	7,8	6,1	2,38	3,62	48	58,6	78,6	2451	2049	0	0	2
13	46,3	0,68	8,6	7,7	5,3	1,48	3,27	35	4,8	10,6	936	10,1	115	92	5
14	43,7	0,78	9,0	7,9	4,6	1,12	1,90	8	1,3	12,1	612	0,0	94	100	6
15	35,1	0,79	8,5	7,5	5,6	1,34	2,37	6	1,0	10,7	499	0,0	584	100	6
16	39,0	0,57	8,5	8,0	7,8	2,60	3,86	56	14,0	43,3	1675	897	0	0	4
17	31,2	0,66	8,5	7,8	6,3	1,79	2,62	45	4,1	15,1	1078	639	0	0	7
18	42,1	0,63	8,3	7,8	8,8	2,68	4,34	44	14,1	31,8	1645	813	0	0	3
19	43,6	0,66	8,6	8,1	8,8	2,53	3,87	59	10,4	33,1	1642	1024	0	0	5
20	33,5	0,78	8,7	8,1	11,1	2,73	4,11	67	1,4	9,5	1281	244	49	17	6
21	34,6	0,73	8,5	7,9	2,9	0,74	1,19	11	1,1	12,1	662	20	0	0	7
22	40,9	0,37	7,9	7,1	1,8	0,92	1,80	20	11,3	32,6	1161	164,8	0	0	7
23	40,5	0,36	7,5	6,9	1,8	0,94	1,92	23	15,5	34,9	1505	329,5	0	0	4
24	37,1	0,39	8,0	7,3	1,8	0,89	1,87	29	12,4	26,0	1229	79,3	0	0	6
25	43,6	0,45	8,1	7,7	1,9	0,79	1,51	12	#NV	24,1	826	36,5	0	0	6
26	43,1	0,56	8,3	7,7	3,6	1,21	2,22	23	8,1	20,1	1161	119	0	0	5
27	35,3	0,41	7,8	7,1	1,8	0,83	1,63	26	13,3	26,5	996	150,2	0	0	4
28	39,6	0,44	7,8	7,2	1,8	0,77	1,53	29	11,6	24,1	1177	25,1	0	0	7
29	39,9	0,49	8,2	7,6	2,1	0,79	1,66	22	9,6	23,9	952	272,6	0	0	6
30	49,7	0,55	8,6	8,0	3,0	1,02	1,88	13	11,7	19,9	892	84,2	0	0	5

Tabelle 8 weiter: Analyseparameter zur Charakterisierung von 59 Kompostproben, Herkunft MA48 (ZM und GG, n=38) und regionale Kompostproduzenten A-G (n=21).

Nr.	WG	Feucht-dichte	pH (Wasser)	pH (CaCl ₂)	Salzgehalt	Leitfähigkeit (frische Probe)	Leitfähigkeit (getrocknete Probe 45°C)	Humus zahl	AT4 nach Önorm S 2027-4	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
	%	kg/l FS			g/l	mS/cm	mS/cm		[mg O ₂ /gTM]	[mmol O ₂ /kg OM/h*1]	mg/l	mg/kg TS	mg/kg TS	%	
31	39,4	0,42	7,6	7,1	2,0	0,90	1,70	19	11,4	6,7	1246	264,0	0	0	7
32	40,5	0,60	8,4	7,8	4,5	1,41	2,48	24	8,1	15,9	1106	454	0	0	5
33	39,9	0,58	8,2	7,5	4,1	1,35	2,25	19	5,3	21,1	1102	73	0	0	5
34	36,0	0,41	8,2	7,5	1,7	0,79	1,71	34	8,1	19,8	1030	22,8	0	0	7
35	38,9	0,61	8,7	8,0	3,2	0,98	1,60	13	3,8	20,3	779	357,4	0	0	6
36	50,2	0,47	8,6	8,0	2,3	0,93	1,77	18	7,8	25,8	1264	36,0	0	0	6
37	44,8	0,52	8,3	7,8	3,2	1,15	2,04	16	#NV	25,3	1065	63,7	0	0	4
38	45,7	0,48	8,6	8,0	2,6	1,01	1,93	12	#NV	25,2	957	18,8	0	0	5
39	25,2	0,42	7,9	7,2	3,4	1,58	2,28	22	7,0	30,3	1563	102	0	0	8
40	18,6	0,37	8,0	7,4	2,6	1,29	1,95	17	10,2	25,8	1557	153	0	0	8
41	46,2	0,58	8,7	8,0	2,8	0,95	1,89	15	5,7	18,0	1013	105,3	0	0	7
42	40,2	0,60	8,9	8,0	4,4	1,39	2,18	24	4,3	23,5	1015	675	0	0	5
43	37,1	0,60	8,7	8,1	3,5	1,10	1,70	15	7,1	18,7	930	527,9	0	0	6
44	46,1	0,50	8,7	8,1	3,1	1,18	2,23	14	6,8	14,6	1032	26,5	0	0	6
45	33,5	0,44	8,4	7,6	4,0	1,72	2,70	29	8,8	18,1	1617	370	0	0	7
46	42,8	0,61	8,8	8,0	3,6	1,11	2,08	14	5,0	13,2	1049	65,5	0	0	7
47	25,7	0,46	8,4	7,7	4,5	1,87	2,65	25	7,0	21,6	1623	670	0	0	8
48	32,4	0,67	9,0	8,0	3,6	1,04	1,55	13	1,5	15,0	771	275	22	8	7
49	40,3	0,53	8,7	8,0	3,3	1,19	2,05	15	#NV	20,5	1008	86,2	0	0	6
50	33,6	0,67	9,0	8,0	4,0	1,13	1,72	19	1,4	11,9	894	420	0	0	7
51	46,6	0,62	8,8	8,0	4,1	1,29	2,32	16	#NV	21,6	920	402,2	0	0	5
52	21,4	0,50	8,4	7,6	3,8	1,46	2,01	15	5,2	14,5	1298	465	0	0	8
53	29,1	0,42	8,4	7,8	3,8	1,68	2,35	30	12,2	20,4	1428	344,0	0	0	6
54	51,0	0,57	8,5	7,9	3,3	1,07	2,21	6	3,7	10,6	1035	20,5	349	94	7
55	54,2	0,67	8,8	8,0	3,2	0,92	2,09	7	1,1	11,3	904	0,0	222	100	7
56	42,4	0,62	8,2	7,7	4,0	1,26	2,32	12	1,9	11,3	1007	19,6	516	96	6
57	20,1	0,44	8,3	7,6	1,6	0,68	1,18	13	2,3	13,5	1040	7,8	23	75	7
58	42,4	0,67	8,4	7,5	3,8	1,09	1,98	10	2,3	7,2	813	60,8	245	80	7
59	48,2	0,69	8,3	7,7	3,4	0,95	2,14	7	2,0	7,8	800	5,9	601	99	7

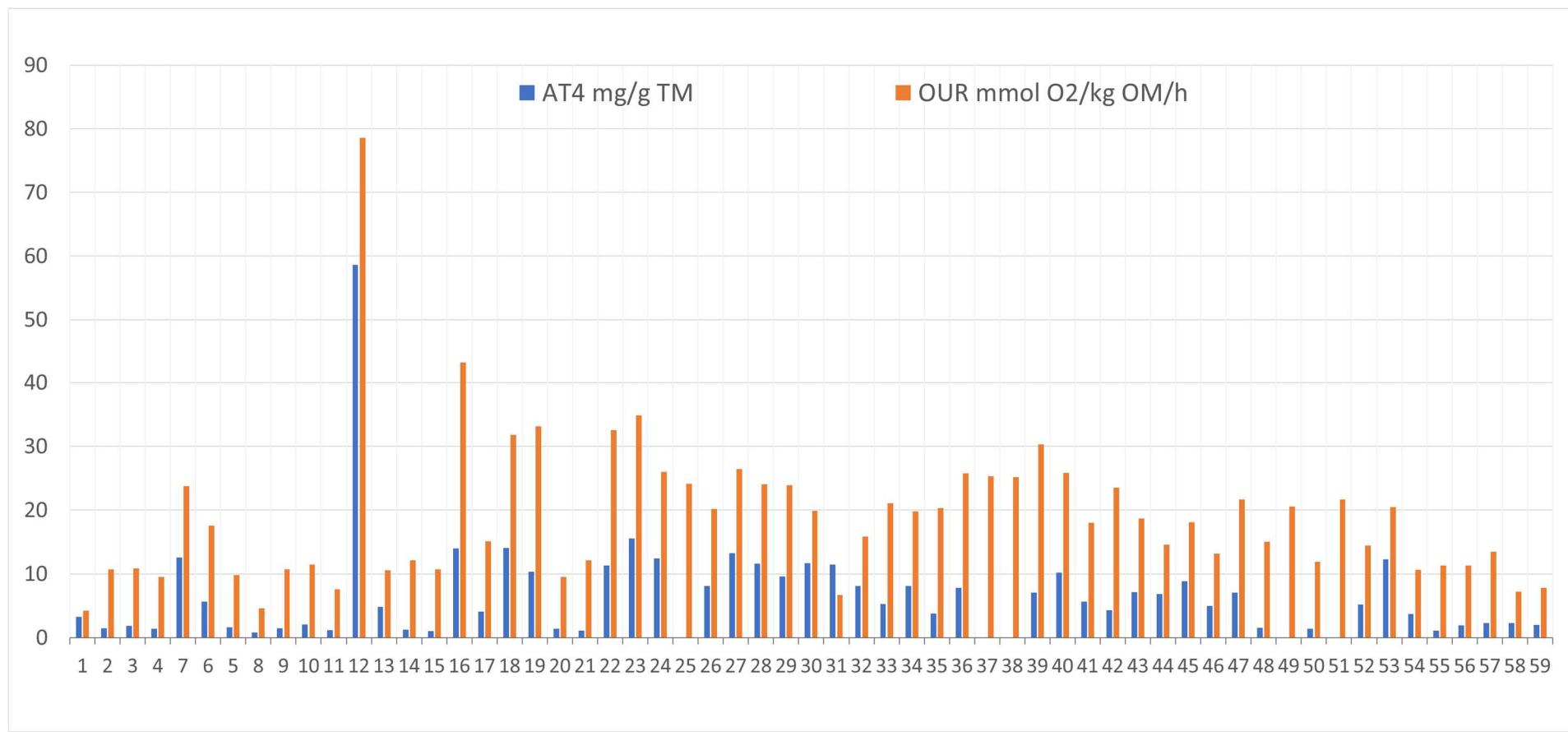


Abbildung 20. AT4- und OUR-Werte von Kompostproben (n=59) unterschiedlicher Herkünfte.

3.3 Prüfung der NIRS-Anwendung zur AT₄ Bestimmung

Eine erste Modellierung von Spektraldaten wurde im vorigen Berichtsjahr mit 24 Kompostproben durchgeführt, um die Anwendbarkeit des Parameters zu prüfen. Eine hohe Korrelation war gegeben, sodass eine weitere Prüfung als sinnvoll erachtet wurde. Der Datensatz wurde erweitert und umfasst nun insgesamt 79 Proben.

3.3.1 AT₄ -Modellierung

Methode

Zur Erstellung von Kalibriermodellen wurden die AT₄ Referenzdaten (physikalisch-chemischen Analyseergebnisse) 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 wurden die Werte der Kreuzvalidierung verwendet.

AT₄ -Modell [mg O₂ / g TM]

Insgesamt wurden 79 Proben gemessen und verrechnet. Die statistische Analyse des aktuellen Datensatzes zeigt, dass eine Normalverteilung nicht gegeben ist und dass der Zusammenhang von Referenzdaten und Spektraldaten als Linie aber auch als Kurve interpretiert werden kann (Abbildung 21). Der Großteil der Proben (n=55) weist Werte unter 10 mg/g TM auf. Für die Modellierung wurden die Proben mit hohen AT₄-Werten (n=3) weggelassen und die Daten log-transformiert. Abbildung 22 zeigt das vorläufige Modell, das eine hohe Korrelation aufweist mit einem $r=0,94$ in der Kalibration und einem $r=0,91$ in der Validierung, jedoch mit einer nach wie vor zu geringen Probenzahl (n=76) für ein stabiles Modell. In Tabelle 9 sind die Vorhersageparameter zur Bewertung des Modells angegeben mit durchwegs guten Werten. Für eine Bewertung des Parameters AT₄ zur NIRS-Anwendung ist es erforderlich, weitere Proben zu analysieren und zu messen, um den Datenpool zu erweitern.

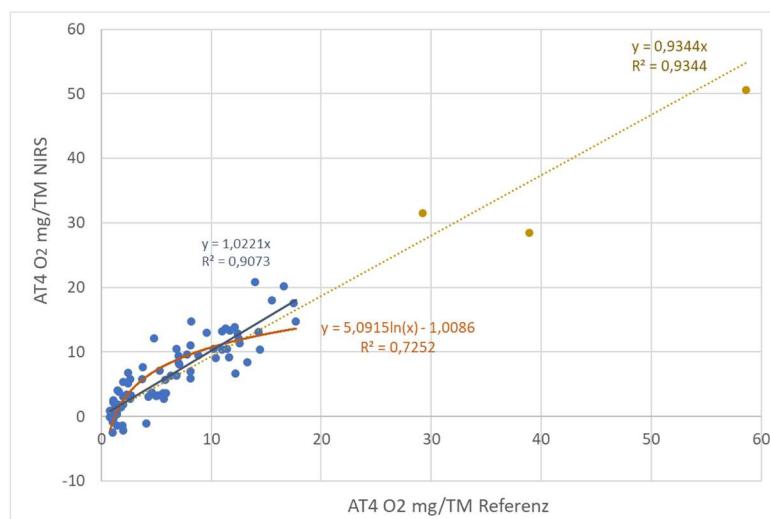


Abbildung 21. AT₄ - Vergleich von Referenzdaten (x-Achse) und NIRS-Kalibrierdaten (y-Achse); unterschiedliche Trendlinien (linear, kurvig) zeigen den Zusammenhang der Werte bei unterschiedlicher Probenzahl n, orange und schwarz n=76, linear- gelbgrün n=79.

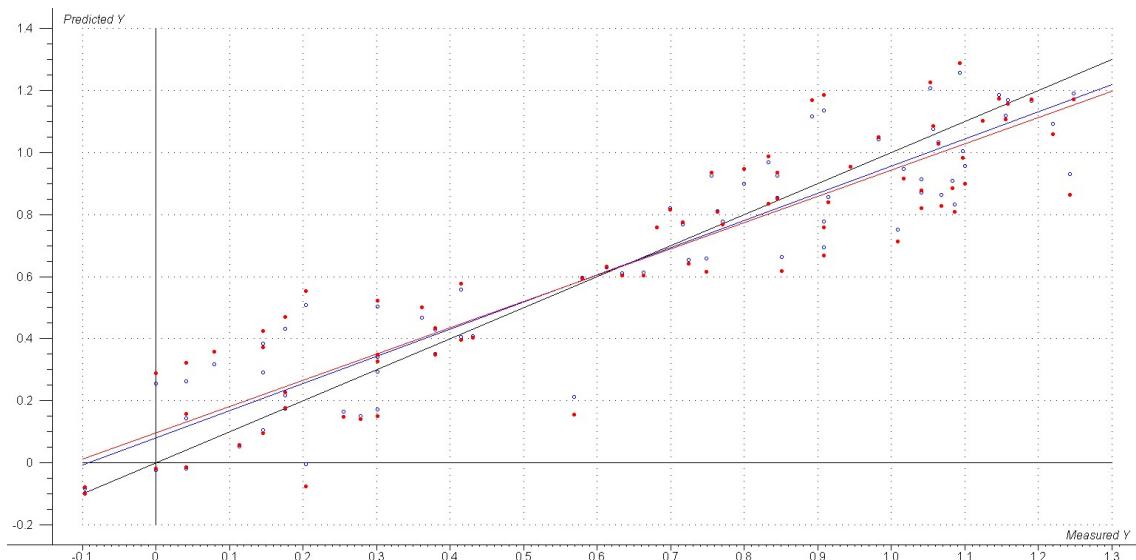


Abbildung 22. AT₄-vorläufiges Modell (n=78), Werte log-transformiert, n=76, x-Achse= Referenzwert, y-Achse= NIR-Vorhersagewert, Regressionslinie blau r-Calibration=0,94, Regressionslinie rot r-Validation=0,91, Ideallinie schwarz r=1.

Tabelle 9. Vorhersageparameter AT₄, Anzahl Proben n, Korrelationskoeffizient der Kalibrierung r-Cal und der Validierung r-Val, der durchschnittliche Fehler der Vorhersage RMSEP, Anzahl der benötigten Hauptkomponenten PC, Anteil der erklärten spektralen Information Y expl. % und der Messbereich der Parameter (hier rücktransformiert angegeben).

	AT ₄
n	76
r-Cal	0,94
r-Val	0,91
RMSEP	1,48
PC	5
Y expl %	83
Messbereich	0,8 bis 17,8 mg/TM

3.4 Evaluierung der Kompostreifemodelle

Für die Bestimmung der Reife mithilfe der NIRS wurden jene Parameter herangezogen, die eine Auskunft über die Reife geben können und gleichzeitig eine ausreichend hohe Korrelation mit NIR-Spektren aufweisen. Dies erfüllen die Parameter „Reifepunkte“, organische Substanz und Sauerstoffverbrauch, die in der Zusammenschauberechnung eine Einschätzung der Reife ermöglichen sollen. Als Grundlage dient ein bestehender Proben- und Datensatz von mehr als 460 Kompostproben, die über mehrere Jahre akquiriert und analysiert wurden. Die Qualität der Vorhersage wird einerseits durch Vorhersageparameter der Modellierung angegeben, andererseits wurden zur Prüfung der Modelle Testproben ausgewählt und mit den NIR-Modellen vorhergesagt.

3.5 Schussfolgerungen

- Eine Erweiterung des spektralen Kompostdatensatzes erfolgt durch 59 Proben, die bestehenden Modelle zu *Reifepunkte* und $O_{2(OUR)}$ wurden aktualisiert. Der Parameter *Reifepunkte* wurde weiter überarbeitet, sodass eine Verbesserung der NIR-Vorhersage zur Unterscheidung in „reife“ und „nicht reife“ Komposte erreicht wurde. Ein zusätzliches Modell mit dem Parameter *Organische Substanz* wurde erstellt.
- Eine Evaluierung aller Modelle zeigt, dass die Parameter für eine kombinierte Anwendung zur Einschätzung der Kompostreife verwendet werden können. Eine Bedingung ist, dass die spektralen Eigenschaften der zu messenden unbekannten Proben und der Modellproben ähnlich sind.
- Für die Prüfung des Parameter AT₄ zur NIRS-Anwendung wurden weitere Proben in das Modell eingebracht. Es zeigt sich weiterhin eine gute Korrelation von Spektraldaten und Referenzdaten. Für eine Bewertung ist es jedoch erforderlich, weitere Proben zu analysieren und zu messen, um den Datenpool zu erweitern.

4. Arbeitspaket 4 – Recherche und Wissensaustausch zu aktuellen Themen und Forschungsfragestellungen

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes fand ein Wissensaustausch zu folgenden Themen statt:

1. Kommentare und Anmerkungen zu Stellungnahme zum Begutachtungsentwurf über Qualitätsanforderungen an Komposte und Komposterden aus Abfällen (Kompostverordnung 2024)
2. Kommentare und Anmerkungen zu Entwurf zur Stellungnahme ÖWAV-Regelblatt 518: Anforderungen an den Betrieb von Kompost- und Komposterdenanlagen, 2., vollständig überarbeitete Auflage

5. Arbeitspaket 5 - Demonstrationsversuch Rautenweg

5.1 Einleitung

Auf den Versuchsfeldern des Demonstrationsversuches Rautenweg werden landwirtschaftliche Produkte produziert, die bei der Öffentlichkeitsarbeit der MA48 zum Einsatz gelangen. Ebenfalls wird seit 2014 unter Praxisbedingungen die Auswirkung der Kompostanwendung auf den Humusgehalt untersucht. 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.

Um Aussagen über die Entwicklung und Tendenzen des Humusgehaltes treffen zu können, muss dieser über einen großen Zeitraum gemessen werden. Grund hierfür ist, dass die erzielbare Zunahme des Humusgehaltes durch Fruchtfolge und organische Düngung im Vergleich zur Gesamtmenge sehr gering ist und durch unvermeidliche Schwankungen durch die Probenahme, Kultur und Jahreszeit überlagert werden. Neben der Humuswirkung wurde ab dem Jahr 2023 nach der erneuten Aufbringung von Kompost auch die Stickstoffdüngewirkung betrachtet. Dies erfolgte durch Bestimmung des N-Gehaltes in der Biomasse und Nmin-Beprobungen des Bodens.

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Betreuung der Versuchsfelder, die Fortsetzung der Bestimmung des Humusgehaltes im Boden und Ermittlung der Stickstoffdüngewirkung des Komastes im Vergleich zu den ungedüngten Teilflächen im Jahr 2024 sowie eine Zusammenfassung der aufgenommenen Untersuchungsergebnisse seit dem Jahr 2014.

5.2 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 Gst.Nr. 546) ausgewählt. Jede Fläche wurde in zwei Teile (Nord und Süd) geteilt und jeweils auf der Teilfläche Süd Kompost in unterschiedlichen Abständen aufgebracht. Auf Gst.Nr. 546 fand eine Kompostdüngung im Jahr 2014 sowie im Jahr 2022 statt. Auf den Flächen Gst.Nr. 537 und Gst.Nr. 542 im fünfjährigen Rhythmus 2012, 2017 und 2022. Die Versuchsflächen dienen zudem dem Anbau von Kürbis, welcher an die BesucherInnen des Mistfestes verkauft wird.

Zur Untersuchung der Parameter Humusgehalt, Gesamtstickstoffgehalt und N_{min}-Gehalt im Boden sowie die Bestimmung des Ertrages und des Gesamtsickstoffes bzw. Proteingehaltes der angebauten Begrünung und Hauptkulturen Kürbis und Winterweizen wurden Boden- und Biomasseproben jeweils auf der Teilfläche Süd (mit Kompostdüngung) und Nord (ohne Kompostdüngung) der drei Grundstücke gezogen.

Die Bodenprobenahmen erfolgten mittels Pürckhauer-Bohrstock auf repräsentativen Flächen der Grundstücke, getrennt nach den Tiefenstufen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm am 06.03.2024, 01.07.2024, 06.09.2024 und am 03.12.2024.

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.

Zur Bestimmung des Humusgehaltes wurden die Bodenproben des Probenahme-Termins am 06.03.2024 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).

Die Biomasse Beprobungen fanden im Projektzeitraum von der verbliebenen Begrünungsbiomasse am 06.03.2024, vom Winterweizen am 01.07.2024 und vom Kürbis am 06.09.2024 statt.

Die Beprobung der oberirdische Begrünungsbiomasse erfolgte auf Grundstück Nr. 542 auf jeder Teilfläche durch bodennahes Abschneiden der Biomasse auf 1 m² in 3 Wiederholungen. Vom Winterweizen wurde auf Grundstück 546 und 537 händisch jeweils ¼ m² in 3 Wiederholungen geerntet. Anschließend wurden Stroh und Ähren getrennt, gedroschen und der Ertrag bestimmt. Zur Bestimmung des Kürbisertrages auf Grundstück 542 auf der Teilfläche mit und ohne Kompostgabe wurde jeweils Anzahl und Gewicht der Früchte auf 6 Ernteflächen a 3 x 5 m bestimmt. Für den Stickstoffentzug wurden je Variante 3 Kürbisse geerntet.

Die Begrünungsbiomasse, Kürbisse sowie Stroh und Korn des Weizens wurden nach der Ernte und Aufarbeitung im Labor bei 85°C getrocknet und vermahlen und der Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalt mittels Elementaranalyse bestimmt.

Die N-Mineralisierung des Kompostes wurde, 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 und Weizen 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.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Überblick Fruchfolge

Tabelle 10 zeigt den Fruchfolgeplan am Demonstrationsversuch Rautenweg von 2010 bis Herbst 2025.

Tabelle 10: Fruchfolgeplan der 3 Grundstücke von 2010 bis Sommer 2025

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-Erbsen-Gemenge
2014	Kompostausbringung im Frühjahr Sommerwicken-Erbsen-Gemenge	Kürbis (Hokkaido)	Kartoffel (Violetta)
2015	Kartoffel (Violetta)	Sommerwicken-Erbsen-Gemenge	Kürbis (Hokkaido)
2016	Kürbis (Hokkaido)	Kartoffel (Violetta)	Sommerwicken-Erbsen-Hafer-Gemenge
2017	Sommerwicken-Erbsen-Hafer-Gemenge	Kürbis (Hokkaido) Kompostausbringung im Herbst	Kartoffel (Violetta)
2018	Luzerne	Luzerne	Luzerne
2019	Luzerne	Luzerne	Luzerne
2020	Luzerne bis Herbst Winterroggen	Luzerne bis Herbst Winterroggen	Luzerne bis Herbst Winterroggen
2021	Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen
2022	Wintergerste abfrostende Begrünung	Wintergerste Kompostausbringung im Herbst	Wintergerste
2023	Kürbis (Hokkaido, Blue Ballet, Butternuss)	Winterroggen abfrostende Begrünung	Winterroggen abfrostende Begrünung
2024	Winterweizen Winterbegrünung	Kürbis (Hokkaido, Blue Ballet, Butternuss) Winterbegrünung	Winterweizen Winterbegrünung
2025	Mais	Mais	Kürbis (Hokkaido, Blue Ballet, Butternuss)

Bis zum Jahr 2017 wurde auf den Feldern am Rautenweg sowohl der Kürbis als auch die Kartoffeln, die zum Wiener Mistfest verkauft wurden, angebaut. Zwischen den beiden Kulturen wurde eine Sommerwicke-Erbse(-Hafer) Mischung zur Unkrautunterdrückung und Bodengesundung angebaut.

Der hohe Hackfruchtanteil in diesen Jahren, verursacht durch die enge Fruchfolge von Kürbis und Kartoffel, führte zu hohem Unkrautdruck und sinkenden Erträgen in den Kulturen. Daher waren weitere Maßnahmen, wie die Erweiterung der Fruchfolge notwendig. So wurde der Kartoffelanbau auf andere Flächen des Landwirtschaftsbetriebes der Stadt Wien (MA49) verlegt und 2018 bis in den Herbst 2020 die Gesundungsfrucht Luzerne zur Bodenverbesserung auf allen drei Grundstücken (Nr. 537, 542 und 546) angebaut. Der mehrjährige Anbau der Luzerne hatte gleich mehrere positive Effekte. Durch die ganzjährige Bodenbedeckung und die fehlende Bodenbearbeitung bestanden optimale Entwicklungsbedingungen für das Bodenleben. Die tiefe Durchwurzelung des Bodens durch die Luzerne half Nährstoffe aus tieferen Schichten zu mobilisieren und durch die Wurzelkonkurrenz Unkräuter zu beseitigen und zu unterdrücken. Mit Hilfe der Knöllchenbakterien konnte die Luzerne Luftstickstoff im Boden fixieren und dieser stand anschließend nachfolgenden Kulturen zur Verfügung.

Um den in den Boden eingebrachten Luftstickstoff auch zu nutzen, wurde nach dem Luzerneanbau im Herbst 2020 Winterroggen und im Herbst 2021 Wintergerste angebaut. Nach der Ernte der Wintergerste im Sommer 2022 wurde auf Grundstück Nr. 546 Ende August, eine abfrostende, leguminosenfreie Begrünungsmischung mit den Komponenten Senf, Ölrettich und Phacelia angebaut. Die Aufgabe der Begrünung war es, den Boden zu bedecken und die Nährstoffe über den Winter zu speichern und der Nachfrucht zur Verfügung zu stellen. Somit sollte der Kürbis im Frühjahr 2023 dann wieder optimale Nährstoffbedingungen vorfinden. Auf den Grundstücken Nr. 542 und Nr. 537 baute der Landwirtschaftsbetrieb Lobau im Oktober 2022 erneut ein Wintergetreide (Winterroggen) an.

Nach der Ernte des Winterroggens im Sommer 2023 wurde wieder zur Vorbereitung des Anbaus des Kürbis 2024 auf der Fläche 542 eine artenreiche Begrünungsmischung mit den Komponenten Abessinischer Senf, Ölrettich, Sommerwicke, Rettich Phacelia, Öllein, Ramtilkraut, Alexandriner Klee, Hafer, Sudangras, Buchweizen, Leindotter angebaut. Artenreiche Begrünungsmischungen können sich durch ihre Diversität besser an das Jahresklima anpassen und sind daher eine Art Risikoversicherung bei ungewöhnlicher Witterung. Außerdem können unterschiedliche Nährstoffpools genutzt werden, da sich die Pflanzenarten in Bedarf und Aufnahmefähigkeit von Nährstoffen unterscheiden. Auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 wurde nach der Ernte der Kürbisse im Jahr 2023 Winterweizen angebaut.

Die Analysen des mineralischen Boden-Stickstoffs in den Jahren 2023 und 2024 zeigten eine hohe Stickstoffversorgung und Umsetzaktivität des Bodens. Daher wurde für 2025 geplant, einen weiteren Starkzehrer in die Fruchfolge aufzunehmen. Für den Landwirtschaftsbetrieb Lobau (MA49) ist neben Getreide der Anbau von Mais möglich. Daher wurde, trotz des dadurch erneut erhöhten Hackfruchtanteils in der Fruchfolge, entschieden, 2025 neben dem Kürbis auf den Grundstücken 542 und 546 Mais anzubauen.

Da Mais und Kürbis erst im Frühjahr 2025 angebaut werden, ist zur Bodenbedeckung und zur Nährstoffkonservierung über den Winter der Anbau einer Winterbegrünung auf allen drei Flächen sehr wichtig. Der Anbau der Begrünung auf den Flächen Gst. 537 und 546 erfolgte Ende August 2024. Da der Sommer und Spätsommer sehr trocken waren, wurden für die Aussaat trockentolerante Komponenten für die Begrünungsmischung (Winterrübse, Phacelia, Linse, Sorghum, Sonnenblume, Ramtilkraut, Leindotter, Ölrettich, Rauhafer und Perserklee) ausgewählt. Trotz der großen Auswahl an trockentoleranten Arten keimte leider ein Großteil der Begrünungspflanzen nicht. Daher wurden nach der Ernte des Kürbisses die Begrünungskomponenten Winterroggen und Zottelwicke auf Gst. 542 in voller Saatstärke, sowie auf den Flächen Gst. 537 und 546 mit halber Saatstärke nachgebaut.

5.3.2 Kompostausbringung

Um die Wirkung von Kompost auf die Bodenverbesserung und die Düngung der Kulturen zu demonstrieren, wurde seit 2012 auf den südlichen Teilflächen der Grundstücke regelmäßig Kompost ausgebracht. Auf dem Versuchsgrundstück Nr. 546 erfolgte die Kompostausbringung 2014 (79,0 t FM/ha) und im Herbst 2022 (66 t FM/ha). Die Grundstücke 542 und 537 erhielten auf ihren südlichen Teilflächen Kompost in den Jahren 2012 (75,9 t FM/ha), 2017 (17,2 t FM/ha) und im Herbst 2022 (66 t FM/ha). Alle aufgebrachten Komposte stammten vom Kompostwerk Lobau und entsprachen der Qualitätsklasse A+.

Tabelle 11. Überblick der Kompostaufbringung auf den 3 Grundstücken, jeweils auf der Teilfläche Süd.

Grundstück	1. Kompostaufbringung		2. Kompostaufbringung		3. Kompostaufbringung	
	Zeitpunkt	Menge	Zeitpunkt	Menge	Zeitpunkt	Menge
Gst.Nr. 537	Frühjahr 2012	75,9 t /ha FM	Herbst 2017	17,2 t /ha FM	Herbst 2022	66 t /ha FM
Gst.Nr. 542	Frühjahr 2012	75,9 t /ha FM	Herbst 2017	17,2 t /ha FM	Herbst 2022	66 t /ha FM
Gst.Nr. 546	Frühjahr 2014	79,0 t/ha FM	-	-	Herbst 2022	66 t /ha FM

5.3.3 Biomasse und Erträge

Biomasse und Erträge 2024

Wie in der Fruchtfolge beschrieben, pflanzte der Landwirtschaftsbetrieb Lobau im Herbst 2023 auf den Grundstücken Nr. 546 und Nr. 537 Winterweizen der Sorte Capo an. Im Frühjahr 2024 zeigte sich auf Grundstück 546 auf beiden Teilebenen der positive Vorfruchteffekt des Kürbis deutlich. Im Vergleich zu Grundstück 537 wuchs der Weizen hier wesentlich höher und dichter. Auf der kompostgedüngten Teilebene waren sogar Anzeichen einer Überversorgung zu erkennen, da sich der Weizen bereits legte (Abbildung 24). Auf Grundstück 537 war auf der nördlichen, ungedüngten Teilebene ein lückiger und ungleichmäßiger Wuchs der Weizenpflanzen zu beobachten, vermutlich aufgrund von Bodeninhomogenitäten. Die südliche, kompostgedüngte Teilebene wies hingegen einen wesentlich homogeneren und um einige Zentimeter höheren Bestand auf. Zur Ernte Anfang Juli 2024 erzielten die Weizenflächen insgesamt einen sehr guten Ertrag. Nur auf der nördlichen, ungedüngten Teilebene von Grundstück Nr. 537 spiegelte sich der bereits im Frühjahr erkennbare schlechte Wuchs im mittleren Körnertrag von 3,7 t/ha (86% TM) wider. Auf der südlichen Teilebene sowie auf Gst. Nr. 546 konnte ein mittlerer Körnertrag von 7,2 t/ha (86% TM) erzielt werden (Tabelle 12, Abbildung 25).

Auf Grundstück Nr. 542 wurde im Herbst 2023 zur Vorbereitung für den Kürbisanbau eine Begrünungsmischung, mit den Komponenten Abessinischer Senf, Ölrettich, Sommerwicke, Rettich Phacelia, Öllein, Ramtilkraut, Alexandriner Klee, Hafer, Sudangras, Buchweizen, Leindotter angebaut. Die Reste der Biomasse, wurden am 06.03.2024 beprobt und der Stickstoffgehalt bestimmt. Die Dungewirkung des Kompostes konnte bei der verbliebenen Begrünungsbiomasse deutlich gezeigt werden. Die Teilebene mit Kompostdüngung (Süd) wies eine fast doppelt so hohe Trockenmasse auf als die Teilebene ohne Kompostdüngung (Nord) (Tabelle 13). Die Pflanzen konnten auf der kompostgedüngten Teilebene mehr Stickstoff aufnehmen und in die Biomasse einbauen. Das C/N-Verhältnis der Begrünungsbiomasse unterschied sich bei den beiden Teilebenen nur geringfügig, da es sich um dieselben Pflanzenarten handelte und zum selben Zeitpunkt angebaut und beprobt wurden.

Die Reste der Begrünungsbiomasse wurden im Frühjahr 2024 durch den Biohof Radl in den Boden eingearbeitet und der Kürbis angebaut. Angebaut wurden die Sorten Hokkaido (60 %), Butternuss (20 %) und Blue Ballett (20 %). Auf Grundstück Nr. 542 war vor allem in der Fahrspur des Traktors ein hoher Unkrautdruck gegeben, ansonsten konnte ein gutes Wachstum der Kürbispflanzen beobachtet werden (Abbildung 23). Obwohl in den vorangegangenen Jahren auf Gst. Nr. 542 immer ein niedrigerer Ertrag als auf den anderen Flächen zu beobachten war und die kompostgedüngte Teilebene immer schlechter abschnitt als die ungedüngte Teilebene, war der Gesamtkürbisertrag ähnlich wie letztes Jahr und auch die Differenz zwischen kompostgedüngter und ungedüngter Teilebene nur gering. Im Mittel konnte auf der kompostgedüngten Teilebene ein Ertrag von 1233 kg FM und auf Teilebene ohne Kompost ein Ertrag von 1298 kg FM erzielt werden (Tabelle 14, Abbildung 25).



Abbildung 23. Gst. Nr. 542 am 01.07.2024 und 06.09.2024 mit dem angebauten Kürbis in 3 verschiedenen Sorten: Hokkaido (60%), Butternuss (20%) und Blue Ballett (20%).



Abbildung 24. Gst.Nr. 546 am 01.07.2024 kurz vor der Weizernte durch den Landwirtschaftsbetrieb Lobau (MA49).

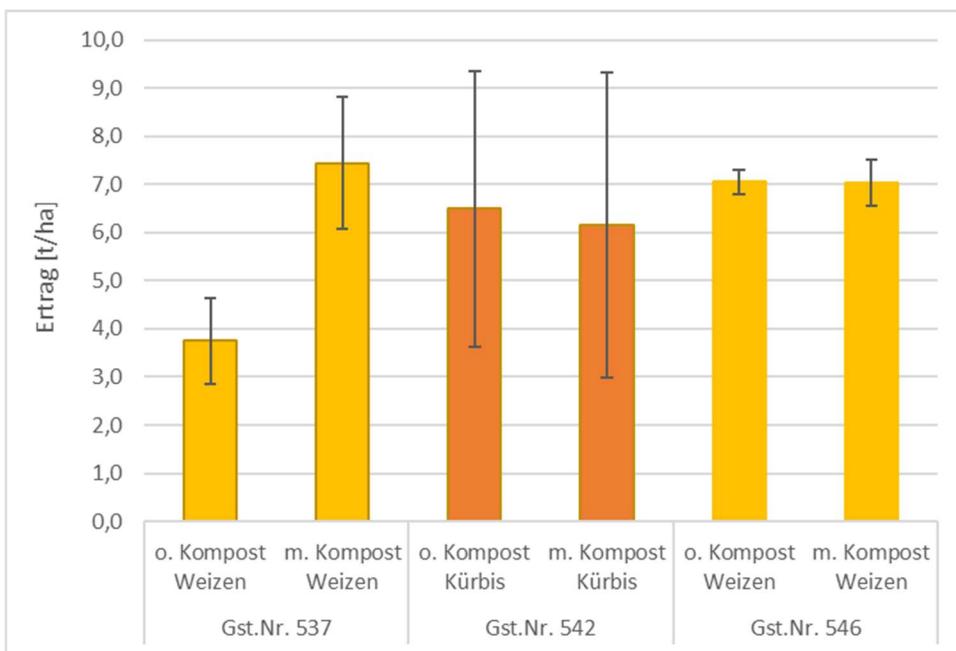


Abbildung 25. Mittelwerte und Standardabweichung des Ertrages [t/ha] von Weizen-Korn sowie Kürbis aus jeweils 3 bzw. 6 Wiederholungen je Teilfläche mit Kompostdüngung und ohne Kompostdüngung.

Tabelle 12. Mittelwerte aus jeweils 3 Wiederholungen der gesamten oberirdischen Weizen Biomasse [kg FM/ha], Anzahl der Ähren, Stroh- und Körnertrag [t/ha], Tausendkorngewicht, sowie N-Gehalt in Stroh und Korn der Grundstücke Nr. 537 und 546 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 01.07.2024.

Probenahme- datum	Gst.Nr	Teilfläche	Biomasse	Anzahl				N-Gehalt	N-Gehalt
			gesamt [t FM/ha]	Ähren pro m ²	Stroh [t TM/ha]	Korn t 86%TM/ha	TKG [g/86%TM]	Stroh [kg/ha TM]	Korn [kg/ha TM]
01.07.2024	546	Nord ohne Kompost	23,5	661	11,5	7,1	41,2	90	155
	546	Süd mit Kompost	24,8	617	13,3	7,0	40,0	124	166
	537	Nord ohne Kompost	10,5	375	4,9	3,7	35,5	26	69
	537	Süd mit Kompost	18,5	545	8,9	7,4	44,7	61	153

Tabelle 13. 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. 542 auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 06.03.2024.

Probenahme- datum	Gst.Nr	Teilfläche	FM	TM	TM	C	N	N	C/N
			[kg/ha]	[%]	[kg/ha]	[%]	[%]	[kg/ha TM]	Verhältnis
06.03.2024	542	Nord ohne Kompost	544	14,3	78	38,8	3,87	3	10,0
	542	Süd mit Kompost	1014	13,7	139	38,0	3,98	6	9,5

Tabelle 14. Mittelwerte von Kürbis Ertrag, Trockenmasse und N-Gehalt aus 6 Beprobungsflächen zu je 15 m² auf Grundstück Nr. 542 auf der Teilfläche mit Kompostausbringung und ohne Kompostausbringung am 06.09.2024

Probe- nahme- datum	Gst.Nr.	Teilfläche	Anzahl	Ertrag	Ertrag	TM	C	N	N
			[/Teilfläche]	[kg FM/ Teilfläche]	[t FM/ha]	[%]	[% TM]	[% TM]	[kgN/ha TM]
06.09.2024	542	Nord ohne Kompost	2120	1298	5,2	18,79	46,0	2,65	26
	542	Süd mit Kompost	1436	1233	4,9	17,87	46,6	2,65	23

Überblick über die Biomasse und Erträge 2014-2024

Neben Fruchtfolge, Unkrautdruck und Kompostdüngung hatte natürlich auch die Witterung einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Erträge. Teilweise führten sehr lange Trockenperioden oder nasse und kühle Tage bis weit in den April hinein zu erheblichen Ertragseinbußen. Nicht in allen Jahren sind vergleichbare Daten der Teilflächen vorhanden, trotzdem ist ein Überblick über die Erträge der Teilflächen mit und ohne Kompostdüngung möglich und lässt Rückschlüsse auf die positive Wirkung des Kompostes ziehen. Vergleicht man die Erträge der unterschiedlichen Kulturen der Teilflächen mit Kompostdüngung mit den ungedüngten Teilflächen der Grundstücke 537 und 546 miteinander, so sind die Erträge der kompostgedüngten Varianten bis auf eine Ausnahme immer höher als auf den ungedüngten Flächen (Abbildung 26, Abbildung 28). Auf Fläche 542 ist das umgekehrt. Auf der ungedüngte Teilfläche werden höhere Erträge erzielt als bei der kompostgedüngten Teilfläche. Grund hierfür ist, dass Grundstück 542 aufgrund von wiederkehrenden Bautätigkeiten eine sehr gestörte Fläche ist, aber auch Inhomogenitäten im Boden aufweist. Beim Vergleich der Daten über die Jahre zeigt sich, dass sich die Erträge der gedüngten und ungedüngten Teilflächen durch die Kompostdüngung allmählich angleichen. Während in den Jahren 2015 bis 2017 beim Anbau von Kartoffeln und Kürbissen auf der südlichen Teilfläche nur die Hälfte, bis ein Drittel der Erträge der Nordhälfte erzielt werden konnte, waren die Erträge von Weizen, Roggen und Begrünung in den letzten Jahren nahezu gleich (Abbildung 27). Somit wird über die Jahre auch auf diesem Grundstück die bodenverbessernde Wirkung des Kompostes im Laufe der Jahre zunehmend sichtbar.

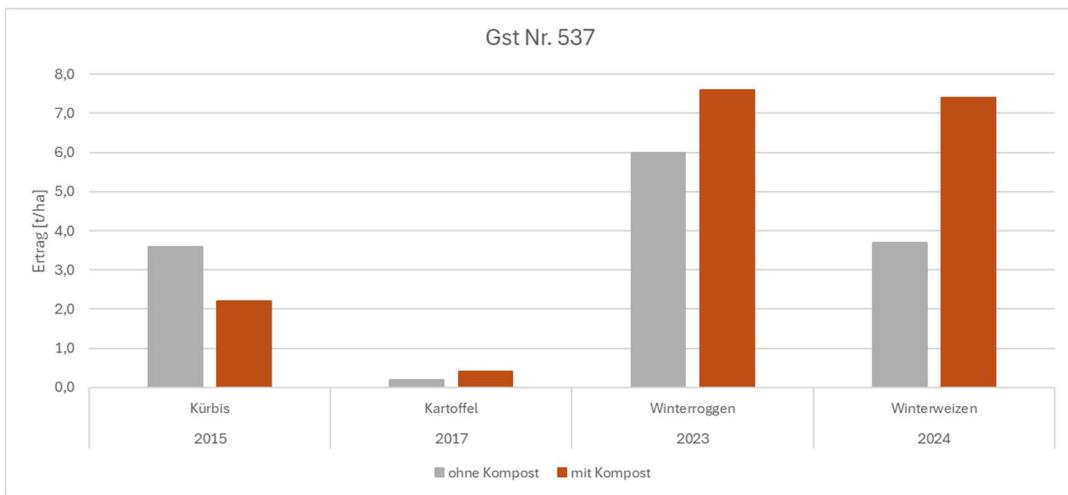


Abbildung 26: Mittelwerte der erhobenen Erträge [t/ha] seit 2014 des Grundstücks Nr. 537 mit und ohne Kompostdüngung.

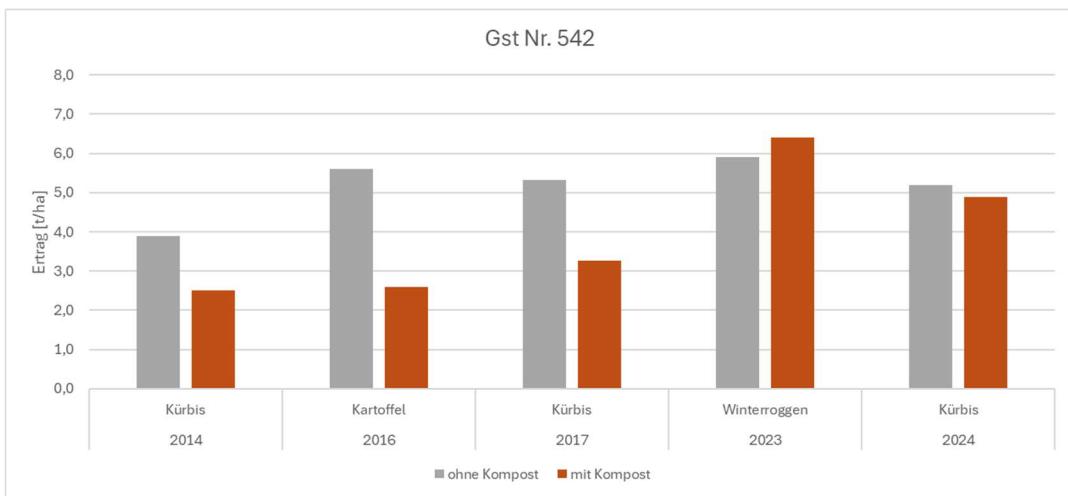


Abbildung 27: Mittelwerte der erhobenen Erträge [t/ha] seit 2014 des Grundstücks Nr. 542 mit und ohne Kompostdüngung.

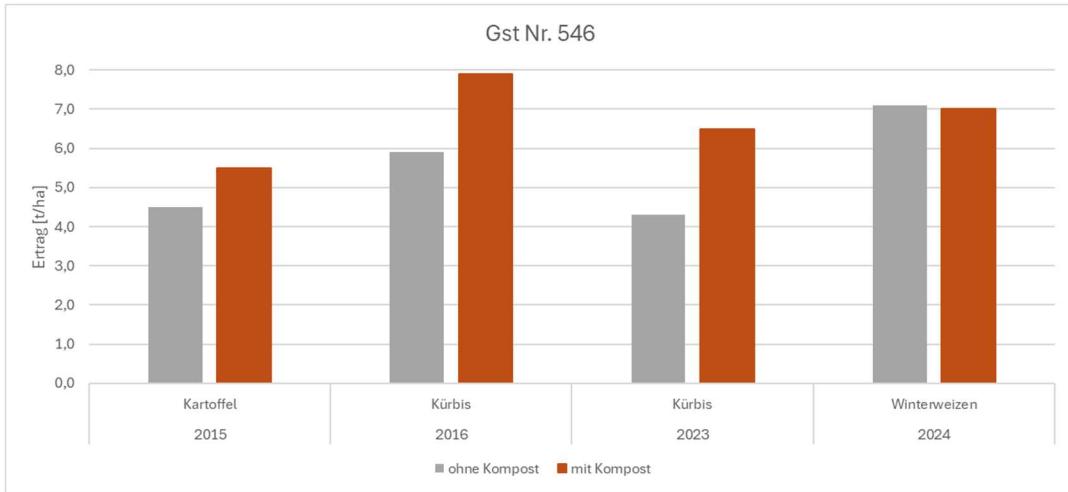


Abbildung 28: Mittelwerte der erhobenen Erträge [t/ha] seit 2014 des Grundstücks Nr. 546 mit und ohne Kompostdüngung.

Auch in den Jahren 2023 und 2024, in denen neben dem Ertrag auch der Stickstoffentzug der Ernteprodukte und der Begrünungsbiomasse untersucht wurde, konnten ähnliche Beobachtungen gemacht werden. Es zeigte sich, dass auf den kompostgedüngten Flächen ein Drittel (Gst. Nr. 546) bis das Doppelte (Gst. Nr. 542) mehr Stickstoff in die Begrünungsbiomasse eingebaut wurde als in der ungedüngten Variante. Auch die Ernteprodukte Roggen, Weizen und Kürbis wiesen in der kompostgedüngten Variante höhere Stickstoffgehalte und somit beim Getreide auch höhere Proteingehalte auf (Tabelle 15).

Tabelle 15. N-Gehalt [kg/ha TM] der Ernteprodukte (Korn und Kürbis) sowie der Begrünungsbiomasse in den Jahren 2023 und 2024.

Gst.Nr	Teilfläche	Roggen 2023	Weizen 2024	Kürbis 2023	Kürbis 2024	Begrünung 2023	Begrünung 2024
537	Nord ohne Kompost	94	69				
	Süd mit Kompost	113	153				
542	Nord ohne Kompost	84			26		3
	Süd mit Kompost	100			23		6
546	Nord ohne Kompost		155	17		20	
	Süd mit Kompost		166	32		31	

5.3.4 Maßnahmen zur Reduzierung des Unkrautdruckes

Zu Versuchsbeginn 2014 waren niedrige Erträge, lückige Bestände und dadurch stark auftretende Verunkrautung ein Problem. Durch die Begrünungsmischungen Sommerwicke-Erbse-Hafer und Sommerwicke-Erbse versuchte man bis 2017 den Boden zu verbessern und dem Verunkrautungsproblem entgegenzuwirken. 2016 wurde zusätzlich die Pflanzdichte bei den Kartoffeln von 40 auf 33 cm Reihenabstand erhöht. Diese Maßnahmen brachte aber nicht den gewünschten Effekt.

2017 trat bereits im Mai aufgrund der mangelnden Winterfeuchtigkeit im Boden und der geringen Frühjahrsniederschläge eine Trockenheit auf, die die Kartoffeln wahrscheinlich schon im Jugendstadium schädigte. Die spätere Bewässerung erlaubte es der Borstenhirse, einem wärmeliebenden Unkraut, massenhaft zu keimen. Deren Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und Licht bewirkte die extreme Ertragsminderung bei den Kartoffeln. Dies zeigte erneut, dass die Fruchfolge drastisch geändert werden musste.

Um dem hohen Unkrautdruck und den sinkenden Erträgen entgegenzuwirken wurde von 2018 - 2020 Luzerne angebaut. Durch die ganzjährige Bodenbedeckung und die geringere Bodenbearbeitung in diesem Zeitraum, wurden dem Bodenleben optimale Entwicklungsbedingungen ermöglicht. Aufgrund ihrer Durchwurzelung in tiefere Bodenschichten, ermöglichte die Luzerne ebenfalls eine Nährstoffmobilisierung aus tieferen Bodenschichten und die Beseitigung von Unkräutern durch Wurzelkonkurrenz. Nach dem Häckseln und Einarbeiten der Luzerne im Herbst 2020 wurde 2021 Winterroggen und 2022 Wintergerste angebaut. Einerseits um die hohen Stickstoffgehalte aufgrund des mehrjährigen Luzerne Bewuchses zu nutzen, und um andererseits weiterhin Unkraut zu unterdrücken.

Obwohl keine genauen Daten zum Unkrautbewuchs vorliegen, da dies nicht zum Hauptfokus der Untersuchung gehörte, wurde in den letzten Jahren kein intensives Unkrautproblem mehr beobachtet. Beim Kürbisanbau war 2023 und 2024 vor allem in den Fahrspuren des Traktors ein stärkerer Unkrautbewuchs zu verzeichnen. Ansonsten zeigte sich jedoch ein gutes Wachstum der Kürbispflanzen,

was durch die Erträge bestätigt wurde. Auf den Flächen, auf denen Wintergetreide angebaut wurde, wurde sogar auf der kompostgedüngten Fläche ein geringerer Unkrautbewuchs festgestellt als auf der ungedüngten. Diese Beobachtung wurde bereits 2016 gemacht, als der Anteil des Unkrauts im Sommerwicke-Erbsen-Hafer-Gemenge auf Grundstück Nr. 537 auf der kompostgedüngten Teilfläche um 4 % niedriger war als auf der ungedüngten Teilfläche.

5.3.5. Boden

Auf den drei Grundstücken am Rautenweg liegt laut eBod ein tiefgründiger Tschernosem aus Löss vor. Die Bodenart ist ein sandig, schluffiger Lehm bis Lehm. Die Humusgehalte im Oberboden liegen zwischen 3,69 % und 4,82 % und werden nach der Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (2017) als mittelhumos bis stark humos eingestuft. Der Boden ist stark kalkhaltig, was zu einer alkalischen Bodenreaktion führt und das Puffersystem im Bereich des Karbonatpuffers hält.

Auswirkung der Kompostanwendung auf den Humusgehalt

Wie bereits beschrieben, ist es, um Aussagen über Entwicklung und Tendenzen des Humusgehaltes treffen zu können, notwendig diesen über einen längeren Zeitraum zu bestimmen. Da die Humuszunahmen durch Fruchtfolge und organische Düngung im Vergleich zur Gesamtmenge nur sehr gering sind, können sie leicht durch Schwankungen der Probenahmen, Kultur und Jahreszeit überlagert werden. Der Humusgehalt wurde seit 2014 jährlich im Februar oder März auf jeder Teilfläche der 3 Grundstücke bestimmt.

Bei allen drei Grundstücken konnte auf der kompostgedüngten Teilfläche bei der Beprobung am 06.03.2024 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 4,1 % und auf den Teilflächen ohne Kompost zwischen 4,7 und 3,7 %. Im Unterboden (30-60, 60-90 cm) waren die Humusgehalte naturgemäß niedriger und lagen zwischen 3,6 und 1,3 % (Tabelle 16). Die höchsten Humusgehalte konnten sowohl im Oberboden als auch im Unterboden im Vergleich zu den anderen Grundstücken in Gst. Nr. 546 gemessen werden.

Bei Betrachtung der Entwicklung der Humusgehalte von 2014 bis 2024 kann gezeigt werden, dass bei den Grundstücken Nr. 546 und 537 auf der Teilfläche mit Kompostdüngung der Humusgehalt mit einer jährlichen Steigerungsrate von 0,04 bzw. 0,03 Prozentpunkten zunimmt, während er auf der Teilfläche ohne Kompostdüngung durch die Bewirtschaftung mit einer jährlichen Abnahmerate von 0,01 bzw. 0,02 Prozentpunkten abnimmt. Auf Grundstück 537 ist hierbei die Abnahmerate geringfügig niedriger und die Steigerungsrate geringfügig höher als auf Gst. Nr. 546. Auf Grundstück Nr. 542 ist keine Zunahme des Humusgehaltes auf der kompostgedüngten Fläche zu erkennen, jedoch ist auf der ungedüngten Teilfläche die jährliche Abnahmerate gleich hoch wie auf Gst. 546 (Tabelle 17; Abbildung 29).

Tabelle 16. Gehalte an Gesamt-Kohlenstoff, Carbonat, organischer Kohlenstoff, Humus und Gesamt-Stickstoff [% TM] zur Probenahme am 06.03.2024 in unterschiedlichen Bodentiefen der drei Grundstücke des Demonstrationsversuches Rautenweg.

Gst. Nr.		Teilfläche	Bodentiefe	C gesamt	Carbonat	C org	Humus	N gesamt
				[cm]	[%TM]	[%TM]	[%TM]	[%TM]
537	Nord	ohne Kompostdüngung	30	6,3	35,0	2,14	3,69	0,16
537	Nord	ohne Kompostdüngung	60	6,3	42,2	1,21	2,08	0,06
537	Nord	ohne Kompostdüngung	90	5,9	42,6	0,78	1,34	0,02
537	Süd	mit Kompostdüngung	30	6,2	29,2	2,65	4,56	0,21
537	Süd	mit Kompostdüngung	60	6,1	34,4	1,97	3,38	0,15
537	Süd	mit Kompostdüngung	90	6,9	44,8	1,50	2,57	0,08
542	Nord	ohne Kompostdüngung	30	5,6	27,3	2,32	3,99	0,21
542	Nord	ohne Kompostdüngung	60	5,8	31,9	1,95	3,35	0,13
542	Nord	ohne Kompostdüngung	90	5,9	39,2	1,20	2,07	0,08
542	Süd	mit Kompostdüngung	30	5,5	26,2	2,41	4,14	0,21
542	Süd	mit Kompostdüngung	60	5,4	30,4	1,80	3,10	0,15
542	Süd	mit Kompostdüngung	90	6,0	37,1	1,56	2,68	0,09
546	Nord	ohne Kompostdüngung	30	5,4	23,06	2,61	4,49	0,22
546	Nord	ohne Kompostdüngung	60	4,8	22,66	2,09	3,59	0,18
546	Nord	ohne Kompostdüngung	90	5,1	25,52	2,08	3,58	0,16
546	Süd	mit Kompostdüngung	30	5,4	21,86	2,80	4,82	0,23
546	Süd	mit Kompostdüngung	60	5,0	25,68	1,93	3,32	0,17
546	Süd	mit Kompostdüngung	90	5,5	30,72	1,84	3,17	0,15

Tabelle 17. Jährliche Abnahme- bzw. Steigerungsrate des Humus- sowie des Gesamt N-Gehaltes über dem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren auf der ungedüngten (Nord) sowie kompostgedüngten Teilfläche (Süd) der drei Grundstücke.

Gst.Nr.	Humusgehalt		Gesamt N- Gehalt	
	Nord	Süd	Nord	Süd
537	-0,01	0,04	0,000	0,003
542	-0,02	0,00	0,001	0,000
546	-0,02	0,03	0,000	0,001

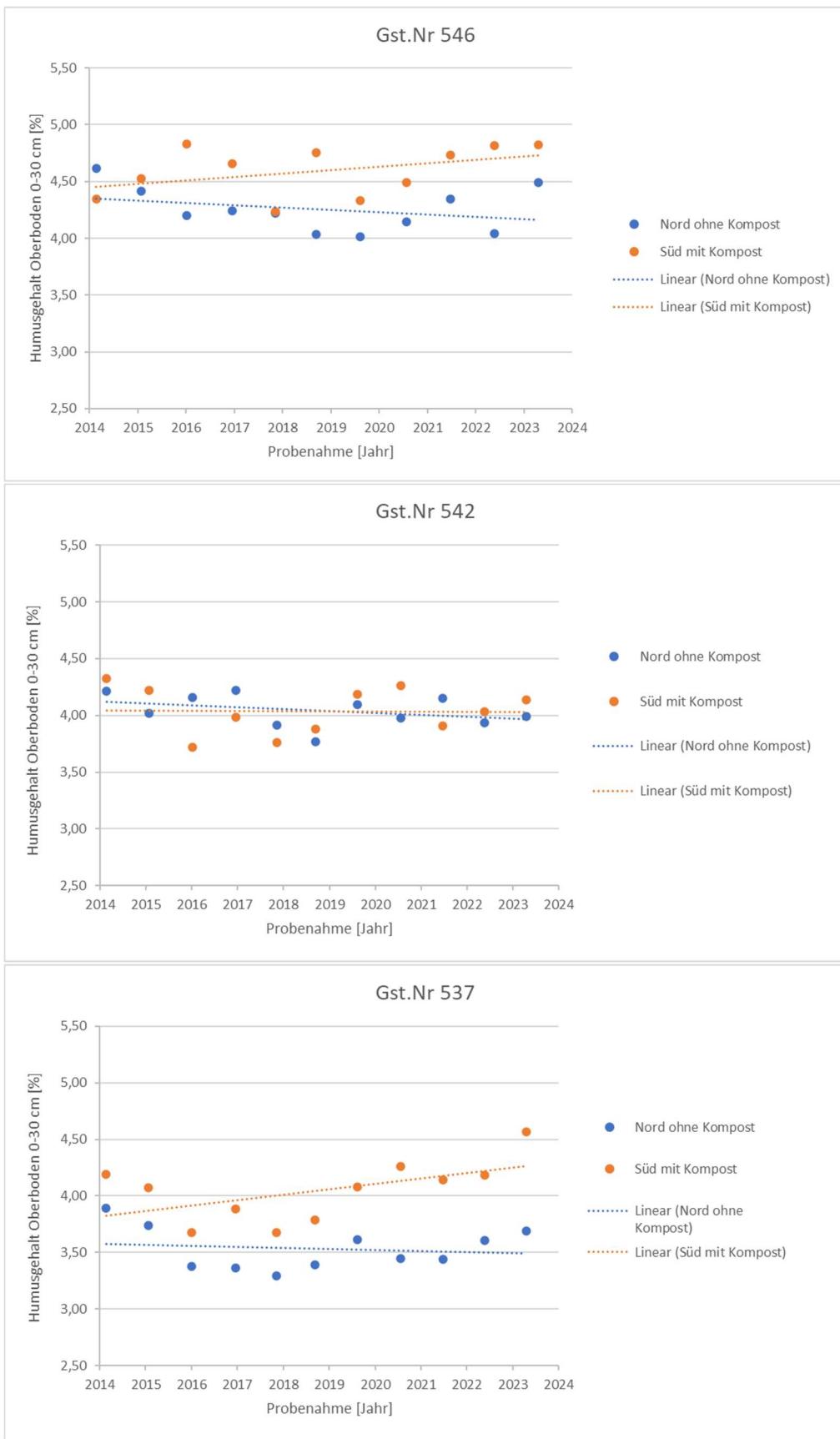


Abbildung 29. Humusgehalte der Teilflächen (ohne Kompost, mit Kompost) der Grundstücke Nr. 546, 542 und 537 im Oberboden (0-30 cm) von 2014 bis 2024.

Auswirkung der Kompostdüngung auf den Wassergehalt

Mehr organische Substanz im Boden bedeutet eine höhere biologische Aktivität der Bodenmikroorganismen und -fauna. Diese führt durch Aggregatbildung zur Verbesserung der Bodenstruktur, welche durch stärkere Porosität und Durchlässigkeit gekennzeichnet ist. Dadurch wird die Wasserinfiltrationsleistung - auch bei Starkregenereignissen - erhöht und Erosion vermindert. Organische Substanz führt auch zu einer Erhöhung der Wasserhaltekapazität. Dadurch kann Wasser besser gespeichert werden, was besonders in Trockenperioden zur Stabilität des Ökosystems beiträgt. Durch den Einsatz von Kompost wird organische Substanz dem Boden zugefügt und Humus aufgebaut und dadurch der Wasserhaushalt des Bodens verbessert. Auch in dieser Untersuchung konnte über den gesamten Versuchszeitraum der positive Effekt der Kompostdüngung auf die Wasserhaltefähigkeit der Grundstücke 537 und 546 nachgewiesen werden. Bei den jährlichen Probennahmen im Frühjahr wurden, mit Ausnahme des Jahres 2018, auf der kompostgedüngten Teilfläche stets höhere Wassergehalte gemessen als auf der ungedüngten Teilfläche. Auf Grundstück Nr. 546 lag der Wassergehalt um 0,2-1,6 % und auf Grundstück Nr. 537 um 0,8-1,5 % höher. Im Durchschnitt der 10 Jahre betrug der Wassergehalt auf der kompostgedüngten Teilfläche jährlich um 0,5 % bis 0,9 % mehr als auf der ungedüngten (Abbildung 30). Bei einer Fläche von 1 m² entspricht dies etwa 2-4 Litern mehr Wasser im Boden, das den Pflanzen zum Zeitpunkt der Probenahme zur Verfügung stand. Gerade in Zeiten des Klimawandels und der immer längeren Trockenperioden haben die Pflanzen auf den kompostgedüngten Flächen einen Vorteil. Auf dem gestörten Grundstück Nr. 542 konnte dieser Effekt nicht gezeigt werden, da auch der Humusgehalt auf der kompostgedüngten Variante im Durchschnitt nicht höher als auf der Kontrollvariante ist.

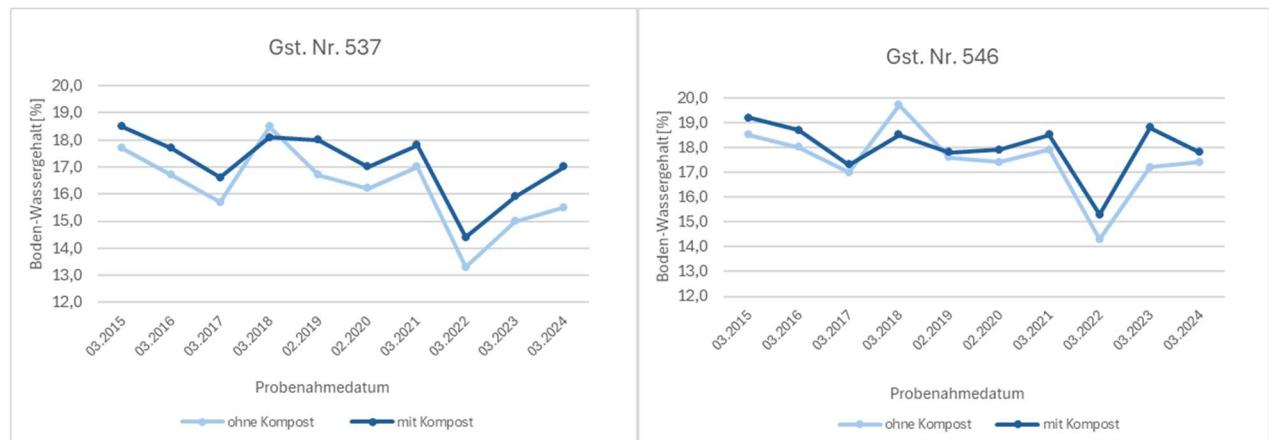


Abbildung 30. Bodenwassergehalt [%] im Oberboden (0-30 cm) auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung (dunkelblau) und ohne Kompostausbringung (hellblau) von 2015 bis 2024.

Aufgrund der intensiven Beprobung von Mitte Oktober 2022 bis Dezember 2023 konnte der Wassergehalt im Boden auch über das ganze Jahr dargestellt werden. Der positive Effekt der Kompostdüngung war dabei das ganze Jahr über zu beobachten. Auf Grundstück Nr. 546 war der Bodenwassergehalt über das gesamte Jahr hinweg, auch in der trockensten Periode von Mitte Juli bis Ende Oktober 2023, auf der kompostgedüngten Teilfläche höher als auf der ungedüngten. Auf Grundstück Nr. 537, wo bis Anfang Juli Winterroggen wuchs, lag der Wassergehalt im Oberboden der kompostgedüngten Teilfläche im Jahresmittel um 0,4 % über dem der ungedüngten Teilfläche. Nach der Roggenernte, von Anfang Juli bis Ende Oktober, als das Grundstück bis zum Anbau des Winterweizens brach lag, fiel der Wassergehalt der kompostgedüngten Teilfläche im Mittel leicht unter den der ungedüngten Teilfläche (-0,1 %). Neben dem Humusaufbau ist somit auch die Bodenbedeckung durch Pflanzenbiomasse entscheidend für den Bodenwassergehalt. Der geringfügig niedrigere Wassergehalt der kompostgedüngten Teilfläche im

Vergleich zur Kontrollvariante im Zeitraum ohne Pflanzenbewuchs könnte durch die humusbedingt dunklere Färbung des Bodens oder durch eine bessere Durchlüftung verursacht worden sein.

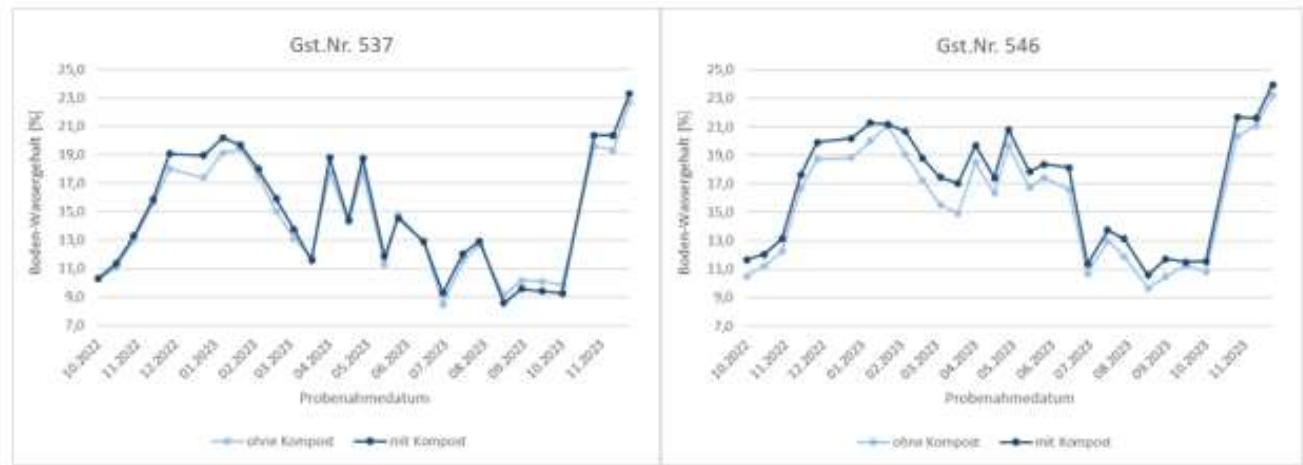


Abbildung 31. Bodenwassergehalt [%] im Oberboden (0-30 cm) auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung (dunkelblau) und ohne Kompostausbringung (hellblau) im Jahresverlauf Okt. 2022 bis Dez 2023.

Auswirkungen der Kompostanwendung auf den mineralischen Stickstoff - Nmin

Mineralischer Stickstoff (Nmin) ist der für Pflanzen leicht verfügbare Stickstoff, der in Form von Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) vorliegt. Nmin stellt jedoch nur einen kleinen Teil des Gesamtstickstoffs im Boden dar, da der Großteil im organischen Material gespeichert ist und erst durch Mineralisierung pflanzenverfügbar wird. Auf den Versuchsflächen lag der Nmin überwiegend als Nitrat und nur selten als Ammonium vor (Tabelle 19, Seite 56).

Von 2015 bis 2021 wurden die Grundstücke einmal jährlich im Frühjahr (Ende Februar oder Anfang März) vor der ersten Bodenbearbeitung beprobt, ab 2022 mehrmals im Jahr. Die Nmin-Gehalte waren zum Beprobungstermin meist beachtlich und schwankten im gesamten Wurzelraum (0-90 cm) im Durchschnitt zwischen 19 und 283 kg/ha.

Auf Grundstück Nr. 546 wurden von 2015 bis 2018 auf der kompostgedüngten Teilfläche deutlich höhere Nmin-Gehalte gemessen als auf der ungedüngten. Während des mehrjährigen Anbaus der Luzerne (2018 bis 2020) waren die Nmin-Gehalte auf beiden Teilflächen ähnlich hoch. Seit der erneuten Kompostdüngung im Herbst 2022 lagen die Nmin-Gehalte im Jahresdurchschnitt auf der kompostgedüngten Fläche zwischen 20 und 35 kg/ha höher als auf den ungedüngten Teilflächen. Betrachtet man die Nmin-Gehalte über den gesamten Versuchszeitraum von 10 Jahren (2015 bis 2024), wurden auf Grundstück Nr. 546 im gesamten Wurzelraum jährlich durchschnittlich 28 kg/ha mehr Nmin gemessen als auf der ungedüngten Teilfläche. (Abbildung 32. rechts).

Auf Grundstück Nr. 537 waren die Nmin-Gehalte seit der Kompostdüngung 2022 bis 2024 auf der kompostgedüngten Fläche im gesamten Wurzelraum im Mittel um 14 kg/ha höher als auf der ungedüngten, in den Jahren davor war es teilweise umgekehrt oder gleich. Über den gesamten Versuchszeitraum (2015 bis 2024) wurden auf Grundstück Nr. 537 im gesamten Wurzelraum im

Durchschnitt, auf der kompostgedüngten Teilfläche 19 kg/ha mehr Nmin als auf der ungedüngten gemessen (Abbildung 32. links).

Bei Grundstücks 542 war es umgekehrt, auf der ungedüngte Teilfläche konnten in den letzten Jahren immer deutlich höhere Nmin-Gehalte festgestellt werden als auf der kompostgedüngten Teilfläche.

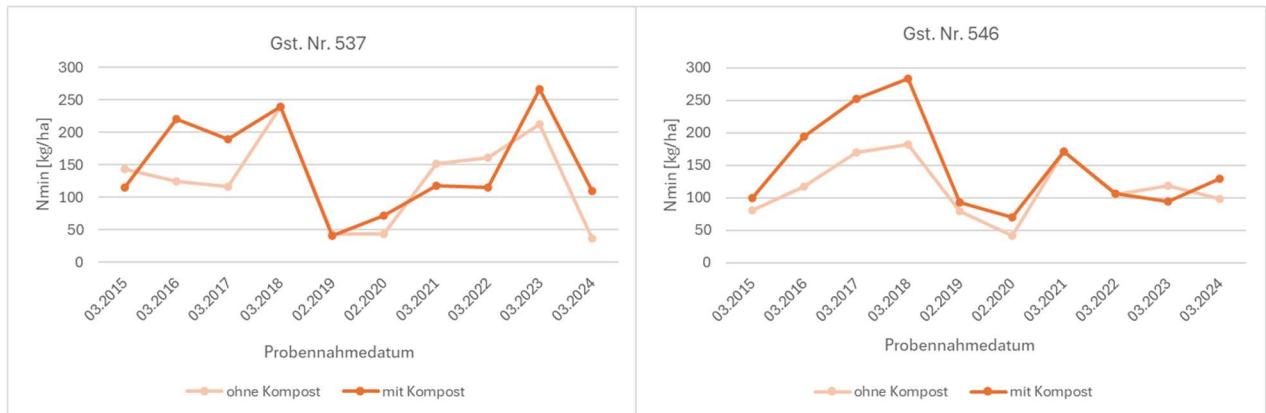


Abbildung 32. Nmin-Gehalt [kg/ha] im gesamten Wurzelraum (0-90 cm) auf Grundstück Nr. 537 und Nr. 546 jeweils auf der Teilfläche mit Kompostausbringung (dunkelorange) und ohne Kompostausbringung (hellorange) Ende Februar bzw. Anfang März von 2015 bis 2024.

Die Nmin-Ergebnisse von 2024 zeigen einerseits höhere Nmin-Gehalte auf der kompostgedüngten Teilfläche der Gst. Nr 546 und 537 aber auch die Schwankungen des Nmin-Gehaltes im Laufe des Jahres (Tabelle 19). Diese werden unter anderem durch das Wetter, die Bodenbearbeitung und durch den Entzug der angebauten Hauptfrucht oder Begrünung verursacht. So konnte man bei der Beprobung am 06.03.2024 gut erkennen, dass die Begrünung auf Grundstück 542, den mineralischen Stickstoff größtenteils in die Biomasse aufgenommen hatte und so vor Auswaschung schützte. Wohingegen bei den anderen beiden Flächen (Gst. Nr 546 und 537), bei denen Winterweizen angebaut war, eine Verlagerung des mineralischen Stickstoffs in die tieferen Bodenschichten stattfand, da im Bestockungsstadium über den Winter nur wenig Stickstoff durch die Weizenpflanzen aufgenommen wird. Nach dem Schossen im Frühjahr wurden jedoch bis zur Ernte im Juli große Mengen an mineralischen Stickstoff durch den Weizen aufgenommen, ersichtlich an den niedrigen Nmin-Gehalten Anfang Juli.

Bei GSt. Nr. 542 war bis zum Anbau des Kürbisses die Begrünungsbiomasse mineralisiert, und der Nmin Gehalt im Boden stieg bis Anfang Juli an. Der Kürbis nahm wieder große Mengen an mineralischem Stickstoff bis zur Ernte Anfang September auf. Durch Mineralisierung der am Feld verbliebenen Ertereste und die Bodenbearbeitung für den Anbau der Begrünungsbiomasse ließ den Nmin-Gehalt auf allen drei Flächen sowohl auf den kompostgedüngten als auch auf den ungedüngten Teilflächen zum Probenahmettermin im Dezember steigen.

Nach Berechnung der N-Mineralisierung des Kompostes durch Berücksichtigung des Stickstoff-Entzuges der Ernteprodukte (Kürbis) bzw. der gesamten oberirdischen Biomasse (Wintergetreide und Begrünung) sowie des mittleren Nmin-Gehaltes im Boden wurden auf den drei Grundstücken ganz unterschiedliche Mengen an Stickstoff in den beiden Jahren nach Aufbringung des Kompostes mineralisiert (Tabelle 18). Bei Gst.Nr. 542 konnte im ersten Jahr nach Aufbringung nur eine geringe N-Freisetzung (2,8 %) durch den Kompost festgestellt werden und im zweiten Jahr dürfte der zugeführte Stickstoff fast ausschließlich zum Aufbau von mikrobieller Biomasse und Bodenhumus genutzt worden sein, da im Vergleich zur

ungedüngten Teilfläche kein zusätzlicher Stickstoff mineralisiert wurde (-0,8 %). Bei den Gst. Nr. 537 und 546 wurden im ersten Jahr nach Aufbringung des Kompostes die gleichen N-Mengen (7,7 und 7,1 %) freigesetzt. Im zweiten Jahr nach Aufbringung wurde auf Gst. Nr. 537 deutlich mehr Stickstoff aus dem Kompost mineralisiert (22,2 %) als auf Gst. Nr. 546 (6,6 %). Dies zeigt, dass die theoretisch berechnete Mineralisierungsrate nach dem Modell 10 % Freisetzung im 1. Jahr, 5 % im 2. Jahr und 3 % in den Folgejahren nicht mit dem vorliegenden Praxisversuch übereinstimmt. Die Stickstoffwirkung ist offensichtlich nicht nur jahres-, kulturarten- und kompostspezifisch, sondern hängt auch von anderen Bodenfaktoren ab, die kleinräumig unterschiedlich sein können.

Tabelle 18. Menge des im ersten und zweiten Jahr nach Ausbringung mineralisierten Stickstoffs (in % vom Gesamtstickstoff des aufgebrachten Kompostes).

N-Mineralisierung [% von Nges Kompost]		
Grundstück	1. Jahr nach Aufbringung	2. Jahr nach Aufbringung
Gst. Nr. 537	7,7	22,2
Gst. Nr. 542	2,8	-0,8
Gst. Nr. 546	7,1	6,6

Tabelle 19. Wassergehalt, NH₄-N-, NO₃-N- und Nmin-Gehalt in unterschiedlichen Bodentiefen der Grundstücke 546, 542 und 37 des Demonstrationsversuches Rautenweg an unterschiedlichen Beprobungsterminen.

Gst.Nr. 537								
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]
06.03.2024	30	15,5	0	13	37	17,0	0	15
	60	14,1	0	0		17,0	0	23
	90	12,1	0	24		16,9	0	72
01.07.2024	30	15,6	0	42	64	12,8	0	35
	60	12,7	0	10		11,9	0	10
	90	10,3	0	12		12,3	1	7
06.09.2024	30	11,9	2	41	70	11,6	2	84
	60	11,8	2	9		12,8	2	17
	90	9,7	2	14		13,3	2	7
04.12.2024	30	16,3	0	55	93	17,0	2	64
	60	15,1	1	18		17,2	0	24
	90	13,7	0	19		17,2	0	41
Gst.Nr. 542								
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]
06.03.2024	30	16,6	0	15	50	16,2	0	17
	60	17,4	0	13		16,7	0	0
	90	16,0	0	22		16,3	0	23
01.07.2024	30	15,9	0	112	149	14,3	0	103
	60	16,5	0	27		15,3	0	35
	90	15,6	0	10		15,3	1	0
06.09.2024	30	11,1	2	46	66	9,8	2	34
	60	12,6	2	7		12,0	2	15
	90	11,0	2	7		11,9	2	9
04.12.2024	30	17,1	0	70	109	16,6	0	74
	60	17,2	0	21		17,2	0	25
	90	15,9	0	18		17,1	0	23
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]
06.03.2024	30	17,4	0	13	130	17,8	0	17
	60	17,1	0	33		17,0	0	16
	90	17,3	0	84		17,2	0	66
01.07.2024	30	14,0	0	41	50	14,8	0	59
	60	12,2	0	9		11,9	0	12
	90	12,0	0	0		11,0	0	8
06.09.2024	30	12,7	2	72	101	13,3	2	141
	60	12,0	2	12		12,2	2	51
	90	12,4	2	11		11,0	2	12
04.12.2024	30	17,4	0	33	84	18,5	0	36
	60	17,2	0	16		17,3	0	62
	90	17,7	0	35		17,9	0	74

5.4 Zusammenfassung

In den letzten zehn Jahren wurden auf den Grundstücken des Demonstrationsversuchs Rautenweg sowohl Kartoffeln und Kürbisse angebaut, die für die Öffentlichkeitsarbeit der MA48 genutzt wurden, als auch die Auswirkungen der Kompostanwendung auf den Humusgehalt unter Praxisbedingungen untersucht. Bis 2017 war durch den Anbau von Kürbis und Kartoffeln der Hackfruchtanteil sehr hoch, was zu erhöhtem Unkrautdruck und sinkenden Erträgen führte. Durch Änderung der Fruchfolge, wie die Auslagerung der Kartoffel auf Flächen der MA49 und der Anbau der Gesundungsfrucht Luzerne über 2,5 Jahre, konnten die Erträge wieder verbessert und der Unkrautdruck verringert werden.

Zur Untersuchung der Kompostanwendung wurde seit 2014 in regelmäßigen Abständen, jeweils auf den südlichen Teilflächen der Grundstücke, Kompost (im Durchschnitt 8 t Kompost TM/Jahr) ausgebracht. Auf den Grundstücken Nr. 546 und Nr. 537 konnte der Humusgehalt im Vergleich zu den ungedüngten Teilflächen jährlich um durchschnittlich 0,03 bzw. 0,04 Prozentpunkte erhöht werden, während der Humusgehalt auf den ungedüngten Teilflächen um 0,01 bis 0,02 Prozentpunkte abnahm. Die Kompostdüngung führte auch zu höheren Erträgen, einem höheren Bodenwassergehalt und einer besseren Stickstoffverfügbarkeit. Grundstück Nr. 542 war seit Beginn des Versuchs durch Inhomogenitäten im Boden gekennzeichnet sowie störten Bautätigkeiten den Boden zusätzlich. Daher wies die ungedüngte Teilfläche stets deutlich höhere Erträge, Nmin-Gehalte und Humusgehalte auf als die kompostgedüngte Teilfläche. Die Ergebnisse der letzten Jahre zeigen jedoch, dass sich durch die Kompostdüngung die Erträge der gedüngten und ungedüngten Teilflächen angleichen, was ebenfalls die bodenverbessernde Wirkung des Komposts verdeutlicht.

6. Arbeitspaket 6 - Bestimmung des mineralisch-assoziierten organischen Kohlenstoffs am Demonstrationsversuch Rautenweg

6.1 Einleitung

Durch die Verwendung von Kompost in der Landwirtschaft werden einerseits natürliche Stoffkreisläufe geschlossen und andererseits Humus im Boden angereichert. Humusanreicherung sowie der langfristige Erhalt von Humus ist für den Klimaschutz sehr bedeutend, da bereits durch kleine Steigerungen der Humusgehalte, klimarelevante Mengen an CO₂ der Atmosphäre entzogen werden.

Humus und der darin enthaltene organische Kohlenstoff unterliegt jedoch einem kontinuierlichen Abbau. Organischer Kohlenstoff unterteilt sich nach Lavallee et al. (2019) in mineral-assoziierte organische Materie (MAOM, engl.: *mineral associated organic matter*) und partikulärer organische Materie (POM, engl.: *particulate organic matter*). Mit Mineralen assoziierte organische Materie bezieht sich hierbei auf Prozesse, bei denen organischer Kohlenstoff in Mikroporen oder -aggregaten in der Mineralmatrix und/oder durch Sorption an Mineraloberflächen gebunden wird (Sokol et al. 2022). In der Praxis definiert sich MAOM durch eine kleine Korngrößenfraktion < 53 µm und hoher Dichte von > 1,6 g/cm³, wohingegen POM > 53 µm große Partikel besitzt, die sich in großen Aggregaten im Boden zusammenfinden und eine niedrigere Dichte von < 1,6 g/cm³ haben. Diese Definition wurde eingeführt, um die vorherrschende, auf chemischen Extrakten basierende Definition, von organischen Substanzen im Boden zu vereinfachen und dadurch die Vergleichbarkeit von Studien mit verschiedener Methodik zu erhöhen. Nach aktuellen Studien ist MAOM vor mikrobiellen Abbau stärker geschützt und kann über einen großen Zeitraum überdauern, da sie an die mineralische Bodenmatrix wie beispielsweise an Tonminerale in sog. Ton-Humus-Komplexen sorbiert ist und nicht frei verfügbar wie POM. Für die Bildung von Ton-Humus-Komplexe und Bodenaggregate bedarf es eines aktiven und diversen Bodenlebens, welches die Bodenpartikel mit den organischen Substanzen zu sehr stabilen Strukturen verklebt.

In zahlreichen Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass sich Kompost positiv auf die biologische Aktivität des Bodens auswirkt und bspw. zu einer Erhöhung der mikrobiellen Biomasse, erhöhter Enzymaktivität (z.B. Protease, Dehydrogenase) und höherem Regenwurmbesatz führt. Daher wird erwartet, dass aufgrund des langjährigen Einsatzes von Kompost auf jeweils einer Teilfläche der Versuchsflächen am Rautenweg, der Anteil des mineralisch-assoziierten organischen Kohlenstoffs, welcher als besonders stabil erachtet wird, auf der kompostgedüngten Fläche größer ist als auf der Teilfläche ohne Kompostaufbringung. Ziel dieses Arbeitspaketes ist zu prüfen, ob auf den Feldern mit langjähriger Kompostdüngung der MAOM-Gehalt höher ist als auf den Kontrollflächen und daher durch Kompost die Bildung von als besonders stabil geltenden organischen Kohlenstoffverbindungen gefördert wird. Dies soll für die beiden Bodentiefen 0-30 cm und 30-60 cm untersucht werden, da nicht erwartet wird, dass sich in der tiefsten Fraktion von 60-90 cm Unterschiede bemerkbar machen.

6.2 Methodik

Zur Untersuchung der Auswirkung des langjährigen Einsatzes von Kompost auf den MAOM-Anteil im Boden wurden von den drei Grundstücken 546, 542 und 537, jeweils von der kompostgedüngten Teilfläche und der ungedüngte Teilfläche, Bodenproben von den unten aufgeführten Probenahmeterminen in den Bodentiefen 0-30 cm und 30- 60 cm ausgewählt. Für das Grundstück 537 lag aus dem Jahr 2021 von der 0-30 cm Fraktion keine Probe mehr von der ungedüngten Kontrollfläche (Nordseite) vor, daher fehlt diese in den Analysen.

Probenahmetermine für MAOM-Nasssiebungen:

- 26.02.2014
- 27.03.2017
- 10.03.2021
- 06.03.2024

Dies ergibt 47 Bodenproben, die bereits 5 mm gesiebt und luftgetrocknet vorlagen und für die weitere Analyse 2 mm gesiebt wurden. Anschließend wurden 10 g der Bodenprobe mit Glaskugeln sowie mit 30 ml Natriumhexametaphosphat (5 g/Liter) in zweifacher Ausführung versetzt und im Überkopfschüttler für 17 Stunden geschüttelt. Die Bodensuspension wurde dann einer Nasssiebung mit einem 53 µm Sieb unterzogen. Die Fraktion < 53 µm enthält somit den MAOM-Anteil des Bodens und > 53 µm den POM-Anteil. Beide Fraktionen wurden bei 105°C getrocknet, gemahlen und der Gesamtkohlenstoff mittels Elementaranalyse bei 1000°C (TruSpec, LECO Corporation) bestimmt. 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 (ÖNORM L1080 2010) und somit dann MAOM bzw. POM errechnet.

6.3 Ergebnisse

Die Nasssiebung der Böden hat ergeben, dass auf allen drei Grundstücken mit Werten zwischen 78-91% ein hoher Anteil der < 53 µm Korngrößenfraktion vorlag, wobei in der Bodentiefe 0-30 cm meistens ein etwas niedrigerer Anteil vorhanden war als in der 30-60 cm Bodentiefe (Tabelle 20). Die Grundstücke 537 und 546 wiesen für alle 4 Jahre und beiden Bodentiefen außerdem einen höheren Anteil der < 53 µm Fraktion in den kompostgedüngten Südseiten der Grundstücke auf als die ungedüngten Kontrollflächen im Norden (Tabelle 21). Das Grundstück 542 hatte im Gegensatz dazu bis auf die 0-30 cm Bodentiefe aus dem Jahr 2017 durchgehend einen niedrigeren Anteil der < 53 µm Fraktion auf den kompostgedüngten Flächen im Vergleich zu den ungedüngten Kontrollflächen. Ein klarer Trend, ob der < 53 µm Anteil zeitlich gesehen über die Untersuchungsperiode 2014 - 2024 einer Zu- oder Abnahme unterlag, konnte weder für die gedüngten noch für die Kontrollflächen beobachtet werden.

Tabelle 20. Übersicht über die prozentualen Anteile der Fraktion < 53 µm der Bodentrockenmasse.

Anteil < 53 µm [%]

		Bodentiefe	2014	2017	2021	2024
Gst. Nr. 537	Nord	0-30 cm	81,8	81,6	[-]	80,0
	Nord	30-60 cm	82,4	85,6	87,8	78,2
	Süd	0-30 cm	84,3	83,9	85,8	81,5
	Süd	30-60 cm	86,9	89,5	91,5	87,2
Gst. Nr. 542	Nord	0-30 cm	86,8	84,4	84,7	88,2
	Nord	30-60 cm	88,2	87,8	88,6	88,6
	Süd	0-30 cm	86,2	85,9	84,0	84,3
	Süd	30-60 cm	85,9	83,0	88,5	88,1
Gst. Nr. 546	Nord	0-30 cm	83,5	83,3	83,8	84,5
	Nord	30-60 cm	85,9	85,6	86,8	86,7
	Süd	0-30 cm	86,4	85,0	84,5	85,0
	Süd	30-60 cm	88,6	87,5	87,2	87,4

Tabelle 21. Differenzen Anteile der < 53 µm Fraktion (Tabelle 20) von den Südteilen der Flächen subtrahiert den Nordteilen der Flächen zur Übersicht, wo ein höherer Anteil der < 53 µm Fraktion nach der Nasssiebung bestimmt wurde. Positive Werte sind grün hervorgehoben und negative Werte gelb.

Differenzen: Anteile < 53 µm Süd - Nord [%]

	Bodentiefe	2014	2017	2021	2024
Gst. Nr. 537	0-30 cm	2,53	2,33	[-]	1,46
	30-60 cm	4,50	3,96	3,68	9,02
Gst. Nr. 542	0-30 cm	-0,56	1,58	-0,68	-3,95
	30-60 cm	-2,31	-4,82	-0,09	-0,48
Gst. Nr. 546	0-30 cm	2,90	1,70	0,64	0,52
	30-60 cm	2,74	1,90	0,40	0,67

Die MAOM-Gehalte der Böden in % organischem Kohlenstoff (Corg) sind in Abbildung 33 zu sehen, wobei die linke Seite der Graphen (a-c) die Bodentiefe 0-30 cm enthält und die rechte Seite zum Vergleich mit gleicher Skala der Y-Achse die Bodentiefe 30-60 cm (d-f). Die MAOM-Gehalte der Böden sind generell in der oberen Bodentiefe (0-30 cm) leicht höher, als in 30-60 cm Tiefe, was dadurch erklärt werden könnte, dass in 0-30 cm ein höherer Eintrag von den organischen Substanzen stattfindet. Hierbei tragen neben Humusabbauprodukten auch Wurzelexudate, extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) aus mikrobieller Aktivität, sowie auch mikrobielle Nekromasse zur Erhöhung der MAOM-Gehalte bei (Bai & Cotrufo 2022). Dass die Unterschiede zwischen den beiden Bodentiefen nicht stärker ausgeprägt sind, kann mehrere Gründe haben. Zuerst könnte der Einfluss der oben genannten Faktoren auch in 30-60 cm Bodentiefe noch genügend Auswirkungen haben, da die Böden auch deutlich tiefer als 30 cm durchwurzelt sind und auch bis 30 cm tief Bodenbearbeitung stattgefunden hat. Weiterhin könnte auch der Gehalt an freien Mineraloberflächen eine Rolle spielen. In der niedrigeren Bodentiefe könnte anteilig mehr freie Mineraloberfläche als im Oberboden vorliegen und dadurch die Bildung von MAOM begünstigen und somit größeren Differenzen der zwei Bodentiefen entgegenwirken.

Werden die MAOM-Gehalte zwischen den kompostgedüngten Südseiten und den ungedüngten Nordseiten der Grundstücke verglichen, fällt auf, dass in 0-30 cm Bodentiefe zu Beginn der Beobachtungsperiode keine Anreicherungen von MAOM in den kompostgedüngten Teilen sichtbar sind (Abbildung 33 a-c). Im Gegenteil ist 2017 ein Anstieg in den ungedüngten Nordteilen der Grundstücke zu sehen. Grund dafür könnten noch Auswirkungen der Ernterückstände des Kartoffel- und Kürbis anbaus aus den Vorjahren sein. Diese wären auch in den MAOM-Werten von Grundstück 546 aus dem Jahr 2014 zu sehen, da 2013 ebenfalls Kürbis angebaut wurde und die Nordseite von diesem Feld 2014 mit erhöhten MAOM-Werten im Vergleich zu den Kontrollflächen von 542 und 537 startet (Abbildung 33 a-c, blaue Linien). Diese Ernterückstände unterliegen bei aktivem Bodenleben einer sehr schnellen Mineralisierung und könnten sich deshalb auch schon kurzfristig in der MAOM-Fraktion niederschlagen, während sie keinen großen Einfluss auf die POM-Fraktion haben. Nach diesem Anstieg 2017 wird auf den ungedüngten Nordseiten aller Grundstücke in der 0-30 cm Bodenfraktion eine kontinuierliche Abnahme über 2021 und 2024 von MAOM beobachtet (blaue Linien Abbildung 33 a-c), wohingegen vor allem in den Grundstücken 537 und 546 auf den kompostgedüngten Südteilen der Felder (rote Linien, Abbildung 33 a, c) eine Zunahme über den Beobachtungszeitraum festgestellt werden kann. Somit sind im Jahr 2024 auf den beiden Grundstücken deutlich höhere MAOM-Werte in den kompostgedüngten Flächen vorhanden als in den Kontrollflächen. Dieser Trend ist auch für das Grundstück 542 zu erkennen (Abbildung 33 b). Waren 2014 und 2021 noch die MAOM-Gehalte für dieses Grundstück in einem vergleichbaren Bereich, haben die Beprobungen im 0-30 cm Bereich für 2021 und 2024 schon eine sichtbare Erhöhung in MAOM gezeigt.

Dadurch kann also festgehalten werden, dass es auf den kompostgedüngten Teilen der Flächen am Rautenweg eine Zunahme an MAOM in Bodentiefe 0-30 cm über den Beobachtungszeitraum von 2014 – 2024 gab, wohingegen die Gehalte auf der ungedüngten Seite der Fläche abnahmen.

In der unteren Bodentiefe von 30-60 cm sind weniger einheitliche Muster in den MAOM-Gehalten im Bezug zur Kompostausbringung erkennbar (Abbildung 33 d-f). Grundstück 542 hat leicht höhere MAOM-Gehalte in 30-60 cm Bodentiefe auf dem Südteil, jedoch scheint dort MAOM-C der Nord- und Südteile gleichermaßen von einem weiteren Faktor beeinflusst und weist einen sehr ähnlichen Verlauf mit einem Peak im Jahr 2021 auf. Da dieser Verlauf ist auch für den ungedüngten Nordteil von Grundstück 546 zu sehen ist, könnte es sein, dass die angebaute Kultur auch in dieser Bodentiefe eine wichtige Rolle in der MAOM-Bildung spielt. Es könnte sein, dass der Anbau der Luzerne von 2018-2020, mit ihrer Fähigkeit zur tiefen und intensiven Durchwurzelung, auch auf den Nordseiten der Felder die MAOM-Gehälter entscheidend beeinflusst hat. Einige Studien haben bisher gezeigt, dass Leguminosen neben ihren zahlreichen bodenverbessernden Eigenschaften, aufgrund ihrer hohen unterirdischen C und N Einträge ebenfalls als Beschleuniger der MAOM-Bildung wirken (z.B. van der Pol et al. 2022). Allein das Grundstück 537 zeigt sich jedoch nicht von diesem Faktor beeinträchtigt. Auf diesem Grundstück wurden durchgehend höhere MAOM-Werte auf dem kompostgedüngten Teil im Süden festgestellt, jedoch ist bei beiden Teilen des Grundstücks eher eine Abnahme an MAOM über den Beobachtungszeitraum zu sehen, auch wenn sie auf der ungedüngten Nordseite etwas stärker ist. Demnach könnte durch die Kompostausbringung auf Grundstück 537 zwar der MAOM-Gehalt im Vergleich zur Nordseite erhöht worden sein, jedoch nehmen die MAOM-Gehalte von Nord- und Südseite über die Zeit ab, was dafürspricht, dass in tieferen Bodenschichten weitere Faktoren die Stabilisierung des organischen Kohlenstoffs an Mineralphasen regulieren.

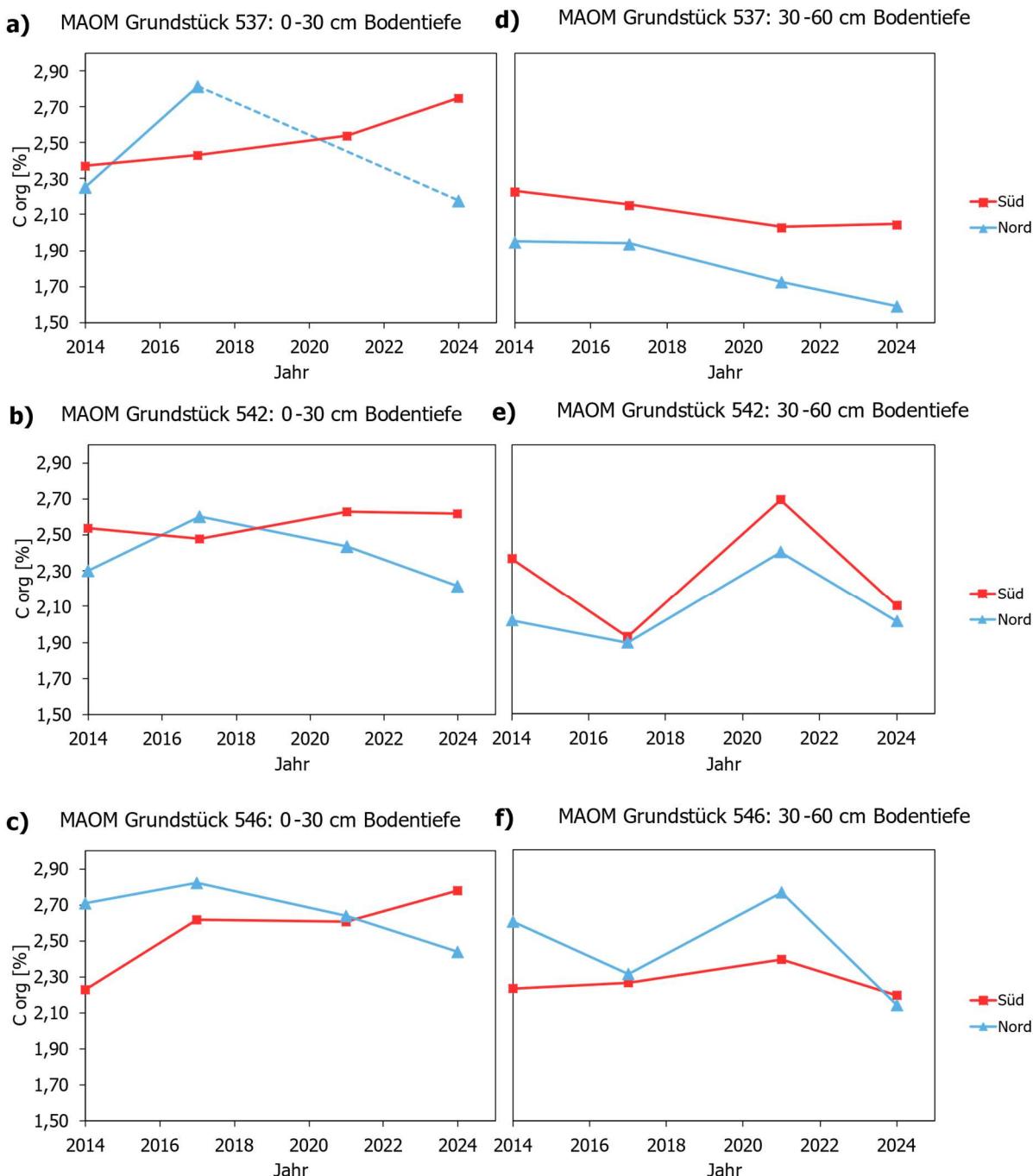


Abbildung 33. Übersicht der organischen Kohlenstoffgehalte (C org) in % der < 53 µm Fraktion (MAOM) im zeitlichen Verlauf von 2014-2024 für die drei Grundstücke 537, 542 und 546 in den Bodentiefen 0-30 cm (a-c) und 30-60 cm (d-f) für jeweils den kompostgedüngten Südteil der Fläche und die ungedüngte Kontrollfläche Nord. In a) fehlt der Datenpunkt für 2021, daher wurde dieser Bereich mit einer gestrichelten Linie hervorgehoben.

Die POM-Gehalte, also der organische Kohlenstoff der > 53 µm Fraktion, der Böden vom Rautenweg zwischen 2014 und 2024 sind in Abbildung 34 zu sehen, wobei die Bodentiefe 0-30 cm erneut auf der linken Seite (a-c) und 30-60 cm auf der rechten Seite (d-f) dargestellt ist. Die POM-C Werte sind in der oberen Bodentiefe deutlich höher als in der Tieferen. Dies ist plausibel, da im Oberboden auch deutlich höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff vorhanden sind (siehe z.B. Tabelle 16 für das Jahr 2024) und sich POM hauptsächlich aus größeren organischen Bodenpartikeln und -aggregaten zusammensetzt.

Werden die POM-Gehalte in der oberen Bodenschicht (Abbildung 34 a-c) der kompostgedüngten Südseiten der Grundstücke mit den ungedüngten Nordseiten verglichen, fällt auf, dass bei Grundstück 537 deutlich höhere Werte in der kompostgedüngten Teilfläche vorhanden sind, während bei Grundstück 542 die Werte vergleichbar erscheinen und bei Grundstück 546 zwar ab dem Jahr 2017 leicht höhere POM-Gehalte auf der Südseite vorhanden sind, die beiden Kurven jedoch auch einen ähnlichen Verlauf aufweisen und Differenzen dort noch im natürlichen Schwankungsbereich liegen könnten. Warum Grundstück 537 als einziges Feld erhöhte POM-Werte auf der Südseite hat kann nicht definitiv beantwortet werden und der fehlende Datenpunkt der Kontrollflächen 2021 erschwert eine Aussage weiter. Generell scheint es so, als wäre die Nordseite von Grundstück 537 eher an POM verarmt, da sich die Südseite von Grundstück 537, sowie beide Teilflächen der Grundstücke 542 und 546 in einem ähnlichen Schwankungsbereich zwischen ~1,4 bis 2,2 % C_{org} befinden, die Nordseite von Grundstück 537 jedoch niedriger bei 0,75 – 0,9 % C_{org}. In der tieferen Bodenschicht (30-60 cm) lassen sich auf allen drei Grundstücken keine Unterschiede im als POM vorliegenden Kohlenstoff durch die Kompostdüngung beobachten (Abbildung 34 d-f).

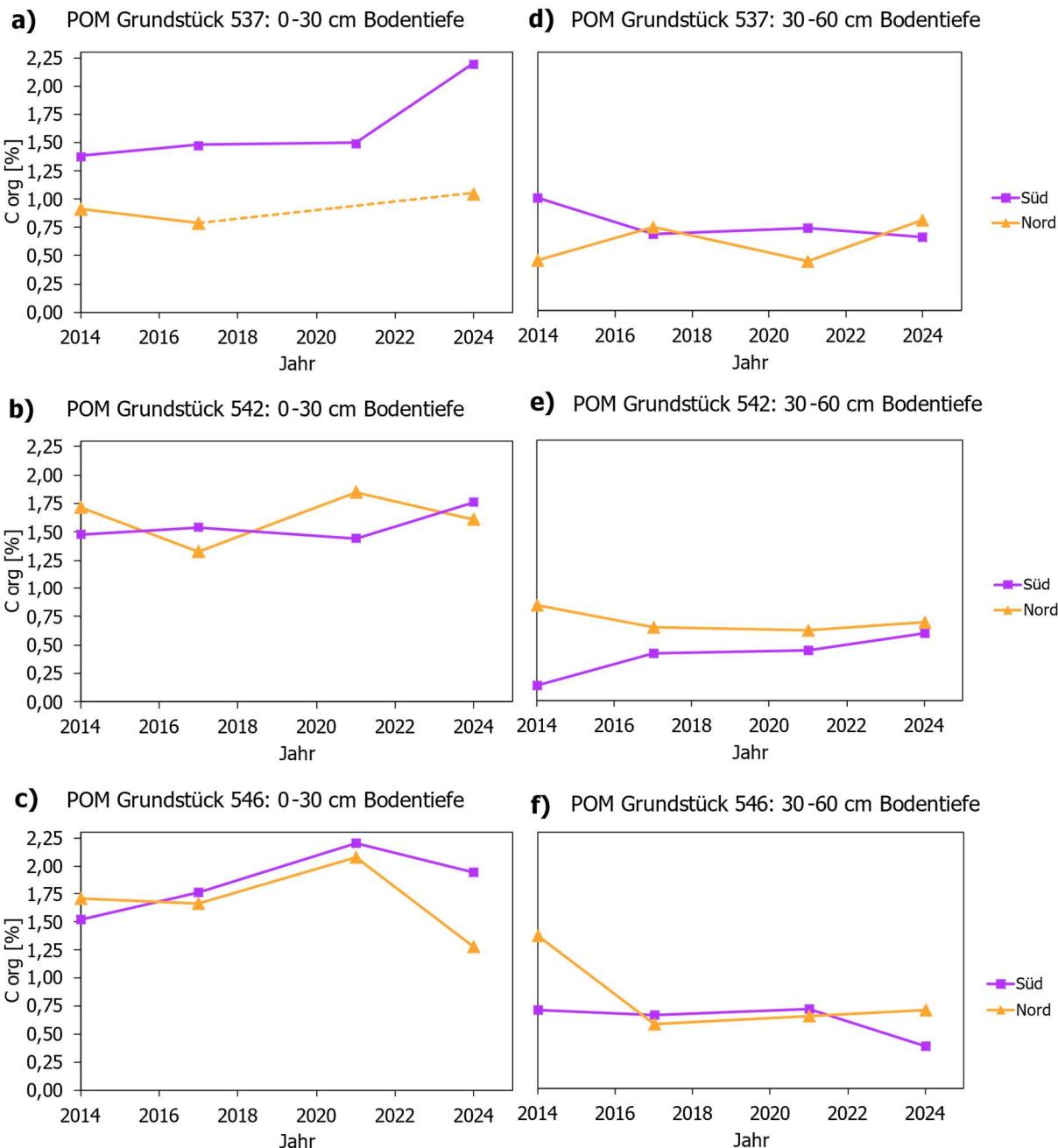


Abbildung 34. Übersicht der organischen Kohlenstoffgehalte (Corg) in % der > 53 µm Fraktion (POM) im zeitlichen Verlauf von 2014-2024 für die drei Grundstücke 537, 542 und 546 in den Bodentiefen 0-30 cm (a-c) und 30-60 cm (d-f) für jeweils den kompostgedüngten Südteil der Fläche und die ungedüngte Kontrollfläche Nord. In a) fehlt der Datenpunkt für 2021, daher wurde dieser Bereich mit einer gestrichelten Linie hervorgehoben.

Die vorliegenden Ergebnisse sind konsistent mit vorherigen Studien, die sich ebenfalls mit Dynamik von organischem Kohlenstoff nach langjähriger Kompostausbringung beschäftigt haben. So hat beispielsweise Morfidu et al. (2024) die MAOM- und POM-Gehalte von zwei verschiedenen ackerbaulich genutzten Flächen (Kartoffel, Erbse, Lauch, Gerste, Zuckerrübe, Mais in Rotation alle sechs Jahre) in den Niederlanden nach 12 Jahren Kompostdüngung mit vergleichbarer Methodik untersucht. In dieser Studie konnten ebenfalls keine Änderung der POM-Gehalte, jedoch ein signifikanter Anstieg im MAOM-C des

Oberbodens (0-10 cm) nach großzügiger Kompostdüngung festgestellt werden, was sich gut mit den vorliegenden Ergebnissen deckt.

Zusammengefasst suggerieren diese ersten Untersuchungen zum MAOM-Gehalt der Böden am Rautenweg, dass in der oberen Bodenschicht (0-30 cm) die langfristige Bindung von organischem Kohlenstoff an Mineraloberflächen durch Kompostdüngung über einen Zeitraum von zehn Jahren erhöht wurde und es dadurch erscheint, dass durch eine Anhebung der Humuseinträge auch mehr MAOM-C gebildet wird. Hohe mikrobielle- und Wurzelaktivitäten fördern die Bildung von MAOM langfristig und eine Erhöhung des Angebots von organischem Kohlenstoff führt auch zu mehr mineralischen Bindungen und langerhaltenden Speicherung von Kohlenstoff im Oberboden. In der tiefere Bodenschicht von 30-60 cm scheint der Bedarf an organischem Kohlenstoff ein wichtiger, aber nicht entscheidender Faktor für die Bildung von MAOM zu sein, da nur ein Grundstück (Nr. 537) auf der kompostgedüngten Seite höheres MAOM-C aufwies und dies auch über den Beobachtungszeitraum abnahm. Die Kompostaufbringung scheint keine starken Einflüsse auf die Dynamiken der POM-C Fraktion gehabt zu haben, was sich gut mit der Theorie deckt, dass diese Kohlenstofffraktion eher kurzlebig ist und nicht langfristig im Boden stabilisiert.

6.4 Literatur

- Bai, Y., & Cotrufo, M. F. (2022). Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science*, 377(6606), 603-608.
- Lavallee, J. M., Soong, J. L., & Cotrufo, M. F. (2019). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global change biology*, 26(1), 261-273.
- Morfidou, K., Schepens, J., & Hoffland, E. (2024). Soil carbon distribution in particulate and mineral-associated fractions as affected by long-term compost additions.
- van der Pol, L. K., Robertson, A., Schipanski, M., Calderon, F. J., Wallenstein, M. D., & Cotrufo, M. F. (2022). Addressing the soil carbon dilemma: Legumes in intensified rotations regenerate soil carbon while maintaining yields in semi-arid dryland wheat farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 330, 107906.
- Sokol, N. W., Whalen, E. D., Jillings, A., Kallenbach, C., Pett-Ridge, J., & Georgiou, K. (2022). Global distribution, formation and fate of mineral-associated soil organic matter under a changing climate: A trait-based perspective. *Functional Ecology*, 36(6), 1411-1429.