

Masterarbeit

Einfluss von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Rotteprozess und Eignung des Endsubstrates im Gartenbau

verfasst von Ing. Hager Hans-Jörg, BSc

im Rahmen des Masterstudiums
Nutzpflanzenwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Wien, März 2023

Betreut von:

Univ.Prof.ⁱⁿ DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Anna Keutgen Institut für Gartenbau Dept. für Nutzpflanzenwissenschaften

Mitbetreut von:

Mag. Dr.nat. Zafiu, DI Erwin Binner Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft Dept. für Wasser - Atmosphäre - Umwelt Eidesstattliche Erklärung

Erklärung über die Einhaltung der guten wissenschaftlichen Praxis: Bei jeder

Einreichung einer Masterarbeit oder einer Dissertation müssen die Studierenden

(verpflichtend und standardisiert) schriftlich erklären, dass sie nach der guten

wissenschaftlichen Praxis gearbeitet haben. Dies kann durch eine eidesstattliche

Erklärung erfolgen.

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden

keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen

direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche

kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Ort, Datum

Hager Hans-Jörg

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mich im Laufe meines Studiums immer wieder unterstützt haben.

Auch ein großes Dankeschön an meine Hauptbetreuerin Frau Prof. Keutgen Anna, die mich auch schon bei der Bachelorarbeit betreut hat.

Ein Danke auch an die Abteilung Abfall- und Kreislaufwirtschaft, im speziellen Christian Zafiu und Erwin Binner die mich und mein Projekt in ihre Gruppe aufgenommen haben. Erwin Binner war vor allem im Kompostierungsprozess eine enorme Bereicherung. Seine Erfahrung und sein unermüdliches Engagement waren für mich eine große Hilfe. Von ihm bekam ich auch viele Informationen über den Rotteprozess und Ich konnte ihm immer eine E-Mail schreiben, wenn ich unsicher war, wie ich weiter vorgehen soll.

Ein weiterer Dank gilt Thomas Ebner der mich bei der Analyse im Labor unterstützte und wir tratschten auch immer wieder über Dinge außerhalb diesem.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Heike Foditsch und Tamara Kolodziej die mich bei diversen Analysen unterstützten.

Ein großes Dankeschön auch an Lorenz Wedl, der mir sehr geholfen hat, dieses Studium der Agrarwissenschaften überhaupt zu beginnen.

Vorwort

Eine meiner großen Interessen, ist schon seit langem die Kompostierung. Mit großer Begeisterung und viel körperlichem Einsatz, inspiziere ich die Kompostmieten in meinem Garten fast täglich. Einer der wichtigsten Parameter ist der Feuchtigkeitsgehalt. Wie so oft ist der "goldene Mittelweg" die Lösung - es sollte nicht zu feuchtes Milieu, aber auch nicht zu trockenes herrschen. Dies ist ganz einfach mit der Faustprobe kontrollierbar und je nach Bedarf, wird dann Wasser dazugegeben oder eben nicht.

Aus dieser einfachen Fragestellung bin ich dann, auf der Suche nach einem Thema für meine Masterarbeit, relativ schnell zum Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft gekommen. Ich wollte mehr Parameter, intensiveren Kontakt mit dem Kompostierungsprozess und auch den Stand der Wissenschaft in Bezug auf Kompost, genauer kennen lernen. Ein weiterer wichtiger Punkt für mich war auch die praxisnahe Durchführung im Labor. Über Frau Prof. Keutgen als meine Hauptbetreuerin, wurde dann auch der Bezug zu meinem Masterstudium Nutzpflanzenwissenschaften hergestellt.

Ich freue mich und bin froh, dass ich einen kleinen Beitrag zu Erforschung der kompostierbaren Vorsammelhilfen leisten durfte.

Kurzfassung

Einfluss von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Rotteprozess und Eignung des Endsubstrates im Gartenbau

Hager Hans-Jörg

Plastikmüll in der Umwelt ist seit Jahren ein wachsendes Problem, die Müllberge werden immer größer und die Plastikinseln in den Weltmeeren wachsen und wachsen. Dieses Wachstum ist nachteilig für Menschen, Tiere und den gesamten Planeten "Erde". Besonders Mikroplastik stellt ein großes Problem dar, weil es immer mehr in Bereiche vordringt, wo wir nicht wissen welche Auswirkungen dies für den Menschen hat. Selbst im Verdauungssystem des Menschen wurden diese kleinen Partikel schon nachgewiesen. Doch wie kann man diese enorme Herausforderung lösen?

Ein erster Ansatzpunkt ist die Substitution des herkömmlichen Plastiks, vor allem im Verpackungsbereich, durch biologisch abbaubare Kunststoffe. Nach dem Pastiksackerl-Verbot mit 1. Jänner 2020 in Österreich wurde ein klares Zeichen gegen die Wegwerf-Mentalität gesetzt und so auch die in Verkehr Bringung der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen mit einem Gesetz befördert. Doch wie wirken sich die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Kompostierungsprozess und die Kompostqualität aus?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden in der ABF-Rotteversuchsanlage Versuche durchgeführt, die es erlaubten, den Prozess in nach Stand der Technik betriebenen Kompostierungsanlagen zu simulieren. Untersucht wurden drei Varianten (Referenz ohne Sackerlzugabe, Variante 2 mit einmaliger Zugabe und Variante 3 mit laufender Sackerlzugabe) in jeweils drei Parallelansätzen. Die Rottetemperaturen und die CO₂-Konzentration in der Abluft wurden über den gesamten Versuchszeitraum aufgezeichnet. Durch die Entnahme und Analyse von Rottegutproben während des Rotteprozesses wurden auch Wassergehalt, pH-Wert, Glühverlust, organischen Kohlenstoff, Gesamtstickstoff, Huminsäure-Gehalt und Atmungsaktivität (AT4) untersucht.

Die Ergebnisse lassen keinen gravierenden Unterschied zwischen der Kontrollvariante und den Varianten mit Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen erkennen. Außerdem ist festzuhalten, dass keine Reste >2 mm der abbaubaren Vorsammelhilfen im Endmaterial nachgewiesen wurden.

Durch den Einsatz von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen wird definitiv der Recyclingprozess erleichtert. Wie schnell jedoch der Abbau außerhalb eines Kompostierungsprozesseses nach Stand der Technik funktioniert, wurde nicht untersucht. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen eine positive Alternative zu den früher verwendeten Plastiksackerl sind. Beim Einsatz zur Sammlung von biogenen Abfällen haben sie großes Potenzial, den technischen Aufwand bei der Kompostierung zu verringern, weil sie unbedenklich dem Rotteprozess zugeführt werden können.

Abstract

Influence of biodegradable pre-collection aids on the rotting process and suitability of the final substrate in horticulture

Hager Hans-Jörg

Plastic waste in the environment has been a growing problem for years, the mountains of waste are getting bigger and the plastic islands in the oceans are growing and growing. This growth is detrimental to humans, animals and the entire planet "Earth". Microplastics in particular are a major problem because they are increasingly entering areas where we do not know what impact this will have on humans. These small particles have even been detected in the human digestive system. But how can this enormous challenge be solved?

A first starting point is the substitution of conventional plastic, especially in the packaging sector, with biodegradable plastics. After the Pastiksackerl ban on January 1, 2020 in Austria, a clear signal was sent against the throwaway mentality and the marketing of biodegradable pre-collection aids was also promoted with a law. But how do the biodegradable pre-collection aids affect the composting process and the compost quality?

To answer this question, tests were carried out in the ABF composting test facility which made it possible to simulate the process in state-of-the-art composting facilities. Three variants were examined (reference without bag addition, variant 2 with one-time addition and variant 3 with continuous bag addition) in three parallel batches each. The rotting temperatures and the CO₂ concentration in the exhaust air were recorded over the entire test period. By taking and analyzing samples of rotting material during the rotting process, the water content, pH value, loss on ignition, organic carbon, total nitrogen, humic acid content and breathability (AT4) were also examined.

The results do not reveal any serious difference between the control variant and the variants with the addition of biodegradable pre-collection aids. It should also be noted

that no residues >2 mm of the degradable pre-collection aids were detected in the end material.

The recycling process is definitely made easier by using biodegradable pre-collection aids. However, how quickly the decomposition works outside of a state-of-the-art composting process has not been investigated. In principle, however, it can be stated that the biodegradable pre-collection aids are a positive alternative to the plastic bags used in the past. When used to collect biogenic waste, they have great potential to reduce the technical effort involved in composting because they can be safely added to the rotting process.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitu	ung	12
	1.1.	Biologisch abbaubare Vorsammelhilfen	12
	1.2.	Zielsetzung	13
	1.3.	Forschungsfragen	14
2.	Stand o	des Wissens/Kenntnisstand/Literaturüberblick	15
	2.1.	Situation in Österreich	15
	2.2.	Kreislauf Abfalllogistik	15
	2.1.	CO ₂ Kreislauf	16
	2.2.	Mikrobiom im Kompost	18
	2.3.	Rotteprozess Allgemein	18
	2.4.	Kunststoffe im Kompost	
	2.5.	Biologisch abbaubare Kunststoffe	
	2.6.	Kompostwerk Lobau	21
3.	Materi	ial und Methoden	23
	3.1.	Verwendetes Input Material	23
	3.1.1	1. Untersuchungsvarianten	23
	3.1.2	2. Umsetzen	25
	3.1.3	3. Probenahmen	25
	3.1.4	4. Reaktorzusammenlegungen	25
	3.1.5	5. Versuchsanordnung	25
	3.2.	Versuchsaufbau	26
	3.3.	Kohlenstoffbilanz	29
	3.3.1	1. Methode 1	29
	3.3.2	2. Methode 2	30
	3.3.3	3. Methode 3	30
	3.4.	Untersuchungsmethoden	31
	3.4.1	1. Probenaufbereitung	31
	3.5.	Wassergehalt	32
	3.6.	pH-Wert	33
	3.7.	Glühverlust	33
	3.8.	Gesamtkohlenstoff	34
	3.9.	Stickstoffbestimmungen	36
	3.9.1	1. Nitratstickstoff N-NO ₃	36
	3.9.2	2. Ammoniumstickstoff NH ₄ –N	37
	3.10.	Atmungsaktivität	38
	3.11.	Pflanzenverträglichkeit - Kressetest	40
	3.12.	Bestimmung der Gesamtpolyphenole	
	3.13.	Phosphatbestimmung	
	3.13.	1.1. Säureaufschlüsse für Phosphatbestimmung	43

3	3.14.	Dichte der Kompostprobe	45
3	3.15.	Bestimmung Huminsäure- und Fulvosäurefraktion	46
3	3.16.	Untersuchung der Kornfraktionen – Ballaststoffe	48
3	3.17.	Statistische Auswertung	51
4. E	Ergebn	nisse und Diskussion	52
4	l.1.	Rotteparameter	52
	4.1.1	1. Rottetemperaturen	52
	4.1.2	2. Huminsäuregehalt	55
	4.1.3	3. Glühverlust und Kohlenstoffgehalt	58
	4.1.4	4. pH-Wert	61
	4.1.5	5. Ammoniumstickstoff	61
	4.1.6	6. Kornfraktionen im Endmaterial	62
	4.1.7	7. Atmungsaktivität	64
2	1.2.	Auswirkung auf den Rotteprozess	65
4	l.3.	Kompostqualität	67
	4.3.1	1. Reste an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen im Endmaterial	67
	4.3.2	2. Volumengewicht im Endmaterial	68
	4.3.3	3. Polyphenolgehalt im Endmaterial	69
	4.3.4	4. Phosphor im Endmaterial	71
	4.3.5	5. Pflanzenverträglichkeit (Kressetest)	74
2	1.4.	Auswirkungen auf die Kompostqualität	75
5. 2	Zusam	nmenfassung	77
Lite	eraturv	verzeichnis	79
Ab	bildun	ngsverzeichnis	81
Tak	ellen	verzeichnis	83
۸			0.4

1. Einleitung

1.1. Biologisch abbaubare Vorsammelhilfen

Die ganze Welt ist seit Jahren mit dem Problem "Mikroplastik" konfrontiert. Wir können diese winzigen Plastikteile schon fast überall finden, sogar in Lebensmitteln wurden sie schon nachgewiesen. Daher wird die Verwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe für viele Bereiche immer interessanter. Nach dem Verbot von Plastiksackerl seit 1. Jänner 2020 in Österreich (Bundesrecht konsolidiert, 2022) sind fast alle heimischen Supermarktketten auf die Biosackerl (z.B. bei der Obsttheke) umgestiegen. Diese kleinen Schritte in eine nachhaltige, mit weniger in der Umwelt verbleibenden Kunststoffen klingt im ersten Moment erfreulich. Wie wirken sich aber diese in der Gesellschaft bereits anerkannten und noch wenig untersuchten biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Rotteprozess bzw. auf die Kompostqualität aus?

Dieser Fragestellung möchte ich in meiner Arbeit nachgehen und mit unterschiedlichsten Methoden untersuchen.

1.2. Zielsetzung

Beim Abbau werden biologisch abbaubare Kunststoffe vollständig zu CO₂ und Wasser mineralisiert, sie haben aber nach heutigem Wissensstand weder Einfluss auf die Kompostqualität (Nährstoffe, Huminstoffe), noch bringen sie einen Vorteil für den Rotteprozess. Eine große Rolle wäre jedoch in der Bioabfallsammlung für sie vorgesehen. Durch die abbaubaren Vorsammelhilfen könnte der Transfer zu den Biotonnen erleichtert werden. Darüber hinaus soll die Bevölkerung dazu animiert werden, die Trennquote an sortenreinem biogenem Abfall zu erhöhen, was letzten Endes wieder der Umwelt zugutekommen würde.

Es wurde bereits in großtechnischen Anlagen nachgewiesen, dass Vorsammelhilfen aus Stärke/PBAT-Blends (poly butylene adipate-co-terephthalate) nach einer Rottedauer von vier Wochen im Rottegut nicht mehr nachweisbar sind. Jedoch gab es Anzeichen, dass durch Zumischen von Vorsammelhilfen die Reaktivität des Rottegutes gestiegen ist. Höhere Rottetemperaturen, bzw. höherer den Sauerstoffverbrauch, können einen negativen Einfluss auf Kompostierungsprozess haben.

Mit dieser Erhöhung der Reaktivität ist vor allem ein leichter Temperaturanstieg in der Heißrotte, bzw. auch ein schnellerer Abbau des Ausgangsmaterials gemeint. In der ABF-Rotteversuchsanlage wurden die Rottebedingungen einer großtechnischen Kompostierungsanlage im Labor simuliert. Als Rottereaktoren wurden umgebaute 7 I fassende Exsikkatoren verwendet.

Es wurden drei Varianten in jeweils drei Parallelansätzen getestet. Für Variante eins (R1, R5, R9) wurde ausschließlich aufbereitetes Rottegut (Inputmischung) der Kompostierungsanlage Kompostwerk Lobau in Wien, verwendet. Bei Variante zwei (R2, R6, R10) wurden diesem Rottegut zu Beginn einmalig zerkleinerte Vorsammelhilfen zugemischt. Bei Variante drei (R3, R7, R11) wurden dem Rottegut und zusätzlich bei definierten zu Beginn Umsetzprozessen zerkleinerte Vorsammelhilfen zugemischt. Im Verlauf des Rotteprozesses wurden die Temperaturen im Rottegut und die CO₂-Konzentrationen in der Abluft (mehrmals) täglich aufgezeichnet.

1.3. Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen sollten mit dieser Masterarbeit beantwortet werden:

- Ist ein Temperaturanstieg in der Heißrotte mit den biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen erkennbar?
- Hat das Zumischen von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen einen Einfluss auf den Kompostierungsprozess?
- Wirkt sich die Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf die Kompostqualität aus?

2. Stand des Wissens/Kenntnisstand/Literaturüberblick

2.1. Situation in Österreich

Kompost ist in Österreich seit Jahrzenten ein wichtiger Bestandteil der Landwirtschaft. Viele Landwirte, vor allem diejenigen im Bereich der biologischen Landwirtschaft, vertrauen auf die Vorteile von Kompost als Dünger. Durch die wertvollen Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalk ist er ein wichtiger Bodenbeleber für ausgelaugte Böden. In Wien werden pro Jahr ca. 100 000 t von biogenen Altstoffen (BMNT, 2017) gesammelt, im Kompostwerk Lobau zu Kompost weiterverarbeitet und neben der Anwendung in den stadteigenen Ökolandbaubetrieben auch kostenlos der Bevölkerung zur Verfügung gestellt. Dieser positive Effekt auf Stadtböden wird auch in Kranz et al. (2020) behandelt und hebt im Besonderen den positiven Effekt auf die Infiltrationsrate der Stadtböden hervor. Eine weitere wichtige Tatsache ist die Verbesserung der Bodengesundheit, die in Hyman et al. (2019) aufgezeigt wird.

2.2. Kreislauf Abfalllogistik

Eine Frage, die dadurch immer wieder in den Vordergrund rückt, ist der Transport von diesen biogenen Abfallstoffen, im ersten Schritt von der Küche zu der Biotonne und im Weiteren zu den Kompostanlagen. Bisher wurde der erste Schritt mit unterschiedlichen Behältnissen erledigt, der jedoch immer wieder Probleme schaffte. Von Behältern, die immer wieder mühsam gereinigt werden müssen, bis zu Kunstoffsackerl, die mit dem Abfall in der Biotonne landen. Der Kompost wird zwar am Ende je nach Anwendungsbereich auf ca. 8 bis 20 mm gesiebt und dadurch so weit als möglich von Fremdstoffen entfrachtet. Durch die verschiedenen Arbeitsschritte wird das Kunstoffsackerl allerdings spröde, zerbrechlich und es kann passieren, dass so Mikroplastik in den Kreislauf Kompost gelangt. Dieses Mikroplastik gelangt dann über den Kompost in die Umwelt.

Diese Makro- und Mesoplastik Gruppen waren die am meisten vorkommenden Gruppen im Kompost. Von der Kunststoffart her überwiegen die Polymere - Polypropylen (PP) zu 58,3% und Polyethylen (PE) zu 36,1% (Scopetani, et al., 2022).

Genau dieses Problem soll mit biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen gelöst werden. Der Biomüll kommt mit den Vorsammelhilfen in die Biotonne und dann weiter zu den Kompostanlagen. Eine Herausforderung ist aber der Anteil dieser biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen in der Kompostmischung und genau mit diesem Thema befasse ich mich in dieser Arbeit.

In Vorversuchen hat sich gezeigt, dass ein hoher Anteil von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen in der homogenen Masse, zu einer Erhöhung der Rottetemperatur führen kann Binner et al. (2019) Diese Erhöhung der Rottetemperatur ist vor allem in Bezug auf die Hygienisierung ein interessanter Punkt.

2.1. CO₂ Kreislauf

CO₂ ist ein Treibhausgas und hat deshalb einen schlechten Ruf, aber ist dieser schlechte Ruf gerechtfertigt?

Der Mensch greift mit jedem Atemzug in den Kohlenstoffkreislauf ein. Mit jedem Atemzug nimmt der Sauerstoffgehalt in unserer Atemluft um ein Drittel ab (auf 15%), hingegen nimmt der CO₂-Gehalt um das Hundertfache zu (Urban & Halm 2010). Aber wie wirkt sich nun Kompost bzw. der Rotteprozess auf den Treibauseffekt aus?

Vor allem Lachgas sowie auch Methan sind Treibhausgase die Emissionen beim Kompostierungsprozess erzeugen, der Beitrag liegt hier bei ca. 10% der Gesamtemissionen aus dem Abfallsektor (Urban & Halm 2010). Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, ist die Abfallwirtschaft aber nur ein kleiner Bereich bei den Treibhausgasemissionen, im Vergleich zu den weiteren Sektoren.

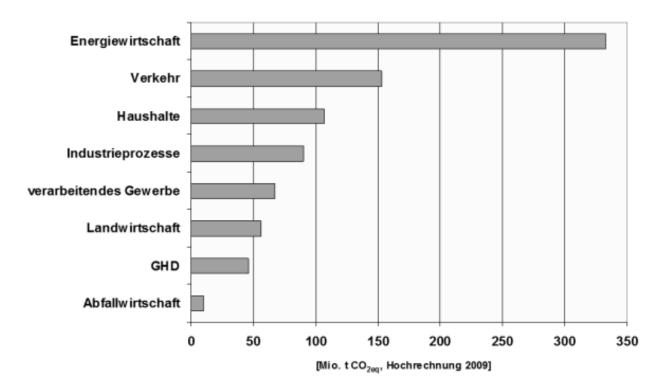


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen nach Sektoren im Jahr 2009 (Urban & Halm, 2010)

Huminsäure spielt ebenfalls eine wichtige Rolle im CO₂ Kreislauf. Abdelhadi (2021) spricht von Substanzen, die ein riesiges Reservoir von organischem Kohlenstoff im Boden bilden. In der Landwirtschaft ist der Boden das Kapital. Ohne gute, humusreiche Böden ist ein nachhaltiges Wirtschaften nicht möglich. Der Humus und zugleich die Huminsäure ist somit ein wichtiger Baustein, um fruchtbare Böden zu forcieren. Diese huminstoffbildenden Prozesse finden nicht von heute auf morgen statt, sondern diese Umwandlung von pflanzlich und tierischem Gewebe durch physikalisch, chemisch und mikrobiellen Abbau, erstreckt sich über Millionen von Jahren (Abdelhadi 2021). Die Huminstoffe sind auch im Kompostierungsprozess ein wichtiger Faktor.

Auch die Fulvosäuren bringen spannende Eigenschaften mit. Ihr Anteil an den Huminstoffen beträgt 60-80 %. Sie haben auch antikanzerogene Eigenschaften. Weiters wurden in den Huminstoffen auch antivirale, entzündungshemmende und lichtschützende Eigenschaften nachgewiesen (Abdelhadi 2021).

2.2. Mikrobiom im Kompost

Das Mikrobiom in jeglichen Bereichen ist eine spannende Angelegenheit. Nicht nur, dass wir täglich von Millionen von Viren, Bakterien und Mikroorganismen umgeben sind, sondern auch die Tatsache, dass aus diesem Verbund eine Symbiose entsteht. Ein signifikant wachsender Reichtum an Bakterien und Pilzen im Boden wurde durch eine 25-jährige Biokompost Anwendung in hoher Dosierung, durch Liu et al. (2022) sehr deutlich festgestellt. Weitere positive Effekte sind die Verbesserung der Pflanzqualität und der Bodengesundheit. Ein spannender Zugang wird auch in Wan et al. (2021) aufgezeigt, nämlich dass Ernährungsgewohnheiten von Tieren eindeutig, die physikalischen-, chemischenund biologischen Eigenschaften von Güllekomposten beeinflussen.

2.3. Rotteprozess Allgemein

Der für mich spannendste Faktor beim Rotteprozess ist der Temperaturanstieg ohne zugeführte Energie. Die Mikroorganismen nutzen hierzu die organische Substanz als Energie. Diese Energie wird beim Abbau frei und erklärt den Temperaturanstieg in der Miete. In verschiedensten Foren wird auch immer wieder über den Rotteprozess als Energiegewinnung gesprochen. Biomeiler und Kompostheizung sind nur einige Schlagworte, die man hierzu finden kann.

Grassinger (1998) beschreibt diesen Temperaturanstieg mit der Anhäufung von abbaubarer Substanz und der damit verbundenen erhöhten Aktivität der Mikroorganismen. Des Weiteren ist die Rotte ein dynamischer Prozess welcher ständigen Schwankungen im Milieu ausgesetzt ist. Dieser komplexe Vorgang der ständigen Anpassung verschiedenster Mikroorganismen, an die aktuell vorherrschenden Bedingungen, sind Pilze nur in bestimmten Phasen vorhanden. Bakterien hingegen findet man über den gesamten Rotteprozess im Kompost.

Die Temperatur kann sich allerdings auch prozesshemmend auswirken. Bei Temperaturen über 65 °C gibt es einen deutlichen Rückgang des biologischen Artenspektrums, was die Abbaugeschwindigkeit verzögert und oft auch zu unerwünschten Stoffwechselprodukten führt (Amlinger et al. 2005).

Auch der Wassergehalt im Rottegut ist ein, wie schon öfters ausgeführt, wichtiger Prozessfaktor. Grundsätzlich sinkt der Optimalbereich im Verlauf der Rotte (Abbildung 2) von 55 – 75 % zu Rottebeginn, auf 35 – 45 % bei der Abreife (Amlinger et al. .2005).

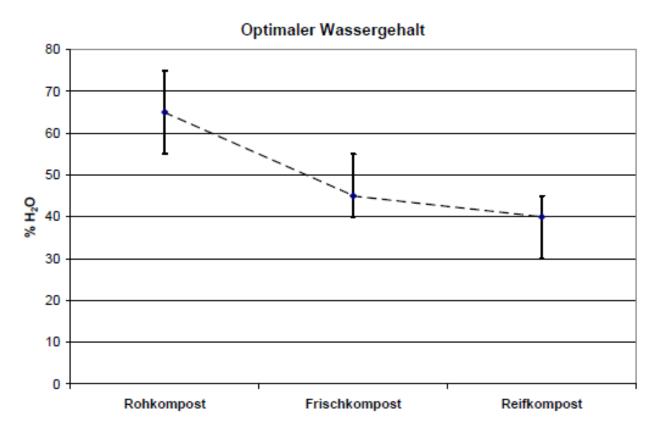


Abbildung 2: Bereich für den optimalen Wassergehalt im Rottegut im Verlauf der Kompostierung mit Schwankungsbreiten (Amlinger et al., 2005)

2.4. Kunststoffe im Kompost

Durch die Verwertung der biogenen Abfallstoffe und Umwandlung derer in Kompost, ist natürlich auch ein gewisser Verschmutzungsgrad durch Mikrokunststoffe gegeben. Eine vollständige Trennung wird allerdings auch zukünftig nicht möglich sein, da es doch sehr viele verschiedene Quellen dieser Störstoffe in den Kompostierungsprozess gibt. Die jährlichen Mikrokunststoff-Emissionen, die vor allem durch Fragmentierung von Störstoffen entstehen, belaufen sich in Österreich laut Zafiu et al. (2020) auf 0,6 bis 110 g pro Einwohnerin. Den Maximalwert hochgerechnet auf die Einwohnerzahl in Österreich (8,917 Mio), ergibt das fast 1000 t (980,87 t) Mikrokunststoff, jährlich. Diese Menge kann durch biologisch Vorsammelhilfen sicher etwas eingebremst werden, um die negativen Auswirkungen auf die Böden und in Folge auch auf die Nahrungskette zu minimieren. Laut Machado et al. (2018) gibt es unterschiedliche Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften von Böden, wie mikrobielle Aktivität, Dichte und Wasserkapazität.

Es gibt verschiedenste Ansätze neue Biokunststoffe zu entwickeln. Vor allem der Ansatz Stärke mit anderen Polysacchariden zu vermischen, wird von Sagnelli et al. (2017) aufgegriffen. Weitere Ansätze gibt es mit einer gentechnisch veränderten Gerstenstärke, 99%ige Amylose, um Designeigenschaften zu erhöhen, die sich in den Komposteigenschaften nicht von der Kontrolle unterscheidet Sagnelli et al. (2017).

2.5. Biologisch abbaubare Kunststoffe

Der sicherlich spannendste Teil dieser Arbeit liegt beim Thema biologisch abbaubare Kunststoffe. Interessant dazu ist auch die Tatsache, dass der Haupteinsatzbereich von biologisch abbaubaren Biokunststoffen medizinische Anwendungen sind (z.B. Implantate und Wirkstoffträger) (BMNT, 2017).

Das Abfallproblem beschäftigt uns ja nicht nur in Österreich, sondern weltweit. In manchen Teilen der Erde, gibt es bereits Müllberge/Müllinseln, die im Volumen mit Bergen unserer Alpenlandschaft vergleichbar sind. Viele Forschungsarbeiten drehen sich daher seit Jahren um das Thema biologisch abbaubare Kunststoffe. Es liegt ein großes Potenzial der Abfallreduktion, speziell im Bereich biologisch abbaubare Vorsammelhilfen.

Ein Punkt ist, dass die Sammlung der sogenannten biologisch abbaubaren Kunststoffe wegfällt, was wiederrum viel Kosten für Sortierung, Transport und Logistik einspart. Ebenfalls sind diese biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen, auch wenn sie in Ausnahmefällen den Weg an der Kompostmiete vorbei machen, nicht unbedenklich für die Umwelt. Das Umweltbundesamt (2021) in Deutschland definiert Kunststoffe als "biologisch abbaubar", wenn sie nach zwölf Wochen zu 90 Prozent abgebaut sind. Des Weiteren wird in dieser Proschüre (Umweltbundesamt, 2021) explizit darauf hingewiesen, dass die Kompostierung im Garten nicht für diese biologisch abbaubaren Kunststoffe ausgelegt ist, da die Temperatur von 60 °C nicht erreicht wird. Der allgemein kritische Zugang zu biologisch abbaubaren Kunststoffen und auch das positive Marketing mit den Begriffen "biobasiert" und "biologisch abbaubar" die in der

Offentlichkeit oft ein falsches Bild (der vollständigen Abbaubarkeit – was so nicht stimmt) erzeugen, werden angesprochen (Umweltbundesamt, 2021). In Österreich ist die DIN/ÖNORM EN 13432 das Handbuch dazu, in der die biologische Abbaubarkeit von Kunststoffen definiert ist. Neben der biologischen Abbaubarkeit, sind auch die chemische Charakterisierung und die Ökotoxizität des Kompostes in den Ausführungen von Binner et al. (2019).

Die in dieser Arbeit verwendeten biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen wurden vom Kompost und Biogas Verband Österreich zur Verfügung gestellt. Als Rohstoff zur Herstellung dieser Bio Kreislauf Sackerl wird unter anderem Kartoffelstärke verwendet. Die Materialstärke der Vorsammelhilfen ist 12 µm. Entscheidend jedoch ist, dass die verwendeten biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen nach der ÖNORM EN 13432 zertifiziert sind. Durch diese Überprüfung werden gesamt vier Kriterien bzw. Eigenschaften gemessen, welche in den Kernaussagen der EN 13432 festgehalten sind (Fritz 2019).

2.6. Kompostwerk Lobau

Das Rohmaterial für die Versuche wurde vom Kompostwerk Lobau zur Verfügung gestellt. Dieses wird von der MA 48 betrieben und gehört somit zur Stadt Wien.

Es ist eine offene Mietenkompostierungsanlage mit einer durchschnittlichen Rottedauer von zehn Wochen. Ins Kompostwerk werden hauptsächlich Grünschnitt wie - Rasen, Laub, Baum- und Strauchschnitt, angeliefert und anschießend zerkleinert. In untergeordneten Mengen wird auch Bioabfall von den Innenbezirken verarbeitet. Der fertige Kompost wird dann auf den landwirtschaftlichen Flächen der Stadt Wien ausgebracht und so wieder dem natürlichen Kreislauf zugeführt (Abbildung 3).

BIOKREISLAUFWIRTSCHAFT



Abbildung 3: Biokreislaufwirtschaft der Stadt Wien (Stadt Wien, 2022)

3. Material und Methoden

3.1. Verwendetes Input Material

Das verwendete Inputmaterial aus der Kompostanlage Lobau wurde auf < 20 mm zerkleinert und auf einen für die Biologie günstigen Wassergehalt (abgeschätzt mittels Faustprobe) angefeuchtet. Anschließend wurde das Inputmaterial in die neun Reaktoren eingebracht. Die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen wurden, wie in der Beschreibung zu den Reaktoren (3.1.1) näher erläutert, hinzugefügt.

3.1.1. Untersuchungsvarianten

Insgesamt wurde neun Reaktoren in der Klimakammer gestartet. Pro Variante gab es drei Reaktoren, die im Laufe des Versuchszeitraums (104 Tage) mehrmals umgesetzt und schlussendlich vereinigt wurden. Reaktoren 1, 5 und 9 waren die Kontrollvariante, diesen wurden also keine biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen hinzugefügt (Abbildung 4).



Abbildung 4: Reaktor 1 mit Inputmaterial ohne biologisch abbaubare Vorsammelhilfen

Dem Rottegut in den Reaktoren 2, 6 und 10 wurden 38 g (es wurde immer diese Menge verwendet) biologisch abbaubare Vorsammelhilfen hinzugefügt, was einem Prozentsatz von ca. 1,5 %, bezogen auf die Gesamtmasse bei Versuchsstart, entspricht (Tabelle 1).

Den Reaktoren R3, R7 und R11 wurden an vier Zeitpunkten während der Rotte jeweils 38 g biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen hinzugefügt.

Die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen bestehen u.a. aus Kartoffelstärke, welche aus Abfallresten gewonnen werden. Das wesentliche ist jedoch, dass sie nach den Kernaussagen von Fritz (2019) zertifiziert sind. Nur wenn alle vier Prüfschritte erfüllt werden, kommt es zu einer positiven Bewertung. Durch diese Zertifizierung ist sichergestellt, dass das Material den Kompostierungsprozess nicht stört und es auch zu keiner Qualitätsminderung des Kompostes kommt.

Die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen wurden dazu mit einem Papierschneider zerkleinert, mit dem Kompost zu einer homogenen Masse vermischt und dann in die Reaktoren gegeben. Der Prozentsatz bei R3, R7 und R11 an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen entsprach dann an Tag 26 ca. 6 % bezogen auf die Gesamtstartmasse.

Tabelle 1: Input der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen (R-Reaktor)

[Tage]	R1	R2	R3	R5	R6	R7	R9	R10	R11
0 (Start)	-	38 g	38 g	-	38 g	38 g	-	38 g	38 g
13	-	-	38 g	-	-	38 g	-	-	38 g
26	-	-	38 g	-	-	38 g	-	-	38 g
37	-	-	38 g	-	-	38 g	-	-	38 g
Gesamt		38 g	152 g		38 g	152 g		38 g	152 g

Nach 37 Tagen wurde das erste Mal, je Variante von drei, auf zwei Reaktoren vereinigt. Das letzte Umsetzen, von zwei auf schlussendlich den Hauptreaktor, fand nach 61 Tagen statt.

3.1.2. Umsetzen

Das Umsetzen der Reaktoren erfolgte immer außerhalb der Klimakammer. Die Umsetzzeitpunkte waren an Tag 5, 13, 19, 37 und 61. Es wurden die Reaktoren geöffnet, das Inputmaterial in einen weiteren Behälter gelehrt und dort vermischt. Der Wassergehalt wurde ebenfalls überprüft und gegeben falls angepasst. Anschließend wurde das Material wieder in die Reaktoren gegeben, die Reaktoren wurden luftdicht verschlossen und anschließend wieder an das Belüftungssystem angeschlossen.

3.1.3. Probenahmen

Zeitgleich mit dem Umsetzten erfolgte wenn geplant, die Probennahme. Die Probenahmen wurden an Tag 19, 37, 61 und am Versuchsende (Tag 104) durchgeführt.

3.1.4. Reaktorzusammenlegungen

Die Zusammenlegung der Reaktoren nach 37 und letztendlich 61 Tagen erfolgte deshalb, weil es durch die Materialentnahme zu einen Massenverlust kam. Die späte Probenahmezeitpunkt (nach 37 Tagen) wurde gewählt um die Materialentnahme so gering wie möglich zu halten, damit das Zusammenlegen der Reaktoren möglichst lange hinausgeschoben werden konnte.

3.1.5. Versuchsanordnung

Hierfür wurden 9 Reaktoren über 15 Wochen beobachtet und diverse Proben über den Versuchszeitraum entnommen. Um Fehler im Rotteprozess erkennen zu können, wurde eine Dreifachbestimmung (drei Reaktoren je Variante) bis zur sechsten Rottewoche und nach "Reaktorzusammenlegungen" Doppelbestimmungen bis zur neunten Woche durchgeführt. Von der neunten Woche bis zum Ende waren dann nur noch ein Reaktor je Variante über.

Die Reaktoren wurden wie auf Abbildung 5 zu sehen ist, angeordnet. Reaktor 1, 2 und 3 ganz oben, in der Mitte die Reaktoren 5, 6 und 7 und ganz unten die Reaktoren 9, 10 und 11. In jeder Etage wurde auch noch eine Kunststoffflasche mit Wasser positioniert, in der bei jeder Messung der Rottetemperaturen die "Klimakammertemperaturen" der jeweiligen Etagen festgehalten wurde.



Abbildung 5: Anordnung der Reaktoren in der Klimakammer am Institut für Abfallwirtschaft

3.2. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde im Labor des ABF BOKU durchgeführt. Die Rotteversuchsanlage besteht aus 12 Glasreaktoren, die in einer Klimakammer (KK) situiert sind.



Abbildung 6: Klimakammer am Institut für Abfallwirtschaft

Das Belüftungssystem (Abbildung 7) spielt bei diesem Versuch eine wichtige und entscheidende Hauptaufgabe des Rolle. Belüftungssystem ist Sauerstoffversorgung des Rottegutes zu gewährleisten. Weitere Aufgaben sind der Abtransport von CO₂ und anderen Stoffwechselprodukten, sowie auch der Abtransport der Wärme. Die Reaktoren werden über ein Druckluftsystem, das von einem ölgeschmierten Kolbenkompressor wird. gespeist versorgt. Mittels Schwebekörperdurchflussmessern kann die Zuluftmenge jedes einzelnen Reaktors geregelt und aufgezeichnet werden.

Die Klimakammertemperatur wurde immer 0,5 °C unter der Rottetemperatur von Reaktor 1 eingestellt, um Wärmeverluste zu vermeiden, andererseits darf auch nicht zwangserhitzt werden. Um den in offenen Kompostanlagen auftretendem Wärmeaustrag beim Umsetzen zu simulieren, wurde nach jedem Umsetzvorgang die KK-temperatur abgesenkt und dann im weiteren Rotteverlauf wieder schrittweise erhöht.

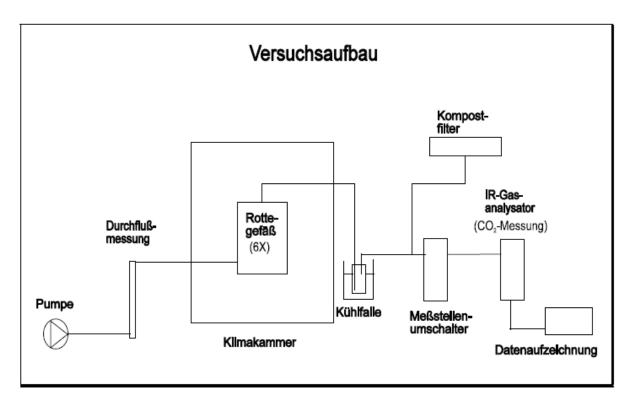


Abbildung 7: Beschreibung der Rotteversuchsanlage im Labor des ABF BOKU (Binner, Analysemethoden, 2020)

Die durchsichtigen Rottereaktoren waren, vor allem für die Beobachtung von Mycelwachstum oder auch Vernässung, sehr von Vorteil. Eine seitliche Öffnung mit Schraubverschluss ermöglichte es Messfühler zur Temperaturerfassung einzuführen. Die Temperaturmessung wurde täglich drei Mal durchgeführt. die Um Sauerstoffversorgung Rottegutes des beurteilen zu können, wurde der Kohlendioxidgehalt in der Rotteabluft im 3-Stundentakt mittels CO₂-Analysators gemessen und aufgezeichnet. Da unter aeroben Bedingungen die Summe aus O₂ + CO₂ = ca. 20,8 Vol% ergibt, konnte so direkt der O₂-Gehalt berechnet werden. Um eine trockene Abluft für die Kohlendioxidmessung sicherzustellen, wurde die Abluft durch Gaswaschflaschen, die sich in einem gekühlten Wasserbad befanden, geleitet. Der CO₂ Analysator arbeitet mittels Infrarot Messzelle. Über einer bestimmten Wellenlänge nehmen die CO₂ – Moleküle Infrarotstrahlung auf, diese Aufnahme wird mit einem Messkopf gemessen und über eine Referenzmessung im Abgas die CO₂ -Konzentration bestimmt. Der Wert wird dann mithilfe eines Stromsignals von 4 - 20 mA ausgegeben. Die Berechnung des Sauerstoffgehaltes erfolgt dann unter der Voraussetzung, dass aus einem Mol O₂ ein Mol CO₂ entsteht.

IGB & ABF BOKU

20,8 Volumprozent – CO₂-Gehalt in der Abluft = Restsauerstoffgehalt.

Das gemessenen CO₂ stammt aus der Atmung der Mikroorganismen. Diese Messung wurde alle 3 Stunden über einen Gleichspannungsschreiber und auch redundant über einen PC aufgezeichnet.

3.3. Kohlenstoffbilanz

Da der Kohlenstoff organischer Verbindungen oxidiert und als CO₂ freigesetzt wird, erfährt die gesamte organische Substanz im Verlauf der Rotte einen Masseverlust. Dieser Verlust an Kohlenstoff wurde mit der Bilanzierung über das ausgetragene Kohlendioxid berechnet.

3.3.1. Methode 1

Vergleich des organischen Kohlenstoffgehaltes im Ausgangs- und Endmaterial: Die Berechnung des Kohlenstoffverlusts erfolgt über TOC am Beginn und am Ende des Versuches (der jeweilige Wassergehalt wird rechnerisch berücksichtigt).

$$C_{orgA} = Fs_{A(g)} * \frac{100 - WG_A}{100} * \frac{TOC_A}{100} [g TM]$$

$$C_{orgE} = Fs_E * \frac{100 - WG_E}{100} * \frac{TOC_E}{100} [g TM]$$

$$\Delta C = C_{orgA} - C_{orgE} [g TM] bzw. \frac{\Delta C}{C_{orgA}} * 100 [\% TM]$$

Vergleich der organischen Substanz im Ausgangs- und Endmaterial: Die Bestimmung der organischen Substanz erfolgt über den Glühverlust.

$$OS_A = FS_A * \frac{100 - WG_A}{100} * \frac{GV_A}{100} [g TM]$$

$$OS_E = FS_E * \frac{100 - WG_E}{100} * \frac{GV_E}{100} [g TM]$$

$$\Delta OS = OS_A - OS_E \ bzw. \ \frac{\Delta OS}{OS_A} * 100 \ [\% \ TM]$$

Es gilt:

Corg..... organischer Kohlenstoff [g TM]

FS..... Feuchtsubstanz [g FM]

GV...... Glühverlust [% TM]

OS..... organische Substanz [g TM]

TOC..... organischer Kohlenstoff [% TM]

WG...... Wassergehalt [% FM]

Indizes A...... Ausgangsmaterial

Indizes E..... Endmaterial

Festzuhalten ist, dass sich schon geringe Abweichungen beim Wassergehalt stark auf die Bilanzen auswirken.

3.3.2. Methode 2

Berechnung des Abbaugrades:

Unter der Annahme, dass der mineralische Anteil im Kompost über die gesamte Rottedauer konstant bleibt, kann der Verlust an organischer Substanz über den Anfangs- und Endglühverlust berechnet werden.

$$\Delta OS = \frac{100}{GV_A} * \left(1 - \frac{100 - GV_A}{100 - GV_E} \right) * 100 [\% TM]$$

3.3.3. Methode 3

Hierzu wurden das zugeführte Luftvolumen und der CO₂-Gehalt in der Abluft gemessen.

$$\Delta C = VL * CO_2 \text{ Vol} \% / 100 * \rho CO_2 * 12/44 \frac{g}{h}$$

Es gilt:

IGB & ABF BOKU

ΔC...... C-Abbau in [g TM/h]

VL	. Zuluftmenge [I/h]
CO ₂ Vol%	CO ₂ Vol% der Abluft - CO ₂ Vol% der Zuluft
ρCO ₂	Dichte 1,8 [g/cm ³] bei 25 °C und 1013 mbar
12/44	Verhältnis Molgewicht C zu Molgewicht CO ₂

Der Gesamtabbau an Kohlenstoff ergibt sich dann durch die Aufsummierung über die Prozessdauer. Das Verhältnis von GV/TOC für Komposte bewegt sich meist um 1,72. Mit dieser Annahme kann der mineralisierte Kohlenstoff in abgebaute organische Substanz umgerechnet werden.

$$\Delta OS = \Delta C * 1.8 [g]$$

Fehlermöglichkeiten können bei der Messung des Durchflusses, in Systemundichtheiten aber auch bei der CO₂-Messung auftreten.

Die Bestimmung des Wassergehaltes sowie chemische Analysen (GV/TOC) müssen nur vom Ausgangsmaterial gemacht werden.

3.4. Untersuchungsmethoden

3.4.1. Probenaufbereitung

3.4.1.1. Festproben

Grundsätzlich wichtig bei Festproben ist, dass die Probenahme während des Umsetzens erfolgt.

Frische Laborprobe:

Als frische Laborprobe wird die naturfeuchte Probe direkt nach der Entnahme bezeichnet. Wichtig bei der frischen Laborprobe ist vor allem, dass sie möglichst rasch untersucht wird, um Veränderungen durch zu lange Lagerung an der Luft auszuschließen. Sollte eine sofortige Analyse nicht möglich sein, muss die Probe möglichst kühl gelagert (für max. 24 Stunden) oder eingefroren werden. So werden die Mikroorganismen inaktiviert, sowie weitere chemische Vorgänge verhindert. Der

Auftauvorgang hat möglichst schonend zu erfolgen – im Kühlschrank oder max. bei Raumtemperatur.

Getrocknete Laborprobe:

Die frische Laborprobe wurde (in Abhängigkeit von den zu untersuchenden Parametern) bei Raumtemperatur oder bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Dadurch werden Trockenmasse ermittelt, Mikroorganismen inaktiviert und chemische Vorgänge verhindert.

Analysenprobe:

Im ersten Schritt wurde die getrocknete Laborprobe zerkleinert und homogenisiert, dies ist vor allem für die nachfolgenden chemischen Analysen von Bedeutung. Die Zerkleinerung erfolgte mit der Scheibenschwingmühle (RETSCH RS1). Die 100 ml fassende Achatschale, mit verschiedensten Achateinsätzen ist der Grundbestandteil der Mahlwerkzeuge. Die durch Zentrifugalkraft in kreisende Bewegung versetzten Werkzeuge, zerrieben dadurch die Probe. Die Vermahlung erfolgt ohne Kontaminierung (durch das Mahlgerät) und ohne Erhitzung der Probe.

3.4.1.2. Eluatproben

Eluatproben sind für den pH-Wert, Ammonium NH₄-N und Nitrat NO₃-N relevant. Diese Messungen sind möglichst rasch nach der Probenahme durchzuführen. Für die Eluatproben wurden 100 g Probenmaterial in verschließbare Behälter mit Deionat (1:10) aufgefüllt und anschließend eine Stunde auf den Überkopfschüttler gegeben. Die Eluatproben wurden anschließend durch Faltenfilter filtriert. Anschließend wurden die Proben auf geeignete Weise stabilisiert (z.B. Tieffrieren). Wichtig auch hier wieder, das Auftauen hat schonend zu erfolgen. Vor der Analyse der Flüssigproben, ist vor allem auf eine gute Homogenisierung der Proben zu achten.

3.5. Wassergehalt

Für die Messung des Wassergehalts wurde die frische Laborprobe verwendet. Die Trocknung bei 105 °C erfolgte im Trockenschrank für >24 Stunden. Hierfür wurden 50 – 115 g Frischprobe in vorher ausgewogenen Aluminiumtassen auf 0,1 g eingewogen

und gleichmäßig in den Tassen verteilt. Die Gewichtskonstanz sollte für diese Menge in der Regel nach 24 Stunden erreicht sein. Anschließend wurden die Tassen in noch warmen Zustand ausgewogen. Die Gewichtskonstanz konnte ganz einfach, mit einer Gewichtserfassung, einer weiteren Stunde im Trockenschrank und einer abermaligen Gewichtserfassung überprüft werden.

Der Wassergehalt wurde wie folgt berechnet und auf eine Dezimale genau angegeben.

$$WG[\% FM] = \frac{100 * (Einwaage feucht - EInwaage trocken)}{Einwaage feucht}$$

Das Ergebnis wurde in % FM angegeben. Es wurden nur das Ausgangs- und Endmaterial mit dieser Methode im Trockenschrank analysiert. Um Probenmaterial zu sparen, wurden die Zwischenproben luftgetrocknet (mind. 7 Tage bei Raumtemperatur). Die Berechnung erfolgte genau gleich, wobei zusätzlich der Restwassergehalt (die Bestimmung erfolgt im Zuge der Glühverlustbestimmung) rechnerisch berücksichtigt wurde.

3.6. pH-Wert

10 g der aufbereiteten Probe wurden mit 100 ml Calziumchlorid-Dihydratlösung versetzt (1:10) und anschließend auf dem Überkopfschüttler 2 Stunden eluiert. Danach wurde die Flüssigphase abfiltriert und mit einem pH-Meter WTW 531 auf ihren pH-Wert analysiert. Das pH-Meter wurde vor jeder Messserie kalibriert.

3.7. Glühverlust

Um den Glühverlust zu bestimmen, wurden 1 – 4 g Analysenprobe (um Probenmenge zu sparen wurden nicht wie in der Analysenvorschrift vorgesehen 10 g verwendet) auf 0,1 g genau in Porzellantiegel eingewogen. Die Porzellantiegel (DIN 12904) wurden vorab ausgewogen. Die Porzellantiegel kamen dann noch in den Trockenschrank bei 105 °C, um den Restwassergehalt zu beseitigen. Anschließend kamen die Proben, in den Muffelofen (Firma: Naber, Model: L9-C6) wo die Temperatur langsam auf 550 °C gesteigert wurde, um ein Überschreiten von 550 °C zu verhindern, weil da auch

anorganische Kohlenstoffverbindungen (Carbonate) zerstört würden. Der Glühverlust ist also die Menge an organischem Kohlenstoffverbindungen in der Probe, was auch den Zusammenhang der beiden Werte verdeutlicht.

Hierzu wird oft auch mit der Näherungsmethode gearbeitet.

Ein wichtiger Punkt in diesem Prozess besteht im Heizwert, weshalb es wichtig ist die Proben nicht sofort auf 550 °C zu erhitzen, das würde nämlich dann zu Temperaturen über 600 °C in der Probe führen, welche dann einen höheren Wert an organischer Substanz vortäuschen würden. Um diesen Vorgang zu verhindern wurde der Muffelofen langsam aufgeheizt, sodass die Proben reichlich vorverbrannt wurden. Nach dem Abkühlen im Exsikkator wurden die Tiegel ausgewogen.

$$\label{eq:Glühverlust} \textit{Gl\"{u}hverlust} \ [\%TM] = 100 * \frac{(\textit{Einwaage trocken} - \textit{Gl\"{u}hr\"{u}ckstand})}{\textit{Einwaage trocken}}$$

Abschließend wurde noch aus den zwei Wiederholungen der Mittelwert auf eine Kommastelle genau gebildet.

3.8. Gesamtkohlenstoff

Die Analyse des Gesamtkohlenstoffgehaltes (TC) erfolgte mit dem CNS-Analysator VARIO-MAX im Labor des ABF BOKU. Hierzu wurden für die Verbrennung und Messung ca. 200 – 400 mg luftgetrocknete, analysenfein aufgemahlene Probe eingewogen und bei 900 °C im Sauerstoffstrom, einer vollständigen trockenen Verbrennung unterzogen. Der CNS-Analysator kann in einem Arbeitsgang Gesamtkohlenstoff (TC) und Gesamtstickstoff (TN) analysieren.

Der Zuluftstrom indem Helium als Trägergas und O₂ zur Verbrennung enthalten sind wurde vorgetrocknet. Die Vorlagenröhrchen wurden mit Phosphorpentoxid befüllt. Anschließend wurden die Proben in den Verbrennungsraum eingebracht. Durch ein Reduktionsrohr (830 °C), welches Korundkugeln zur gleichmäßigen Gasverteilung

enthält, wurde das bei der Verbrennung entstehende Gas NO_x zu N₂ reduziert. Das Gas wurde mittels Wolframgranulat, Kupferoxid und Kupferdraht reduziert. Die darüber positionierte Silberwolle soll die sauren Nebenprodukte der Verbrennung binden. Das entstandene Verbrennungsgas wurde dann zu CO₂-Absorber und Wärmeleitfähigkeitsdetektor geleitet. Zuerst wurde der Stickstoff detektiert. Anschließend wurde der CO₂ – Absorber auf 250 °C erhitzt, um das CO₂ zu desorbieren damit es vom Wärmeleitfähigkeitsdetektor erfasst werden kann. Nach diesem Vorgang kühlt der Absorber auf Raumtemperatur ab. In der Steuerungssoftware am PC wurde dann die Auswertung durchgeführt und man erhält direkt die Elemente Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) in % bezogen auf die Einwaage. Wichtig für die Berechnung ist noch die Berücksichtigung des Restwassergehaltes.

Die Kalibration des C/N Analysator erfolgt vor der Analyse mit L-Glutaminsäure. Hier wurde ein Tageskorrekturfaktor ermittelt der direkt in die Berechnung miteinfließt. C/N Gehalt L-Glutaminsäure: C = 40,75 % TM, N = 9,52 % TM

Von jeder Probe wurden 2 Wiederholungsanalysen durchgeführt.

Der organische Kohlenstoff wurde aus Gesamtkohlenstoff (TC) minus anorganischer Kohlenstoff (TIC) errechnet. Der TIC wurde mittels Glührückstands-Methode bestimmt. Im Glührückstand sind nur noch anorganische Kohlenstoffverbindungen enthalten (die Glühtemperatur von 550 °C garantiert, dass Carbonate während des Verglühens nicht freigesetzt werden). Durch Analyse des Glührückstanden mittels VARIO-MAX wird der TIC bestimmt. Dabei ist es wichtig den Masseverlust der Probe durch das Verglühen zu berücksichtigen. Der korrigierte Wert wird dann vom Gesamtkohlenstoff (TOC) abgezogen.

$$TOC[\%TM] = TC[\%TM] - \frac{TIC \ im \ Gl\"{u}hr\"{u}ckstand \ [\%TM] * Gl\"{u}hr\"{u}ckstand \ [\%TM]}{100}$$

Das Ergebnis wurde auf eine Kommastelle genau angegeben.

3.9. Stickstoffbestimmungen

3.9.1. Nitratstickstoff N-NO₃

Der Nitratstickstoffmessung wurde im Labor des ABF BOKU durchgeführt.

Verwendete Reagenzien:

- Sulfaminsäure
- Säuremischung (H₂SO₄ / H₃PO₄ 1:1),
- Farbreagenz (Dimethylpehnol 0,12 g gelöst in 100ml Eisessig)

Es wurden aus der Stammlösung (50 mg NO₃-N / I=0,3609 g KNO₃ vorher bei 105 °C getrocknet in genau 1000 ml Deionat lösen) verschiedene Standardlösungen verdünnt und angesetzt. Die Messung am Photometer (Firma: Hach-Lange, Model:) bei 324 nm erfolgte nach 10 Min. Die Standardlösungen wurden über den Messbereich von 0,5 – 25 mg/l verteilt.

Zu der Standardlösung wurden etwas Sulfaminsäure zugeben. Anschließend wurden 8 ml Säuremischung und 1 ml Farbreagenz zugeben und vermischt.

Für den Grundlinienabgleich nur die Säuremischung in die Küvette füllen. Küvette wurde immer mit der nächsten Messlösung einmal gespült.

Die Standardgerade wurde berechnet und aus dieser die Steigung k ermittelt.

$$Y = kx + d$$
 Y = Extinktion
d = Blindwert

x = Konzentration der Standardlösung

k = Steigung

$$k = \frac{Y-d}{x}$$
 Umformung auf k

$$x = \frac{Y-d}{k}$$
 Umformung auf x

Es wird anschließend jeder x-Wert berechnet und in die Formel eingesetzt.

$$NO_3 - N[\frac{mg}{kg}TM] = \frac{Konz.Probe~x~Verd"unnung~x~100000}{Feststoffeinwaage*(100 - Wassergehalt)}$$

3.9.2. Ammoniumstickstoff NH₄-N

Die Ammuniumstickstoffmessung wurde im Labor des ABF BOKU durchgeführt.

Verwendete Reagenzien:

Salicylat/Citrat Lösungsreagenz

- 13 g Na Salicylat, 13 g Na Citrat, 0,097g Nitroprussid-Natrium, 100 ml Deionat
 NaOH Reagenz
 - 3,2 g NaOH, 0,2 g Na dichlorcyanorat, 100 ml Deionat

NH4-N Stammlösung 100 mg/l NH4N

0,4717 g Ammoniumsullfat (NH₄)2SO₄ (bei 105 °C getrocknet), in 1.000 ml
 Deionat lösen

Es wurde wieder über die Geradengleichung y = kx + d eine Kalibrationsgerade erstellt und geeignete Konzentrationsabstufungen aus der Stammlösung hergestellt.

Messbereich von 0 – 1,2 mg/l

Aus der Formel k = (y - d) / x wurde wieder für jede Standardlösung die Steigung k ermittelt. Es gilt:

y = kx + d y = Extinktion

d = Blindwert

 $x = Konzentration NH_4-N [mg/l]$

k = Steigung

In einen 25 ml Messkolben wurde die entsprechende Menge an Stammlösung pipettiert und dann mit Deionat auf ca. die Hälfte aufgefüllt. Anschließend wurden 2 ml Salicylat/Citrat Reagenz zugeben. Danach wurde 15 – 20 Sekunden gewartet und dabei der Messkolben geschwenkt, dann wurden noch 2 ml des NaOH-Reagenzes hinzugeben und mit Deionat bis zur Marke aufgefüllt. Anschließend wurde es wieder geschwenkt und dann 60 Min. stehen gelassen. Am Photometer wurde dann der grüne Ammonium-Salicylat/Citrat Komplex bei 655 nm gegen Deionat gemessen.

Für den Probenansatz war eine Verdünnung der Probe erforderlich. Es wurde wieder 60 Min. gewartet und wieder am Photometer bei 655 nm gemessen (Firma: Hach-Lange, Model: DR5000).

Für die Auswertung wurde wieder die Formel Y = kx + d auf x (mg/l) umgeformt -> x = ((Y - d) / k) * V (Verdünnung). Außerdem wurde in einem separatem Auswerteblatt noch von mg/l auf mg/kg TM umgerechnet. Sehr wichtig war es auf den linearen Bereich zu achten und die Verdünnung so zu wählen, dass dieser nicht überschritten wurde. Zusätzlich musste auch ein Blindwert mitgemessen werden, in diesem Ansatz wurde einfach statt der Probe oder der Standardlösung, Deionat verwendet.

3.10. Atmungsaktivität

Atmungsaktivität ist der Sauerstoffverbrauch pro Zeiteinheit während des aeroben Abbaus von organischer Substanz. Sie ist umso geringer, je weitgehender das Material abgebaut (stabilisiert) wurde. Grundsätzlich wird die Atmungsaktivität über einen Zeitraum von vier Tagen bestimmt (AT₄). Die Versuchstemperatur beträgt 20 °C. Am ABF-BOKU erfolgt die Messung mittels Sappromat.

Beim Abbau von organischer Substanz durch die Mikroorganismen wird Sauerstoff verbraucht und ein gleich großes Volumen an Kohlendioxid gebildet. Dieses CO₂ wird durch Natronkalk-Plätzchen absorbiert. Dadurch entsteht ein Unterdruck in der Messeinheit und dieser Unterdruck induziert eine Nachlieferung des verbrauchten Sauerstoffs. Die dafür benötigte Strommenge ist direkt proportional zur verbrauchten Sauerstoffmenge.

Verwendete Reagenzien:

- NaOH Plätzchen
- 0,5 %ige Schwefelsäure
- 5 %ige Schwefelsäure
- Kupfer-II-Sulfat-Lösung

Sapromat E (Firma: Voith-Sulzer, Abbildung 8):

Der Sapromat besteht aus Steuergerät, Wasserbad, Messeinheit und Auswertungssoftware. Die Messeinheit wiederrum besteht aus Reaktionsgefäß,

Sauerstofferzeuger und Schaltmanometer. Es handelt sich dabei um ein abgeschlossenes System. Alle Teile müssen bis zum Schraubverschluss in einem Wasser mit stetig konstanter Temperatur stehen. Das Steuergerät berechnet dann aus Stromeinschaltdauer und Stromstärke die Atmungsaktivität der untersuchten Probe in mg O₂/I.

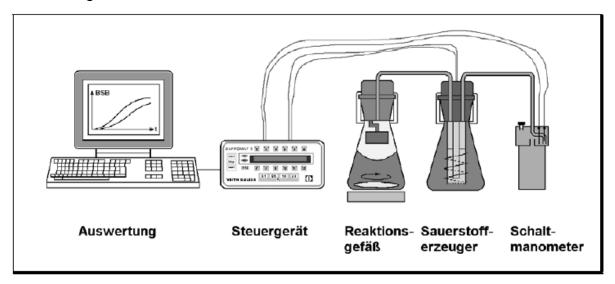


Abbildung 8: Aufbau des Sappromat E im Labor des ABF BOKU (Binner, Analysemethoden, 2020)

Probenvorbereitung und Durchführung:

Mittels Faustprobe wird die zu untersuchende Probe auf einen günstigen Wassergehalt eingestellt und fünf bis sieben Stunden vorbelüftet. Der günstige Wassergehalt liegt üblicherweise zwischen 40 und 50 %. Anschließend werden 30 - 45 g FM in die Reaktionsgefäße eingewogen. Danach wird das Absorber Gefäß mit NaOH-Körnern befüllt und das Reaktionsgefäß verschlossen in das Wasserbad eingesetzt. Nach Angleichen an die Wassertemperatur wird es an den Sauerstofferzeuger angeschlossen. Das Gefäß wird vor dem Anschließen leicht mit der Hand angewärmt, um durch das anschließende Abkühlen im Wasserbad im System einen geringen Unterdruck zu erzeugen. Dieser Unterdruck lässt dann die Schwefelsäure im Steigröhrchen ansteigen und schließt so den Kontakt zwischen den Elektroden. Der Sauerstofferzeuger produziert dann so lange, bis der Kontakt durch Druckausgleich wieder aufgehoben wird.

Wichtig ist auch noch die Einstellung des geeigneten O₂-Faktors. Reaktive Proben werden mit Faktor 2, sehr stabile Materialien mit Faktor 0,5 untersucht. Der O₂-Faktor ist dann entsprechend in die Auswertung miteinzubeziehen.

Sind sehr reaktive Proben im Reaktionsgefäß, wird es nach längstens 24 Stunden aus dem Sappromat entnommen und das Testmaterial in Aluminiumtassen überführt. Um hemmende Stoffwechselprodukte aus dem System zu bekommen, wird es dann für 15 – 30 Minuten an der Raumluft stehen gelassen. Wichtig ist es diesen Vorgang, vor der Abnahme der Sauerstoffverbrauchsraten durchzuführen. Es kann ansonsten zu einer Hemmung der Mikroorganismen kommen.

Die Druckwerte werden vom Steuergerät aufgezeichnet und anschließend in ein Excel-File gebracht. Dort werden die Sauerstoffverbrauchskurven erstellt.

Das Ergebnis wird als Mittelwert der beiden Wiederholungen in mg O₂/g TM auf ein Kommastelle genau angegeben.

3.11. Pflanzenverträglichkeit - Kressetest

Der Kressetest wurde im Labor des ABF-BOKU durchgeführt (Abbildung 9).

Probe: Frische Laborprobe (längere Lagerung im Kühlschrank bei 4 °C) Substrate:

Als Vergleichssubstrat wurden Substraterde und Tennismehl verwendet. Für das Vergleichssubstrat (VS) wurden Substraterde und Tennismehl wie folgend angemischt. Zu den Mischungen MK15 und MK30 kam dann zusätzlich noch die Kompostprobe hinzu.

VS => 300 g Substraterde + 300 g Tennismehl = 600 g Mischung
Das Vergleichssubstrat (VS) wurde dann in drei Neubauerschalen zu je 200 g aufgeteilt.

Die erste Mischung (MK15) mit 15 % Kompost wurde wie folgt gemischt:

MK15 => 255 g Substraterde + 255 g Tennismehl + 90 g Kompost = 600 g MK15

Die nächste Mischung (MK30) mit 30 % Kompost wurde wie folgt gemischt:

MK30 => 210 g Substraterde + 210 g Tennismehl + 180 g Kompost = 600 g MK30



Abbildung 9: Kresseversuch - Mischungen Tag 1

Die Mischungen MK15 und MK30 wurden dann für jede Variante (R1, R2, R3) der Komposte hergestellt. Die Schalen wurden zuerst mit 100 g Sand gefüllt. Anschließend folgte die Schicht Vergleichssubstrat, MK15 oder MK30 mit 200 g. Der nächste Schritt war das gleichmäßige Verteilen der Kressesamen (0,4 g Gartenkresse - Lepidium sativum L.) auf der Substratoberfläche. Als abschließende Lage wurden nochmal 100 g Sand aufgebracht und leicht angedrückt, um eine gute und gleichmäßige Keimfähigkeit zu gewährleisten. Die Neubauerschalen wurden mit einer Glasplatte und schwarzer Kunststofffolie abgedeckt. Nach dem ersten Auskeimen des Saatgutes (nach ca. 1-2 Tagen) wurde die Abdeckung entfernt und die verschiedenen Varianten wurden mit gleicher Wassermenge regelmäßig übergossen. Wenn nicht bei allen Neubauerschalen ein Auskeimen festgestellt wurde, werden die nicht gekeimten täglich kontrolliert, und die Keimverzögerung notiert. Nach 9 Tagen wurde die Gartenkresse geerntet und die Biomasse gewogen. Die Ergebnisse wurden in % Pflanzenfrischsubstanz angegeben. Die Mittelwerte der Prüfsätze wurden dann auf das Vergleichssubstrat bezogen.

3.12. Bestimmung der Gesamtpolyphenole

Die Messung der Gesamtpolyphenole im Endkompost wurde mit einem UV/VIS Spektralphotometers durchgeführt (Cary 60 UV/VIS Spectrophotometer mit Water Peltier System PCB 1500 und 18 Zellen Küvettenhalter mit Wasser-Thermo-Konditionierung; Fa. Agilent). Der Versuch wurde im Labor des IGB BOKU durchgeführt.

Verwendete Chemikalien:

- Vergälltes Ethanol, CH₃OH (≥99,8 %, mit ca. 1 % MEK)
- Gallussäure-Monohydrat, C₇H₆O₅ * H₂O (≥98 %; p.a.)
- Folin-Ciocalteus Phenolreagenz, FCR (≥99 %; p.a.)
- Natriumhydroxid-Plätzchen, NaOH (99 %; p.a.)

Lösungen:

Für die Gallussäure-Stammlösung (β = 2,643 g/l) wurden 132,2 mg in einem 50 ml Meßkolben eingewogen und mit deionisiertem Wasser bis zur gekennzeichneten Marke aufgefüllt. Aus dieser Stammlösung wurde wiederrum die Gallussäure Arbeitslösung (β = 528,8) hergestellt. Hierfür wurden 2 ml der Stammlösung in einen 10 ml Meßkolben, mit deionisiertem Wasser wieder bis zur Marke aufgefüllt.

Zur Herstellung der Natronlauge (0,5 mol/l) wurden aus 10 g Natriumhydroxid Plätzchen in Wiegeschälchen eingewogen und anschließend in eine 500 ml Gewindeflasche gegeben. Mit 500 ml deionisiertem Wasser wurden die Plätzchen dann gelöst.

Probenvorbereitung:

Zu Beginn wurde etwa 1 g frische Laborprobe in ein Zentrifugalreagenzglas eingewogen.

Anschließend wurde zu jeder Probe 50 ml Ethanol mittels Pipette zugegeben. Jede Probe wurde dann einzeln auf dem Vortex 30 Sek. lang gemischt, danach wurden alle Proben gemeinsam nochmals im Revolvermischer 10 min. lang bei maximaler Geschwindigkeit gemischt. Nach dem Revolvermischer wurden die Proben 15 min. bei 4.000 U/min und 4 °C zentrifugiert. Der Überstand nach dem Zentrifugieren wurde

in einen 200 ml Messkolben gegeben. Der ganz Vorgang nach der Einwaage, wurde drei Mal wiederholt und jedes Mal der Probenüberstand in denselben Kolben überführt. Die vereinigten Überstände wurden dann bis zur Marke mit Ethanol aufgefüllt. Bis zur Messung wurden die fertigen Proben bei -18°C eingefroren.

Bestimmung der Gesamtphenole:

In Kulturröhrchen wurden nun zuerst 2,8 ml deionisiertes Wasser gegeben und mit 0,1 ml des Probenextraktes versetzt. Dann wurden noch 1 ml NaOH und 0,1 ml Farbreagenz hinzu pipettiert, anschließend wurden die Kulturröhrchen verschlossen, 15 Min. in ein Wasserbad mit 37 °C gegeben und danach noch mit kaltem Wasser abgekühlt. Abschließend wurde die Proben dann für die Messung mit dem Photometer in Einmal-Halbmikroküvetten überführt und 735,8 nm gemessen.

Formel für die Berechnung:

 $C_{Phenol} = (\beta / m) * V * DF$

 β = Konzentration

m = Einwaage [g TM]

V = Volumen Extraktionsmittel [ml]

DF = Verdünnungsfaktor

C_{Phenol} = Polyphenolgehalt [µg/g TM]

3.13. Phosphatbestimmung

3.13.1. Säureaufschlüsse für Phosphatbestimmung

Die Säureaufschlüsse wurden im Labor des IGB BOKU durchgeführt.

3.13.1.1. $H_2O_2 + HNO_3$ Aufschluss

Es wurden 0,5 g Kompost mit 8 ml HNO $_3$ (65 %) versetzt und anschließend folgte über Nacht das "Abreagieren lassen" im Abzug. Am nächsten Tag wurden dann noch 2 ml H $_2$ O $_2$ (30 %) zugegeben. Der Aufschluss erfolgte dann mittels Mikrowelle bei einer Temperatur von 140 °C - 230 °C.

Hold time: 15 Std.

Ramp time: 5 Std.

3.13.1.2. Königswasser Aufschluss

Es wurden 0,5 g Kompost mit 3 ml HNO₃ (65 %), 7 ml HCL (32 %) und 1 ml Deionat

in ein Szintillation Flaschen gegeben. Das "Abreagieren lassen", passierte eine

Stunde vor dem Aufschluss.

Der Aufschluss wurde wieder mittels Mikrowelle bei einer Temperatur von 160 °C -

220 °C durchgeführt.

Hold time: 14 Std.

Ramp time: 10 Std.

Photometrische Bestimmung von Phosphat 3.13.1.3.

Die Aufschlüsse wurden dann wie folgt analysiert:

Verwendete Chemikalien:

Ammoniumheptamolybdat Tetrahydrat, H₈Mo₂N₂O₇*4H₂O

Salpetersäure 65 %, HNO₃

Ammoniumvandat, H₄NO₃V

Kaliumdihydrogenphosphat, KH₂PO₄

Deionat

Lösungen:

Das Kaliumdhydrogenphosphat wurde vor dem Einwiegen bei 105 °C bis zur

Gewichtskonstante getrocknet und dann im Exsikkator abgekühlt. Anschließend

wurden 1,098 mg KH₂PO₄ in einem 250 ml Messkolben eingewogen und mit Deionat

bis zur Markierung aufgefüllt. Von dieser Phosphat-Stammlösung wurden 5 ml in

einem 100 ml Messkolben gegeben und wieder mit Deionat bis zur Markierung

aufgefüllt. Für die Salpetersäure wurden zwei Teile Deionat mit einem Teil 65%igen

HNO₃ gemischt (Verdünnung 1:3). Die Ammoniumhaptamolybtat-Lösung wurde durch

Lösen in 50 °C warmen deionisierten Wasser von 12,5 g Ammoniumheptamolybtat-

Tetrahydrat in einer 250 ml Schottflasche hergestellt. Anschließend wurde die Lösung auf Zimmertemperatur abgekühlt und mit deionisiertem Wasser auf 250 ml aufgefüllt. Für die Ammoniumvanadat-Lösung wurden 0,625 g Ammoniumvandat in einer 250 ml Schottflasche eingewogen und mit 100 ml heißem deionisiertem Wasser gelöst. Anschließend wurde diese Lösung noch mit konzentrierter Salpetersäure angesäuert und mit deionisiertem Wasser auf 250 ml aufgefüllt. Das Mischreagenz wurde aus gleichen Volumenanteilen von Salpetersäure, Ammoniumhaptamolybtat und Ammoniumvanadat hergestellt.

Probenvorbereitung:

Siehe H2O2 + HNO3 Aufschluss und Königswasser Aufschluss.

Messung:

Für die Messung wurde 1,2 ml Deionat, 0,6 ml Mischreagenz und 0,2 ml der Probe zusammen pipettiert. Die Proben wurden dann für 30 Min. bei Raumtemperatur inkubiert. Danach wurden die Proben in Einmal-Halbmikroküvetten überführt und mit dem Photometer (Cary 60 UV/VIS Spectrophotometer mit Water Peltier System PCB 1500 und 18 Zellen Küvettenhalter mit Wasser-Thermo-Konditionierung; Fa. Agilent), bei 406 nm vermessen.

Die Werte wurden dann über die Standardgerade ermittelt und in mg P₂O₅/I (TM) angegeben.

3.14. Dichte der Kompostprobe

Die Schüttdichte wurde ebenfalls im Labor des IGB BOKU durchgeführt. Für den Versuch wurde ein 1 I Messzylinder mit frischer Laborprobe befüllt und anschließend zehn Mal aus ca. 10 cm Höhe auf einen Tisch gestoßen, der mit einem Stofftuch präpariert war, um eine Zerstörung des Glaszylinders zu verhindern. Anschließend wurde das Volumen nach dem Vorgang abgelesen. Das Leergewicht des Messzylinders war 612 g.

Bestimmung Huminsäure- und Fulvosäurefraktion 3.15.

Die Bestimmung der Humin- und Fulvosäurefraktion wurde im ABF Boku durchgeführt. Die Extraktion der Huminstoffe erfolgte mit Natriumpyrophosphat-Lösung. Das Probenmaterial wurde an vier aufeinanderfolgenden Tagen je vier Mal über Nacht extrahiert. Dieser Vorgang soll eine möglichst vollständige Extraktion der Huminstoffe gewährleisten. Durch photometrische Messung der optischen Dichte bei 400 nm werden die Humin- und Fulvosärefraktionen bestimmt. Die optische Dichte wurde auf die organische Trockenmasse bezogen. Weiters war es notwendig, die lufttrockene Probe auf Restwasser und Organik Gehalt zu untersuchen.

Chemikalien und Geräte:

- Natriumpyrophosphat (NaPP) Na₄P₂O_{7*10} H₂O; 0,1 molare Extraktionslösung
- Konzentrierte HCI (37%)
- 0.1 molare HCI
- NaOH (40%)
- Pufferlösung:
 - Lösung A: 7,5g Glycin + 5,8g NaCl/l H₂O
 - Lösung B: 0,1 molare NaOH
 - Pufferlösung = Lösung A (310ml) + Lösung B (190 ml)
- Photometer

Für die Extraktion wurden 10 g des lufttrockenen, gemahlenen und <0,63 mm gesiebten Probenmaterials in 250 ml Kunststoffflaschen eingewogen und 50 ml der 0,1 molaren NaPP - Lösung hinzugegeben. Die Kunststofflaschen wurden dann über Nacht auf den Überkopfschüttler gespannt. Am nächsten Morgen war dann der erste Schritt 20 Min. Zentrifugation bei 5.000 U/min. Bei diesem Vorgang wurde der Extrakt vom festen Rückstand getrennt. Dieser Vorgang wurde mit dem Überstand nochmal bei 20 Min bei 13.500 U/min, wiederholt. Dieser Überstand wurde dann nach der zweiten Zentrifugation in 100 ml Messkolben gegeben und mit deionisiertem Wasser aufgefüllt. Dies ergab das Ausgangsextrakt.

Ing. Hager Hans-Jörg, BSc

Um bei der photometrischen Messung ein brauchbares Ergebnis zu erhalten, ist es in der Regel notwendig, den ersten Gesamtextrakt mit Pufferlösung zu verdünnen. In den meisten Fällen ist eine Verdünnung von 1:25 ausreichend, weiterführend ist dann auch eine 1:5 Verdünnung ausreichend. Grundsätzlich geht es darum, den in der Regel sehr dunklen Gesamtextrakt, in einen photometrisch messbaren Bereich zu verdünnen. Für die Berechnung der optischen Dichte des Gesamtextraktes, ist es wichtig die Verdünnung miteinzubeziehen.

Die Rückstände aus der ersten und zweiten Zentrifugation wurden mit 50 ml NaPP versetzt und kamen dann über Nacht wieder auf den Überkopfschüttler. Dieser Vorgang wurde an drei Tagen wiederholt, am vierten Tag wurden die Rückstände dann verworfen.

Für die Fulvosäurefraktionierung wurden 25 ml des Ausgangsextraktes mit 0,5 ml 37%iger HCl versetzt. Damit die Huminsäuren ausfallen können, war es wichtig die Lösung einige Minuten stehen zu lassen. Anschließend wurde 5 Min. bei 8.000 U/min zentrifugiert, um die Huminsäuren von der Lösung abzutrennen. Der Überstand kam dann in einen 50 ml Messkolben. Der Niederschlag - die ausgefällten Huminsäuren – wiederrum wurden verworfen. Die optische Dichte wurde dann bei pH - Wert = 10, bestimmt. Hierfür wurden 0,6 ml 40%ige NaOH hinzugegeben und mit einer Pufferlösung wurde auf 50 ml aufgefüllt. Abschließend erfolgte die photometrische Messung der Fulvosäuren. Die Bestimmung der Huminsäurefraktion wurde rechnerisch durch Subtraktion bestimmt.

Optische Dichte₄₀₀(OD₄₀₀) Huminsäuren = Optische Dichte₄₀₀ (Ausgangsextrakt = Fulvosäuren + Huminsäuren) - Optische Dichte₄₀₀ Fulvosäuren

Berechnung der optischen Dichten/g organische Trockensubstanz bei 400 nm (OD400/g org. TM):

Gesamtextrakt: OD_{400}/g org. $TM = Extinktion x Verdünnung x 100 /g org. <math>TM \times 100$: weil Extrakt auf 100ml aufgefüllt wurde

Fulvosäurefraktion: OD_{400}/g org. TM = Extinktion Fulvosäure x 100 x 2 /g org. <math>TM x 2: Verdünnung von 25 ml auf 50 ml

Huminsäurefraktion: OD₄₀₀/g org. TM = Extinktion Gesamtextrakt – Extinktion FS Literatur (Gerzabek, Danneberg, & Kandeler, 1993)

3.16. Untersuchung der Kornfraktionen – Ballaststoffe

Die bei 105°C getrockneten Proben, wurden auf einem Rütteltisch RT 405-7 (Abbildung 10) mit einem Siebsatz in folgende Fraktionen unterteilt (Tabelle 2). Durch Rütteln und Wasserdurchfluss wurde das gesamte Probenmaterial aufgeteilt.



Abbildung 10: Rütteltisch RT 405-7 mit einem Siebsatz

Tabelle 2: Untersuchte Kornfraktionen

[mm]	Fraktion	
25-20	7	
20-5	6	
5-2	5	
2-0,63	4	
0,63-0,2	3	
0,2-0,063	2	
<0,063	1	

Die verschiedenen Fraktionen wurden gewogen und als Prozentsatz der Gesamtmenge angegeben. Nach dem Trocknen wurden die Fraktionen <2 mm durch händisches Aussortieren auf Glas, Kunststoff, Metall, Eisen und Nichteisen untersucht.

Von jeder dieser Fraktionen wurde ein Foto gemacht, also das getrocknete Material auf einer Glasplatte verteilt (Abbildung 11).



Abbildung 11: Reaktor 2, Fraktion 63 µm - 200 µm

Zur Bestimmung der Partikel wurden von den Fotos (Abbildung 10) der unterschiedlichen Fraktionen 1000x1000 Pixel Abschnitte (Abbildung 11) herausgeschnitten. Diese wurden dann mit dem Fotoprogramm Image J bearbeitet (Abbildung 12). Es wurde dann mit dem Maß auf dem Bild abgeglichen. 1cm ≜ 321 Pixel.

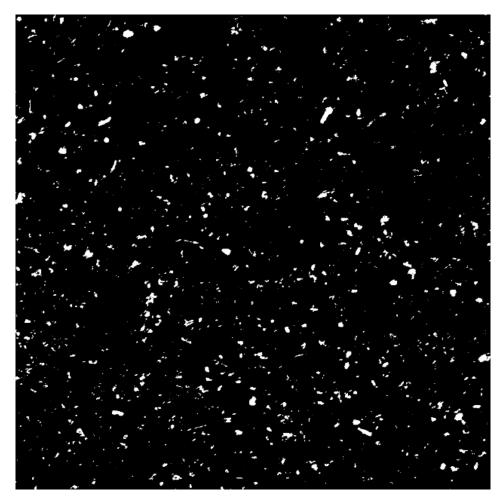


Abbildung 12: Reaktor 2, Fraktion 63 µm - 200 µm Bildausschnitt 1000 x 1000 Pixel

Da diese Methodik aber nicht aussagekräftig genug war wurde sie wieder verworfen. Es konnte nicht davon ausgegangen werden, dass alle weißen Partikel Reste von biologisch abbaubare Vorsammelhilfen waren. Bei den weißen Partikeln bestand auch die Möglichkeit, dass es sich um Mikrostörstoffe (Steine, etc.) oder auch nicht abgebaute Teile handelte.

3.17. Statistische Auswertung

Die Berechnungen wurden mit Excel 365 durchgeführt. Ebenso wurden die Grafiken, Diagramme und Tabellen im Excel 365 erstellt. Die Gehalte an Phosphat und Gesamtpolyphenolen wurden einer statistischen Analyse unterzogen. Die Daten wurden auf die Normalität mit Kolmogorov-Smirnov Test geprüft bei p≤0,05 und danach wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Die homogenen Gruppen wurden Anhand von Tukey-B Test bei p≤0,05 gebildet.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Rotteparameter

4.1.1. Rottetemperaturen

In Abbildung 13 sind die Rottetemperaturen der drei Varianten dargestellt. Der abgebildete Zeitraum erstreckt sich über 105 Tage (15 Wochen). Die Sägezähne kennzeichnen die Umsetzzeitpunkte, die an Tag 5, 13, 19, 37 und 61 durchgeführt wurden. Es ist klar zu erkennen, dass alle Varianten einen ähnlichen Temperaturverlauf aufweisen. Die Umgebungstemperatur (Klimakammertemperatur) wurde immer an Reaktor 1 angepasst. Ein weiterer spannender Punkt ist, dass der höchste Temperaturwert gleich in der ersten Woche erzielt wurde, jedoch im Verlauf der ersten 9 Wochen, immer wieder die 60 °C Marke erreicht wurde (Abbildung 13). Dies ist vor allem für die Hygienisierung des Kompostes wichtig (Tabelle 3). In Stand der Technik der Kompostierung Amlinger et al. (2005) ist für das Temperatur/Zeit Regime ein zusammenhängender Zeitraum von mind. 10 Tagen über 55 °C vorgeschrieben.

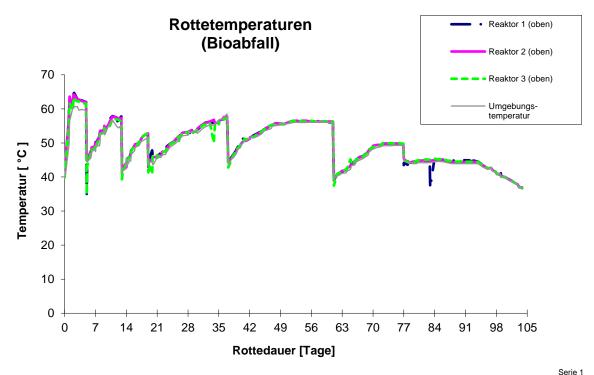


Abbildung 13: Rottetemperaturen im Rottegut von Reaktor 1 bis 3

Tabelle 3: Varianten des Temperatur-Zeitregimes zum Indirekten Nachweis der a ausreichenden Reduktion von seuchenhygienisch relevanten Keimen aus Amlinger et al. (2005)

Mindesttemperatur	Dauer				
Offene und umhauste Mieten (offene Zeilenmieten, Rottehallen,) mit natürlicher oder Zwangsbelüftung					
55 °C	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über einen zusammenhängenden Zeitraum von 4 Stunden jeweils nach 5 Umsetzvorgängen; Gesamtmesszeitraum: mindestens 10 Tage				
55 °C	<u>Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung</u> *; Einhaltung der Mindesttemperatur an sämtlichen Messtagen innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen bei mindestens 3 Umsetzvorgängen				
60 °C	<u>Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung *</u> ; Einhaltung der Mindesttemperatur über 3 x 3 Tage bei 2 Umsetzvorgängen innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 14 Tagen				
Diskontinuierliche, arbeitstägliche Temperaturmessung *; Einhaltung der Mindesttemperatur über 2 x 3 Tage bei 1 Umsetzvorgang innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 14 Tagen					
Gekapselte Intensivrotte (zB Boxen oder Tunnelkompostierung) mit Zwangsbelüftung					
55 °C	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über 4 Tage innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen				
65 °C	kontinuierliche Temperaturmessung mittels Sonde; Einhaltung der Mindesttemperatur über 3 Tage innerhalb eines zusammenhängenden Zeitraums von 10 Tagen				

In diesem Zusammenhang sind auch die verschieden Temperaturbereiche, in denen verschiedene mikrobielle Artenspektren vorherrschen spannend. Amlinger et al. (2005) nennt hier den psychrophilen Bereich (-4 - 20 °C) - Bakterien und Schimmelpilze, mesophiler Bereich (15 - 42 °C) - Bakterien und Aktinomyzeten, sowie den thermophilen Bereich (45 - 75 °C) - Bakterien und mesophile bis thermotolerante Pilzsporen. Die wesentlichen Anforderungen sind in Tabelle 4 gut dargestellt.

Tabelle 4: Optimale Temperaturbereiche nach verschiedenen Anforderungen an den Rotteprozess Amlinger et al. (2005)

Prozessanforderung	Temperaturbereich
Hygienisierung	> 55°C
Abbaurate; beginnender Ligninabbau / Humifizierung	≤ 45 - 55°C
mikrobielle Vielfalt + Abbau der mikrobiellen Biomasse, Ligninabbau/Humifizierung	≤ 35 - 40°C

In Abbildung 13 ist zu sehen, dass Reaktor 3, also der Reaktor mit den am Versuchsende höchsten Anteil an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen (152 g) hatte, immer wieder mit der Reaktortemperatur (Sägezähne) etwas tiefer fällt, im Vergleich zu Reaktor 1 und Reaktor 2. Das könnte eventuell damit zu tun haben, dass Reaktor 3 immer als letzter umgesetzt wurde. Eine weitere Feststellung besteht darin, dass die Temperatur auch am Ende der Rottedauer noch knapp 40 °C erreicht. In Amlinger et al. (2005) wird als Maß für die ausreichende Stabilisierung des Rottegutes ein dauerhaftes Unterschreiten von 30 °C angeführt. Dieser Zustand der Stabilisierung wurde bei diesem Versuch nicht erreicht. Die Werte von AT4 deuten jedoch auf ein sehr stabiles Material hin.

Ein weiterer Indikator, wie weit der Stabilisierungsprozess schon fortgeschritten ist, veranschaulicht der Temperaturanstieg nach dem Umsetzen. In Abbildung 13 ist zu sehen, dass nach dem Sechsten und letztem Umsetzvorgang kein Temperaturanstieg mehr erkennbar ist. Diese Situation verdeutlicht, dass der Stabilisierungsprozess weitgehend abgeschlossen war. Der Ausreiser bei Reaktor 1 um Tag 84 ist auf eine kurzeitige Unterbrechung eines Zuluft-Schlauches zurückzuführen.

Im Großen und Ganzen ist der Rotteprozess so abgelaufen, wie man es aus großtechnischen Anlagen kennt. Die Temperaturspitze gleich zu Beginn und dann nach jedem Umsetzvorgang ein Wiederanstieg der Temperatur.

Es kann festgehalten werden, dass die Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen keine negativen Auswirkungen auf den Rotteprozess hatte. Weiters konnten auch keine positiven Effekte durch die Zumischung biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen festgestellt werden.

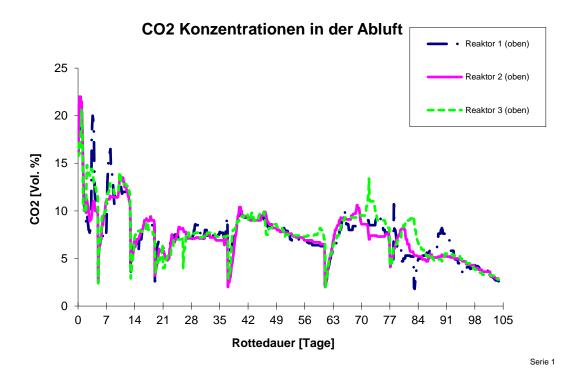


Abbildung 14: CO₂ Konzentration von Reaktor 1 bis 3

In der Anfangsphase sollen die Werte nicht über 10 – 15 % liegen. In der Intensivrotte gelingt das oft nicht. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, liegen die Werte in den ersten 14 Tagen deutlich darüber. Danach liegen die Werte dann aber eigentlich immer, mit Ausnahme an Tag 73, im Bereich von 10 % oder darunter.

4.1.2. Huminsäuregehalt

Der Huminsäuregehalt wurde, wie schon im Teil, Material und Methoden beschrieben durch Subtraktion der Fulvosäuren vom Gesamtextrakt ermittelt.

Abbildung 15 zeigt, dass bei Reaktor 1 und Reaktor 2 zu Beginn ähnlich starke Anstiege der Huminsäurengehalte auftraten. Rektor 3 blieb zunächst etwas zurück, zeigte aber eine kontinuierliche Huminsäurenblidung, sodass bei Versuchsende alle 3 Reaktoren ähnliche Huminsäurengehalte aufwiesen. Der Abfall um Tag 63 bei Reaktor 1 deutet auf einen Messfehler hin, da in Abbildung 16, Reaktor 5 (Kontrollvariante) ähnlich positioniert ist wie die Reaktoren 2 und 3 in Abbildung 15.

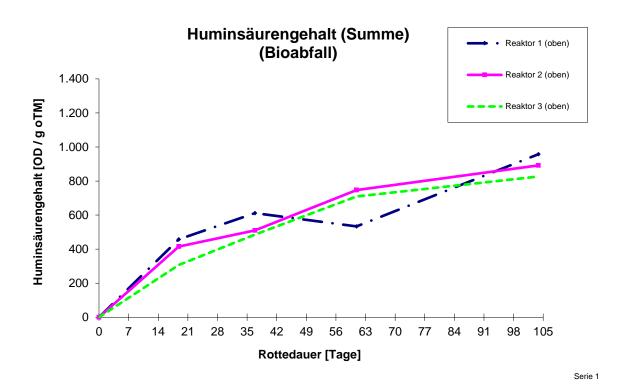


Abbildung 15: Huminsäurengehalte im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

Es kann jedoch festgehalten werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Reaktoren gibt. Weiters ist kein negativer Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen bei Reaktor 2 und Reaktor 3 erkennbar. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind sehr gering.

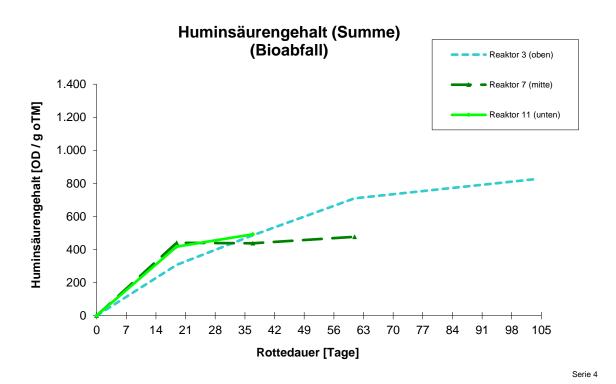


Abbildung 16: Huminsäurengehalt von Rottegut im Reaktor 3, Reaktor 7 und Reaktor 11

Auch in den unterschiedlichen Etagen in der Klimakammer sind keine wesentlichen Unterschiede erkennbar (Abbildung 16 und 17).

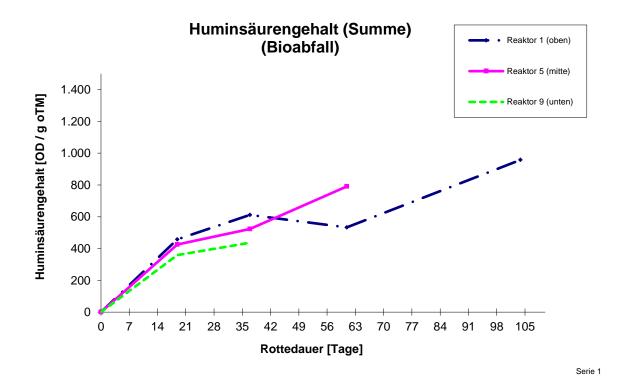


Abbildung 17: Huminsäurengehalt im Rottegut von Reaktor 1, Reaktor 5 und Reaktor 9

4.1.3. Glühverlust und Kohlenstoffgehalt

Wie in Abbildung 18 ersichtlich ist, gab es beim Glühverlust keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Der Glühverlust nimmt über den Versuchszeitraum kontinuierlich ab. Die Reaktoren starten und enden annähernd gleich. Ähnlich ist es beim Kohlenstoffgehalt. Dazu ist allerdings anzumerken, dass die Ausgangswerte identisch sind, weil die Probenahme vor der Kunststoffzumischung erfolgte. Ein "auseinanderdriften" der Varianten ist daher wahrscheinlich auf die Kunststoffzumischung zurückgeführt werden.

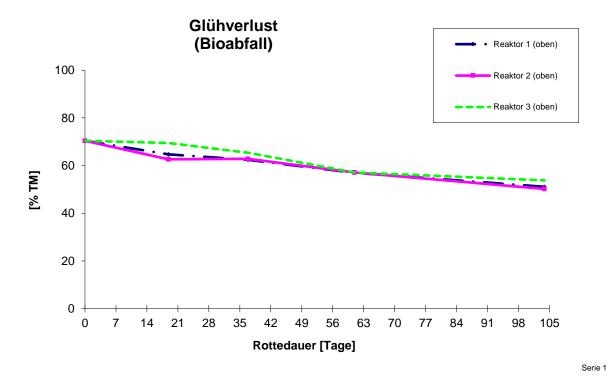


Abbildung 18: Glühverlust im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

Abgesehen davon ist kein gravierender Unterschied zwischen den Varianten erkennbar. Weder positive noch negative Einflüsse der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf die Varianten 2 und 3 sind erkennbar.

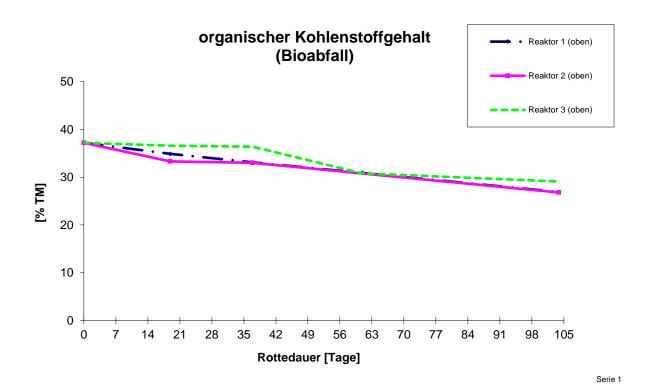


Abbildung 19: Organischer Kohlenstoffgehalt im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

In Abbildung 19 ist zu sehen, dass Reaktor 3 eine Spur höhere Werte über die gesamte Rottedauer aufweist.

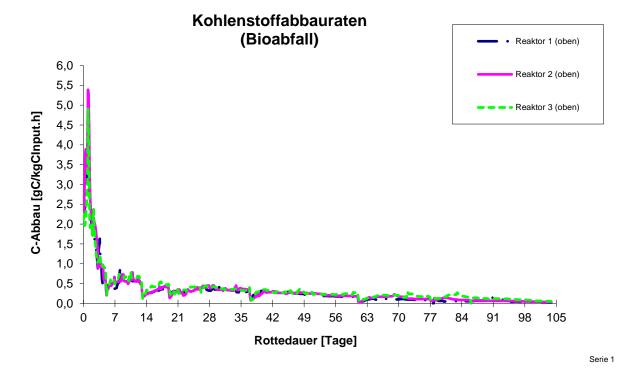


Abbildung 20: Kohlenstoffabbauraten im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

Die Kohlenstoffabbauraten sind zu Beginn sehr hoch (Abbildung 20). Sie nehmen allerdings schon nach ca. einer Woche rapide ab und bewegen sich im Versuchszeitraum dann Richtung 0.

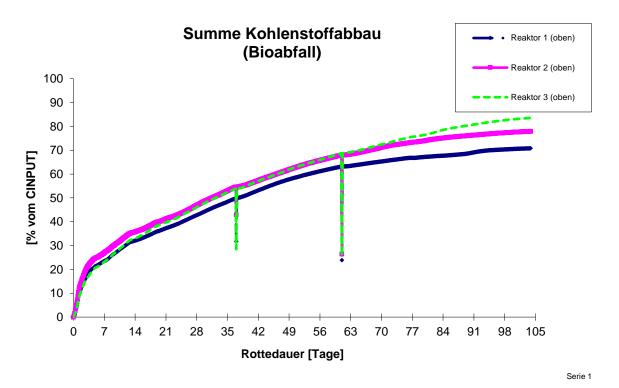


Abbildung 21: Summe Kohlenstoffabbau im Rottegut von Reaktor 1 bis 3. Die senkrechten Striche bezeichnen die Zeitpunkte des Zusammenlegens von Reaktoren der 3 Etagen.

Bei der Summe des Kohlenstoffabbaus (Abbildung 21) gibt es ebenfalls keine außergewöhnlichen Erkenntnisse. Die Kurven spiegeln einen normalen Kohlenstoffabbau über den Rotteprozess wider.

4.1.4.pH-Wert

Der pH-Wert liegt zu Beginn im sauren Bereich. Über die Rotte pendelt sich der pH-Wert dann bei allen Varianten auf rund 7,5 ein (Abbildung 22).

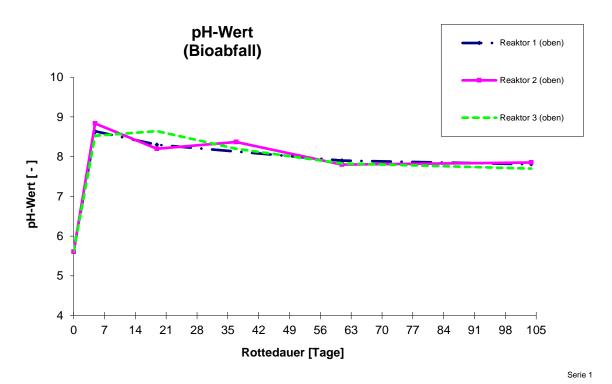


Abbildung 22: pH-Wert im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

Es gibt keine Hinweise, die einen negativen Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen erkennen lassen. Die Verläufe sind über den gesamten Versuchszeitraum gleichartig und die Endwerte sind fast ident.

4.1.5. Ammonium stick stoff

Am Beginn war der Ammoniumgehalt hoch, die Abnahme fand über die ersten Wochen statt (Abbildung 23). Im Normalfall ist die Abnahme zu Beginn sehr stark. Auch in der Abbildung 23 schön zu beobachten sind die ähnlichen Verläufe aller drei Reaktoren. Die Abweichung bei Reaktor 1, ist auf eine fehlende Messung an Tag 35 zurückzuführen.

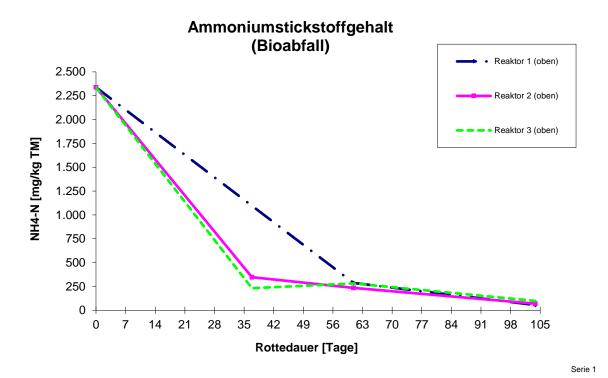


Abbildung 23: Ammoniumstickstoffgehalt im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)

Der scheinbare langsame Abfall der Kurve ist auf die späte zweite Probennahme zurückzuführen. Der steile Abfall findet üblicherweise schon nach 2 - 3 Wochen statt. Das Ammonium wird von den Mikroorganismen verbraucht und in die Biomasse eingebaut. Andererseits wird der Stickstoff auch in den Huminstoffen fixiert.

4.1.6. Kornfraktionen im Endmaterial

Die Kornfraktionen im Endmaterial geben in erster Linie einen Überblick, über die Homogenität des Kompostmaterials. Weiters kann auch eine Aussage über Störstoffe getroffen werden. In der Kornfraktion 7 (25-20 mm) wurden in allen Varianten keine Rückstände verzeichnet (Abbildung 24).



Abbildung 24: Fraktion 6 (20-5 mm)

Störstoffe, die in den kleineren Fraktionen gefunden wurden, waren wie in Abbildung 24 zu sehen ist z.B. Steine, Holz oder auch Kunststoffteilchen. Jedenfalls wurden keine biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen in den Fraktionen >2 mm gefunden.

Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Reaktoren in Abbildung 25 erkennbar. Außerdem ist zwischen den Kornfraktionen eine gewisse Homogenität gegeben.

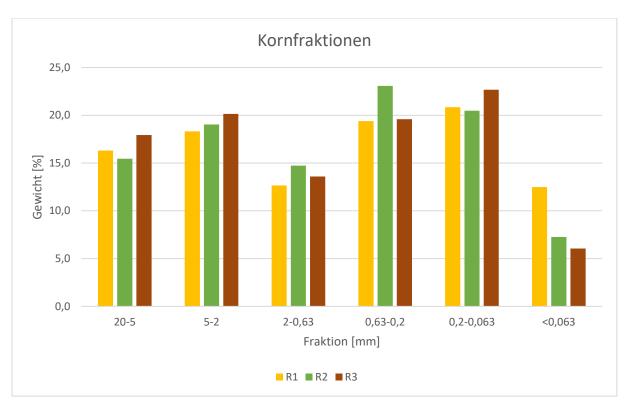


Abbildung 25: Kornfraktionen von Reaktor 1 bis 3 Standardabweichung und die statistische Auswertung fehlt (homogene Gruppen) fehlt, bitte einfügen. Sie müssen die Abkürzungen erklären (R-Reaktor)

4.1.7. Atmungsaktivität

Zu Beginn des Rotteprozesses liegt die Atmungsaktivität üblicherweise zwischen 50 – 90 mg O₂/g TM. Je mehr der Abbau durch die Mikroorganismen fortschreitet, desto stärker nimmt die Atmungsaktivität ab. Im Umkehrschluss heißt das, je stabiler der Kompost ist, desto geringer wird die Atmungsaktivität. Abbildung 26 zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten über die Rottedauer gibt. Es ist somit kein nachteiliger Einfluss durch die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf die Anwesenheit und Aktivität von Mikroorganismen gegeben.

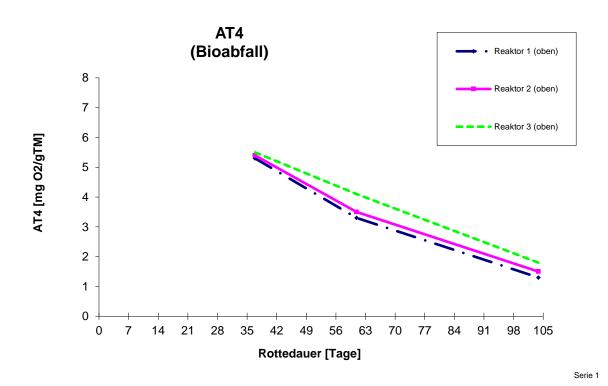


Abbildung 26: Atmungsaktivität im Rottegut von Rottewoche 6 bis 15 in den Reaktoren 1 bis 3

Der Verlauf der Atmungsaktivität verläuft tendenziell parallel zur Kohlenstoffkurve, was auch in diesem Versuch festzustellen ist. Interessant ist jedenfalls, dass Reaktor 3 über den ganzen Versuchszeitraum etwas höhere Atmungsaktivität aufweist. Dies kann auf eine geringere Abbauaktivität in Reaktor 3 hinweisen. Was auffällt ist, dass die eben beschriebenen Tendenzen (höhere Werte in Reaktor 3) auch beim Verlauf des Kohlenstoffgehaltes auftreten (Abbildung 26).

4.2. Auswirkung auf den Rotteprozess

Erste Hinweise auf eine Erhöhung der Rottetemperatur durch einen hohen Anteil von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen gab es in Binner et al. (2019) Dieser Hypothese nachzugehen war eine der Hauptaspekte dieser Arbeit. Die Rottetemperatur im Kompostierungsprozess erlaubt die Aktivität der Mikroorganismen abzuschätzen.

Die Temperatur hat also auch eine hohe Aussagekraft in Bezug auf die verschiedenen Phasen der Rotte. Weiters spielt sie eine entscheidende Rolle bei der Hygienisierung. In Stand der Technik Amlinger et al. (2005) wird im Falle einer offenen

Mietenkompostierung die hier simuliert wurde, die Einhaltung der Mindesttemperatur von 55 °C über zehn Tage mit drei Umsetzvorgängen gefordert.

In Abbildung 13 ist erkennbar, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten gibt. Die Temperaturkurven verlaufen mit kleinen Abweichungen synchron. Auch die Hygienisierung wurde gleich in den ersten sieben Tagen erreicht. Weiters ist die nach jedem Umsetzvorgang langsamer ansteigende Rottetemperatur aus den "Sägezähnen" gut erkennbar.

Ein Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf die Rottetemperatur konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden (Abbildung 13). Der Vergleich der Varianten mit Kunststoffzumischung (R2 und R3) mit der Vergleichsvariante (R1 ohne Kunststoffzumischung) zeigte weder höhere, noch geringere Rottetemperaturen in Reaktor 3 (mit am Ende 456 g biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen), im Vergleich zu Reaktor 1. Einzig ein stärkerer Temperaturabfall beim Umsetzen von Reaktor 3 ist festzuhalten.

Laut Kompostverordnung 2001 (Bundesrecht konsolidiert, 2022) ist Kompostierung, die gesteuerte exotherme biologische Umwandlung abbaubarer organischer Materialien in ein huminstoffreiches Material mit mindestens 20 Masseprozent organischer Substanz.

Im Huminsäuregehalt spiegelt sich folgendes Bild wider. Die Kurven der drei Reaktoren zeigen einen ähnlichen Verlauf. In der Anfangsphase ist ein starker Anstieg bei allen Reaktoren erkennbar (Abbildung 15). Ab Tag 61 ist dann eine Entspannung des Anstiegs zumindest bei Reaktor 2 und Reaktor 3 zu verzeichnen.

Grundsätzlich kann auch hier festgehalten werden, dass es keinen signifikanten Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Huminsäuregehalt in Reaktor 2 und Reaktor 3 gibt. Verglichen mit den Huminsäuregehalten in Binner (2022) sind die Werte eher gering.

Die Atmungsaktivität zeigte eine geringe Reaktivität über den Rotteverlauf (die erste Analyse fand allerdings erst nach 37 Tagen Rottedauer statt) und lag am Ende bei nur noch geringfügig 1 mg O₂/g TM. Schlussendlich sind aber auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen.

4.3. Kompostqualität

4.3.1.Reste an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen im Endmaterial

Die Produktion von Biokunstoffen nimmt weltweit zu. Ganz entscheidend ist, dass Biokunststoffe weitgehend biologisch abbaubar, biokompatibel und nachhaltig sind (Srikanth, 2011). Vor allem PBAT und Ecoflex werden hier immer wieder als vollständig abbaubare Kunststoffe genannt (Srikanth, 2011).

Wir sind täglich von Kunststoffen umgeben. In Law et al. (2010) wurden 580000 Teilchen pro km2 in einer Probe festgestellt. Vom weltweiten Ölverbrauch, fallen 4% auf die Kunststoffe (z.B. Einkaufstaschen oder Autoverkleidungen) Shamsuddin et al. (2017). Um diese Herausforderung entgegenzutreten, gibt es schon seit einiger Zeit Bestrebungen biologisch abbaubare Kunststoffe auch in unserem Alltag zu etablieren und integrieren.

Diese biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen sind ein erstes Massenprodukt - erster Schritt in eine Welt, dieser vollständig abbaubaren Kunststoffe.

Die Auswertung der nicht abgebauten und noch im Kompost verbliebenen Reste an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen, stellte sich als unlösbare Aufgabe heraus. Ein Zählen der Partikel war nicht möglich, da es sich um eine sehr große Anzahl an Mikropartikeln handelte. Der erste Ansatz war die Partikel mittles eines Fotoprogrammes (ImageJ) zu zählen. Da jedoch auch andere helle Teile (Steine, Mikrokunststoffe usw.) vorhanden waren, die das Ergebnis verfälscht hätten, wurde diese Möglichkeit verworfen. In Abbildung 27 ist die Fraktion 200 μm – 630 μm zu sehen. Deutlich sind Reste der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen erkennbar.



Abbildung 27: Beispiel Reaktor 2, Foto der Fraktion 200 - 630 µm

In Reaktor 2 (incl. Reaktor 6 und Reaktor 10) wurden in Summe 114 g biologisch abbaubare Vorsammelhilfen hinzugefügt. Bei Reaktor 3 wurden inklusive der Vereinigungen mit dem Material aus Reaktor 7 und Reaktor 11 ca. 456 g biologisch abbaubare Vorsammelhilfen hinzugefügt. Der sichtbare Anteil, nicht abgebauter Teile, in den besagten Kornfraktionen war grob erkennbar, wurde aber analytisch nicht ausgewertet.

Es kann jedoch festgehalten werden, dass in allen Fraktionen >2 mm keine biologisch abbaubare Vorsammelhilfen gefunden wurden. Weitere Störstoffe wie Glas, Metall, Eisen und Nichteisen wurden ebenfalls in diesen Fraktionen keine nachgewiesen.

4.3.2. Volumengewicht im Endmaterial

Bei der Bestimmung des Volumengewichtes im Endmaterial gibt es vor allem bei Reaktor 3 eine signifikante Abweichung im Vergleich zu den Reaktoren 1 und 2 (Tabelle 5). Das kann daran liegen, dass durch die noch vorhandenen biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen ein höheres Porenvolumen im Endmaterial ist. Die

erhöhten Werte von Reaktor 1 und Reaktor 2 lassen sich wahrscheinlich auf den hohen Wassergehalt im Endmaterial zurückführen. Standardwerte liegen hier üblicherweise zwischen 750 – 850 g/l (Binner, 2022). Die ÖNORM S2200 (seit in Kraft treten der Kompostverordnung zurückgezogen) begrenzte das Volumengewicht auf < 850 g FM/l.

Tabelle 5: Volumengewichte der Komposte der 3 Varianten (R-Reaktor)

Reaktor	V _A - Volumen befüllt [ml]	V _P – Volumen nach Versuch [ml]	Masse [g]	Dichte der frischen Probe [g FM/I]
R1	1000	620	637,00	1027
R2	1000	600	637,85	1063
R3	1000	620	525,10	847

4.3.3. Polyphenolgehalt im Endmaterial

Der Gehalt an Polyphenolen wurden je Reaktor mittels Vierfachbestimmung gemessen. Abbildung 28 zeigt, dass keine der 12 Endmaterialproben signifikant von den anderen Polyphenolgehalten abweicht. Die Mittelwerte ergeben ein ähnliches Bild wie in Abbildung 29 ersichtlich ist.

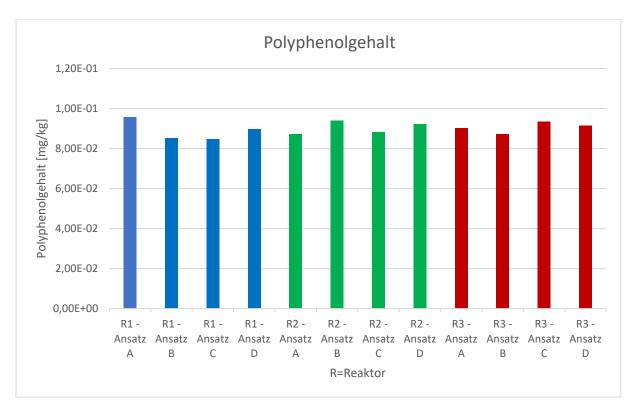


Abbildung 28: Polyphenolgehalt im Endmaterial (Frischgewicht) von Reaktor 1 bis 3

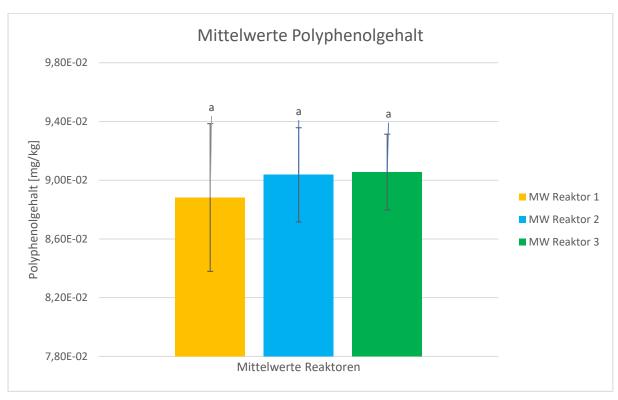


Abbildung 29: Mittelwerte Polyphenolgehalte Reaktor 1 bis 3

4.3.4. Phosphor im Endmaterial

Für die Bestimmung der Phosphorgehalte im Endmaterial wurde zum einen ein Königswasseraufschluss zum anderen auch ein Salpetersäureaufschluss durchgeführt. Wie schon bei den Phenolen wurde auch hier eine Vierfachbestimmung je Reaktor durchgeführt. Bei der Messung im Königswasseraufschluss, gibt es grundsätzlich keine groben Abweichungen der drei Reaktoren. Nur zwei Werte im Endmaterial von R3 weichen vom Durchschnitt etwas ab (Abbildung 30). Dies ist aber wahrscheinlich eher auf einen Messfehler zurückzuführen, da die anderen beiden Messwerte von Reaktor 3 bei den Werten von Reaktor 1 und Reaktor 2 liegen.

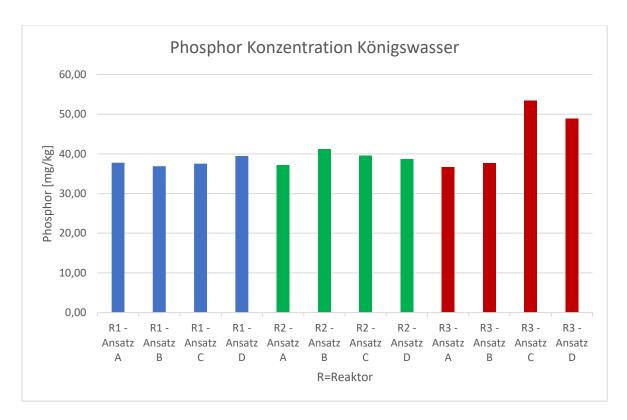


Abbildung 30: Gesamtphosphor (Königswasseraufschluss) im Endmaterial (Frischgewicht) von Reaktor 1 bis 3

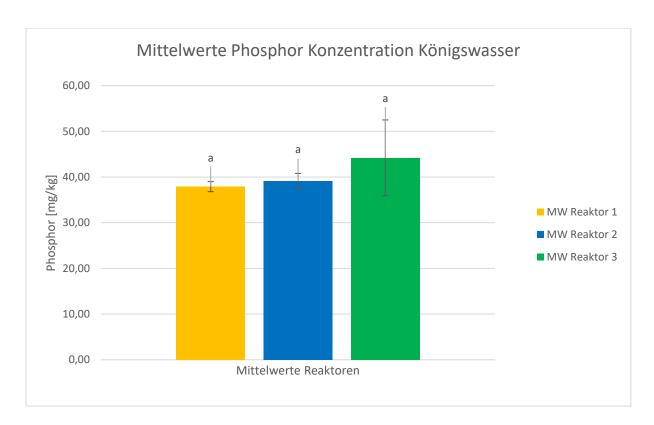


Abbildung 31: Mittelwerte Phosphor Konzentration Königswasser Reaktor 1 bis 3

Diese wahrscheinlichen Messfehler, drücken sich natürlicherweise auch bei den Mittelwerten (Abbildung 31) aus. Deshalb weicht auch die Standardabweichung von Reaktor 3 signifikant von Reaktor 1 und Reaktor 2 ab. Weitere Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Im Salpetersäureaufschluss ist das Ergebnis ähnlich. Alle Messungen liegen zwischen 35 - 40 mg/kg Phosphor Abbildung 32. Auch beide Aufschlüsse miteinander verglichen ergeben ein ähnliches Bild. Es liegt die Vermutung nahe, dass es keinen Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Phosphorgehalt im Endmaterial gibt.

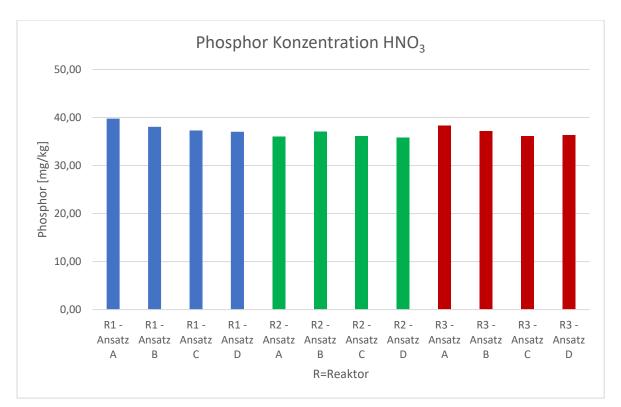


Abbildung 32: Gesamtphosphor Konzentration (Salpetersäureaufschluss) im Endmaterial (Frischgewicht) von Reaktor 1 bis 3

Bei den Mittelwerten des Salpetersäureaufschluss im Endmaterial Abbildung 33 zeigt sich ein ausgewogenes Bild. Dies untermauert die These, dass es keinen Einfluss durch die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen gibt, da die Mittelwerte aller Reaktoren nicht wesentlich voneinander abweichen.

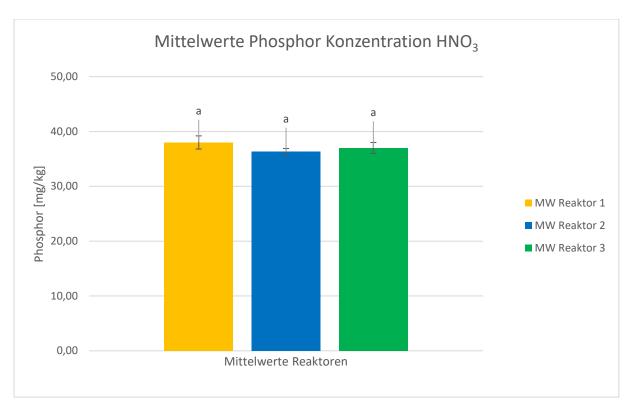


Abbildung 33: Mittelwerte Phosphor Konzentration HNO₃ Reaktor 1 bis 3

4.3.5. Pflanzenverträglichkeit (Kressetest)

Der Kresse Versuch dient allgemein dazu, Aussagen über toxische bzw. das Pflanzenwachstum hemmende Inhaltstoffe in Komposten zu treffen. Diese Aussage wird vor allem in Bezug auf die Biomasse konkretisiert. Der Ausgangswert ohne Kompostzumischung wird mit 100 % Biomasse definiert. Durch Zumischen von 15 % und 30 % Kompost ergeben sich die weiteren Positionen (Tabelle 6). Die Ab- oder Zunahme der Biomasse wird im Vergleich zur Nullvariante interpretiert.

Tabelle 6: Biomasseertrag [% zum Vergleichssubstrat] im Endmaterial von Reaktor 1 bis 3

Kompostzumischung [%]	Biomasse R1 [%]	Biomasse R2 [%]	Biomasse R3 [%]	Grenzwerte Kompostverordnung [%]
0	100	100	100	100
15	155	149	130	>100
30	173	181	150	>90

R1.....Reaktor 1 R2....Reaktor 2 R3....Reaktor 3

Beim Kressetest (Tabelle 6) gab es keine deutlich negativen Einflüsse durch Kompostzumischen. Die Biomasse war bei der 15 % Variante sowie auch bei der 30 % Variante unüblich stark höher als in der Vergleichsvariante. Der Kompost zeigte also stark positive Wirkung auf die Biomasse der Gartenkresse und hatte weder eine hemmende Wirkung beim Keimen der Samen noch eine Ertragsminderung bei der Biomasse zur Folge. Deutlich in den Ergebnissen zu sehen ist der Anstieg der Biomasse mit zunehmender Kompostzumischung.

Es scheint, dass bei Reaktor 3 ein leichter Einfluss der hohen Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen erkennbar ist. Zur Verifizierung wären weitere Untersuchen notwendig, die aber nicht durchgeführt wurden. Der Anteil der Biomasse ist sowohl bei der 15 % wie auch bei der 30 % - Variante sichtbar vermindert im Vergleich zu Reaktor 1 und Reaktor 2.

4.4. Auswirkungen auf die Kompostqualität

Bei der Kompostqualität ist in erster Linie der Kresse Versuch zu erwähnen. Es gab hier leichte Tendenzen, dass die hohe Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen einen Einfluss auf die Biomasse hatte. Es ist sowohl bei der Zumischung von 15 % Kompost als auch bei 30 % eine leicht verminderte Biomasse bei Reaktor 3 (ca. je 20% weniger) im Vergleich zu Reaktor 1 und Reaktor 2 erkennbar. Um diesen Einfluss zu verifizieren, müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Festgehalten werden kann jedoch, dass der Vergleich von Reaktor 3 mit den Grenzwerten der Kompostverordnung (Tabelle 6), bei der 15 % sowie auch bei der 30 % Variante weit über den geforderten Werten liegt.

Beim Schüttgewicht ist auffallend, dass nur Reaktor 3 den Grenzwert von der (zurückgezogenen) ÖNORM S2200 von < 850 g FM/l erfüllte. Reaktor 1 und Reaktor 2 liegen hier deutlich darüber, was aber wahrscheinlich mit dem hohen Wassergehalt im Endprodukt zu erklären ist. Üblicherweise liegen die Werte laut Binner (2022) zwischen 750 – 850 g/l.

Die Polyphenolgehalte Abbildung 29 zeichnen ein ausgeglichenes Bild. Alle drei Varianten liegen in einem ähnlichen Niveau. Keiner der Reaktoren unterscheidet sich

signifikant von den anderen. Für umfangreichere Aussagen müssten noch weitere Untersuchungen folgen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen tendenziell keinen gravierenden Einfluss auf die Polyphenolgehalte haben.

Beim Phosphat Abbildung 31 im Endmaterial gibt es ein ähnliches Bild. Jedoch weichen hier zwei Messwerte bei Reaktor 3 doch deutlich von den anderen ab. Dies wird allerdings auf einen Messfehler zurückgeführt, da die beiden restlichen Werte bei Reaktor 3 in üblichen Bereichen liegen.

Wie schon im Kapitel 4.1.6 beschrieben wurden, die Rückstände der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen nur in den drei kleinsten Fraktionen festgestellt.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass bis auf die Ausnahme mit dem Kresse Versuch kein Nachteiliger Effekt auf die Kompostqualität festgestellt werden konnte. Die Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen wirkt sich somit nicht negativ auf den Rotteprozess aus.

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Rotteprozess zu untersuchen. Insgesamt wurden 30 Festproben ausgewertet und verschiedenste Messungen (Rottetemperatur, Reaktorabluftabluft) durchgeführt, um ein aussagekräftiges Bild über die biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen zu erstellen.

In dieser Masterarbeit wurde die Zumischung von unterschiedlichen Mengen an biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen zum Rotteeingangsmaterial untersucht. Durch die Kontrollvariante (ohne Zumischung von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen) wurde der Standardprozess einer Kompostierung abgebildet. Die Versuche wurden am Institut für Abfallwirtschaft in einer Klimakammer durchgeführt.

Wie schon mehrfach erwähnt, wurden in dieser Arbeit speziell die Auswirkungen, bzw. der Einfluss von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen näher betrachtet. Es wurden immer alle drei beobachteten Reaktoren miteinander verglichen. Als Ergänzung wurden auch noch drei Untervarianten geführt, um Abweichungen oder Thesen schlüssig überprüfen zu können. Die Proben wurden an den Umsetzzeitpunkten und manchmal auch zusätzlich während des gesamten Rotteverlaufs entnommen.

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden wie sich biologisch abbaubare Vorsammelhilfen auf den Rotteprozess auswirken. Besonders Augenmerk galt der in früheren Versuchen Tendenzen Rottetemperatur, da es zu einer Temperaturerhöhung gab. Diese Tendenzen konnten jedoch in dieser Arbeit nicht bestätig werden. Alle drei Reaktoren hatten über den gesamten Versuchszeitraum einen nahezu identischen Temperaturverlauf. gab Es keine signifikanten Temperaturerhöhungen Reaktoren mit biologisch abbaubaren in den Vorsammelhilfen.

Auch die Huminsäurengehalte und die Atmungsaktivität bewegten sich bei allen drei Varianten in einem für den Rotteprozess üblichen Bereich.

Weiteres Ziel war auch die Untersuchung des Endprodukts. Im Besonderen wurde der Einfluss der biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen auf den Kompost untersucht. Auch hier stellte sich heraus, dass es keinen signifikanten Einfluss auf die Endproduktqualität gibt.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der Weg mit biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen eine Zukunft hat. Zum einen hilft es das Problem der Mikrokunststoffe in der Umwelt zu verringern und zum anderen bringen abbaubare Vorsammelhilfen Erleichterungen für die Einwohner bei der Bioabfallsammlung.

Literaturverzeichnis

- Abdelhadi, M. (2021). *Humic Substances: Prospects for Use in Agriculture and Medicine*. London: Intech Open.
- Amlinger, F., Peyr, S., Hildebrandt, U., Müsken, J., Cuhls, C., & Clemens, J. (2005). STAND DER TECHNIK DER KOMPOSTIERUNG. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Binner, E. (2020). Analysemethoden. Wien: Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft.
- Binner, E. (2022). Analyseergebnisse Kompostuntersuchung. Wien: Institut für Abfallund Kreislaufwirtschaft.
- Binner, E., Zafiu, C., & Huber-Humer, M. (2019). *Kompostierbarkeit von biologisch abbaubaren Vorsammelhilfen.* Wlen: Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft.
- BMNT. (2017). BUNDES-ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN 2017. Wien: Bundesministerieum für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Bundesrecht konsolidiert. (7. Juli 2022). Gesamte Rechtsvorschrift für Abfallwirtschaftsgesetz 2002. Österreich: RIS.
- Fritz, I. (2019). Die Kernaussagen der EN 13432. Tulln: Universität für Bodenkultur.
- Gerzabek, M., Danneberg, O., & Kandeler, E. (1993). Bestimmung des Humifizierungsgrades. In F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, & R. Margesin, *Bodenbiologische Arbeitsmethoden* (S. 107-109). Berlin: Springer Verlag.
- Grassinger, D. (1998). Einfluss von Temperatur und Sauerstoffgehalt auf die Humifizierung und die Mineralisierung bei der Verrottung von Bioabfall. Wien: Dissertation, Universität für Bodenkultur.
- Heyman, H., Bassuk, N., Bonhotal, J., & Walter, T. (2019). Compost Quality Recommendations for Remediating Urban Soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*, 31-91.
- Kranz, C., McLaughlin, R., Johnson, A., Miller, G., & Heitman, J. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils A concise review. *Journal of Environmental Management*, 261, 110-209.
- Law, K., Morét-Ferguson, S., Maximenko, N., Proskurowski, G., Peacock, E., Hafner, J., & Reddy, C. (2010). Plastic Accumulation in the North Atlantic Subtropical Gyre. Science, 329(5996), 1185-1188.
- Liu, X., Shi, Y., Kong, L., Tong, L., Cao, H., Zhou, H., & Lv, Y. (27. Februar 2022). Long-Term Application of Bio-Compost Increased Soil Microbial Community Diversity and Altered Its Composition and Network. *Microorganisms*, 10(2), 462.
- Machado, A., Lau, C., Till, J., Kloas, W., Lehmann, A., Becker, R., & Rillig, M. (2018). Impacts of Microplastics on the Soil Biophysical Environment. *Environmental Science & Technology*, *52*(17), S. 9656-9665.

- Scopetani, C., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Martellini, T., Leiniö, V., & Pellinen, J. (2022). Hazardous contaminants in plastics contained in compost and agricultural soil. *Chemosphere*, 239, 133645.
- Shamsuddin, I., Jafar, J., Shawai, A., Yusuf, S., Lateefah, M., & Aminu, I. (2017). Bioplastics as Better Alternative to Petroplastics and Their Role in National Sustainability: A Review. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 4(5), 63-70.
- Springer, C. (2010). Energy- and CO₂-balance of composting considering the substitution potential of compost; Energie und CO₂-Bilanz der Kompostierung unter Einbezug des Substitutionspotentials des Komposts. *Muell und Abfall*, S. 42(8), 386-396.
- Srikanth, P. (2011). Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications. Massachusetts: Scrivener Publishing.
- Stadt Wien. (2022). https://www.wenigermist.at/kein-mist-kompost-ist-wertvoll. Abgerufen am 13. Dezember 2022 von https://www.wenigermist.at/kein-mist-kompost-ist-wertvoll
- Umweltbundesamt. (Juni 2021). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikatione n/210722_fachbrosch_5_bf.pdf. Abgerufen am 17. November 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikatione n/210722_fachbrosch_5_bf.pdf
- Urban, A., & Halm, G. (2010). *Praktikable Klimaschutz-Potenziale in der Abfallwirtschaft*. Berlin: UNIK-AT.
- Wan, J., Wang, X., Yang, T., Wei, Z., Banerjee, S., Friman, V. P., Mei, X., Xu, Y. Shen, Q. (22. März 2021). Livestock Manure Type Affects Microbial Community Composition and Assembly During Composting. *Frontiers in microbiology,* 12(621126).
- Zafiu, C., Binner, E., Hirsch, C., Vay, B., & Huber-Humer, M. (2020). Makro- und Mikrokunststoffe in österreichischen Komposten. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 72, 410-420.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen nach Sektoren im Jahr 2009 (Urban &	
Halm,2010)1	17
Abbildung 2: Bereich für den optimalen Wassergehalt im Rottegut im Verlauf der	
Kompostierung mit Schwankungsbreiten (Amlinger et al., 2005) 1	19
Abbildung 3: Biokreislaufwirtschaft der Stadt Wien (Stadt Wien, 2022)	22
Abbildung 4: Reaktor 1 mit Inputmaterial ohne biologisch abbaubare	
Vorsammelhilfen	23
Abbildung 5: Anordnung der Reaktoren in der Klimakammer am Institut für	
Abfallwirtschaft	26
Abbildung 6: Klimakammer am Institut für Abfallwirtschaft	27
Abbildung 7: Beschreibung der Rotteversuchsanlage im Labor des ABF BOKU	
(Binner, Analysemethoden, 2020)2	28
Abbildung 8: Aufbau des Sappromat E im Labor des ABF BOKU (Binner,	
Analysemethoden, 2020)	39
Abbildung 9: Kresseversuch – Mischungen Tag 14	11
Abbildung 10: Rütteltisch RT 405-7 mit einem Siebsatz4	18
Abbildung 11: Reaktor 2, Fraktion 63 μm - 200 μm	19
Abbildung 12: Reaktor 2, Fraktion 63 μm - 200 μm Bildausschnitt 1000 x 1000 Pixel	
5	50
Abbildung 13: Rottetemperaturen im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 5	52
Abbildung 14: CO ₂ Konzentration von Reaktor 1 bis 3	55
Abbildung 15: Huminsäurengehalte im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab	
Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)	56
Abbildung 16: Huminsäurengehalt von Rottegut im Reaktor 3, Reaktor 7 und Reaktor	or
11 5	57
Abbildung 17: Huminsäurengehalt im Rottegut von Reaktor 1, Reaktor 5 und Reaktor	or
95	57
Abbildung 18: Glühverlust im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5	
nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)5	58
Abbildung 19: Organischer Kohlenstoffgehalt im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Wert	е
ab Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren) 5	59

Abbildung 20: Kohlenstoffabbauraten im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab	
Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)	59
Abbildung 21: Summe Kohlenstoffabbau im Rottegut von Reaktor 1 bis 3. Die	
senkrechten Striche bezeichnen die Zeitpunkte des Zusammenlegens von	
Reaktoren der 3 Etagen.	60
Abbildung 22: pH-Wert im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte ab Rottewoche 5	
nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)	61
Abbildung 23: Ammoniumstickstoffgehalt im Rottegut von Reaktor 1 bis 3 (Werte a	ab
Rottewoche 5 nach dem "Zusammenlegen" von Reaktoren)	62
Abbildung 24: Fraktion 6 (20-5 mm)	63
Abbildung 25: Kornfraktionen von Reaktor 1 bis 3 Standardabweichung und die	
statistische Auswertung fehlt (homogene Gruppen) fehlt, bitte einfügen. Sie müsse	ne
die Abkürzungen erklären (R-Reaktor)	64
Abbildung 26: Atmungsaktivität im Rottegut von Rottewoche 6 bis 15 in den	
Reaktoren 1 bis 3	65
Abbildung 27: Beispiel Reaktor 2, Foto der Fraktion 200 - 630 μm	68
Abbildung 28: Polyphenolgehalt im Endmaterial (Frischgewicht) von Reaktor 1 bis	3
	70
Abbildung 29: Mittelwerte Polyphenolgehalte Reaktor 1 bis 3	70
Abbildung 30: Gesamtphosphor (Königswasseraufschluss) im Endmaterial	
(Frischgewicht) von Reaktor 1 bis 3	71
Abbildung 31: Mittelwerte Phosphor Konzentration Königswasser Reaktor 1 bis 3.	72
Abbildung 32: Gesamtphosphor Konzentration (Salpetersäureaufschluss) im	
Endmaterial (Frischgewicht) von Reaktor 1 bis 3	73
Abbildung 33: Mittelwerte Phosphor Konzentration HNO ₃ Reaktor 1 bis 3	74

IGB & ABF BOKU

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Input biologisch abbaubare Vorsammelhilfen
Tabelle 2: Untersuchte Kornfraktionen
Tabelle 3: Varianten des Temperatur-Zeitregimes zum Indirekten Nachweis der a
ausreichenden Reduktion von seuchenhygienisch relevanten Keimen aus Amlinger
et al. (2005)53
Tabelle 4: Optimale Temperaturbereiche nach verschiedenen Anforderungen an den
Rotteprozess Amlinger et al. (2005)
Tabelle 5: Volumengewichte der Komposte der 3 Varianten (Abkürzungen erklären)
69
Tabelle 6: Biomasseertrag [% zum Vergleichssubstrat] im Endmaterial von Reaktor 1
his 3

Anhang

Reaktoren ohne biologisch abbaubare Vorsammelhilfen (Kontrollvarianten)

Reakto	or 1								
Datum	Rotte- dauer Tage	Rotte- temperat ur °C	WG % FM	GV % TM	TOC % TM	NH₄ – N mg/kg TM	pH-Wert -	AT ₄ mgO ₂ /g TM	Huminsäuren OD/g oTM
11.11.22	0	42,3	58,7	70,4	37,2	2.350	5,6	n.a.	n.a.
16.11.22	5	62,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6	n.a.	n.a.
24.11.22	13	57,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.22	19	52,7	73,1	64,7	34,9	n.a.	8,3	n.a.	450
18.12.22	37	57,7	74,8	62,4	33,1	n.a.	n.a.	5,3	600
11.01.22	61	56,1	73,5	57,0	30,9	290	7,9	3,3	550
23.02.22	104	36,6	74,6	51,1	26,9	55	7,8	1,3	950

n.a. = nicht analysiert

Reakto	or 5									
Datum Rotte- dauer Tage		Rotte- temperat	WG	GV	TOC	NH ₄ – N	pH-Wert	AT ₄	Huminsäuren	
	ur °C	% FM	% TM	% TM	mg/kg TM	-	mgO ₂ /g TM	OD/g oTM		
11.11.20	0	44,9	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.	
16.11.20	5	61,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,55	n.a.	n.a.	
24.11.20	13	57,2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
30.11.20	19	52,2	69,8	63,4	33,9	n.a.	8,25	n.a.	426	
18.12.20	37	56,8	78,4	62,6	33,1	373	8,3	5,0	523	
11.01.21	61	55,3	70,3	56,2	31,9	256	8,18	3,4	791	

n.a. = nicht analysiert

Reakto	or 9								
Rotte- Datum dauer Tage		Rotte- temperat	WG	GV	TOC	NH ₄ – N	pH-Wert	AT ₄	Huminsäuren
	ur °C	% FM	% TM	% TM	mg/kg TM	-	mgO ₂ /g TM	OD/g oTM	
11.11.20	0	42,5	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	57,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,43	n.a.	n.a.
24.11.20	13	54,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	49,7	69,2	69,5	36,7	n.a.	8,0	n.a.	359
18.12.20	37	53,6	71,2	63,4	33,2	394	8,37	5,7	436

n.a. = nicht analysiert

Reaktoren mit je 38g biologisch abbaubare Vorsammelhilfen

Reakto	or 2								
Datum	Rotte- dauer Tage	Rotte- temperat ur °C	WG % FM	GV % TM	TOC % TM	NH₄ – N mg/kg TM	pH-Wert -	AT ₄ mgO ₂ /g TM	Huminsäuren OD/g oTM
11.11.20	0	41,0	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	62,0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,84	n.a.	n.a.
24.11.20	13	57,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	52,8	70,1	62,6	33,3	n.a.	8,2	n.a.	415
18.12.20	37	57,8	72,3	62,8	33,0	347	8,37	5,4	511
11.01.21	61	56,3	72,0	57,1	n.a.	235	7,8	3,5	748
23.02.21	104	36,9	73,8	50,2	26,8	69	7,85	1,5	892

n.a. = nicht analysiert

Reakto	or 6								
Rotte- Datum dauer Tage		Rotte- temperat	WG	GV	TOC	NH ₄ – N	pH-Wert	AT ₄	Huminsäuren
	ur °C	% FM	% TM	% TM	mg/kg TM	-	mgO ₂ /g TM	OD/g oTM	
11.11.20	0	41,2	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	59,9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,48	n.a.	n.a.
24.11.20	13	56,1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	50,9	71,7	62,6	33,5	n.a.	8,25	n.a.	473
18.12.20	37	55,2	72,3	63,3	33,4	364	8,29	5,7	464
11.01.21	61	54,2	69,2	55,8	29,4	201	8,29	3,4	659

n.a. = nicht analysiert

Reakto	ktor 10									
Datum Rotte- dauer Tage		Rotte- temperat	WG	GV	TOC	NH ₄ – N	pH-Wert	AT ₄	Huminsäuren	
	ur °C	% FM	% TM	% TM	mg/kg TM	-	mgO₂/g TM	OD/g oTM		
11.11.20	0	40,6	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.	
16.11.20	5	57,1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,66	n.a.	n.a.	
24.11.20	13	53,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
30.11.20	19	48,9	72,4	65,7	n.a.	n.a.	8,02	n.a.	430	
18.12.20	37	52,3	74,7	59,1	31,7	439	8,36	6,5	437	

n.a. = nicht analysiert

Reaktoren mit je 152g biologisch abbaubare Vorsammelhilfen

Reakto	or 3								
Datum	Rotte- dauer Tage	Rotte- temperat ur °C	WG % FM	GV % TM	TOC % TM	NH₄ – N mg/kg TM	pH-Wert -	AT ₄ mgO ₂ /g TM	Huminsäuren OD/g oTM
11.11.20	0	39,8	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	61,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,5	n.a.	n.a.
24.11.20	13	56,4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	52,8	73,4	69,5	36,6	n.a.	8,6	n.a.	307
18.12.20	37	57,3	69,0	65,4	36,4	231	8,2	5,5	486
11.01.21	61	56,3	69,5	57,1	30,8	282	7,8	4,1	710
23.02.21	104	36,7	70,2	53,8	29,1	98	7,7	1,8	827

n.a. = nicht analysiert

Reakto	or 7								
Datum	Rotte- dauer	Rotte- temperat	WG	GV	TOC	NH ₄ – N	pH-Wert	AT ₄	Huminsäuren
Datain	Tage	ur °C	% FM	% TM	% TM	mg/kg TM	-	mgO ₂ /g TM	OD/g oTM
11.11.20	0	40,3	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	60,3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,8	n.a.	n.a.
24.11.20	13	56,1	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	51,1	69,2	63,3	33,8	n.a.	8,3	n.a.	441
18.12.20	37	55,7	66,0	63,7	34,2	256	8,3	5,4	438
11.01.21	61	54,7	67,5	57,9	30,9	302	8,0	4,1	477

n.a. = nicht analysiert

Reaktor 11									
Datum	Rotte- dauer Tage	Rotte- temperat ur °C	WG % FM	GV % TM	TOC % TM	NH₄ – N mg/kg TM	pH-Wert -	AT ₄ mgO ₂ /g TM	Huminsäuren OD/g oTM
11.11.20	0	40,5	58,7	70,4	37,2	2.338	5,61	n.a.	n.a.
16.11.20	5	56,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6	n.a.	n.a.
24.11.20	13	52,8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
30.11.20	19	48,8	70,2	65,2	n.a.	n.a.	7,9	n.a.	417
18.12.20	37	51,8	68,4	62,2	32,8	363	8,2	5,8	492

n.a. = nicht analysiert