



HUMUS-UND ERDEN KONTOR  
**AKADEMIE**



Universität Stuttgart



# VELKO – Verbund landwirtschaftliche Kompostierung

## Abschlussbericht

Dr. Uli Zerger (SÖL)  
Kurt Hellwig-Büscher (SÖL)  
Ralf Gottschall (ISA)  
Heidi Keber (ISA)  
Marion Bieker (HUMUS- UND ERDEN KONTOR GmbH)  
Clement Gelin (TH Bingen)  
Dr. Martin Reiser (ISWA, Uni Stuttgart)

Datum 29. März 2024



Europäischer Landwirtschaftsfonds für  
die Entwicklung des ländlichen Raums:  
Hier investiert Europa  
in die ländlichen Gebiete.



**Weiterer Partner der OG:**



DIENSTLEISTUNGSZENTRUM LÄNDLICHER RAUM (DLR)  
RHEINHESSEN-NAHE-HUNSRÜCK

Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau (KÖL)

Rüdesheimer Straße 60-68  
55545 Bad Kreuznach

**Impressum**

**Hauptverantwortlicher der OG**

Stiftung Ökologie & Landau  
Dr. Uli Zerger  
Weinstraße Süd 51  
67098 Bad Dürkheim  
Tel.: 06322-9897 0223  
E-Mail: zerger@soel.de

**Für die Förderung zuständiges Ministerium**

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr,  
Landwirtschaft und Weinbau  
Referate 8607 und 8608  
Stiftstraße 9  
55116 Mainz  
E-Mail: eulle@mwwlvw.rlp.de  
Internet: [www.eler-eulle.rlp.de](http://www.eler-eulle.rlp.de)

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorhabenplanung.....	1
1.1	Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn.....	1
1.2	Ausgangssituation .....	2
1.3	Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens.....	5
1.4	Arbeitsplan .....	6
1.5	Arbeitspakete .....	7
2	Verlauf des Vorhabens .....	11
2.1	Gesamtverlauf .....	11
2.1.1	Kontakte zu anderen Kompostierern .....	11
2.2	AP2-Beratung der Betriebe und Planung der Kompostierung .....	14
2.2.1	Beratung der Betriebe .....	14
2.2.2	Ausgangsmaterialien: Art und Untersuchungsumfang .....	15
2.3	AP 3 - Durchführung der Kompostierung.....	17
2.3.1	Durchführung der Kompostierung .....	17
2.3.2	Standortübergreifende Aspekte.....	21
2.4	AP 4 – Kompostierungsverlauf, Kompostqualität und Emissionen.....	26
2.4.1	Kompostierungsverlauf .....	26
2.4.2	Qualitätsuntersuchungen.....	31
2.4.3	Hygieneprozessprüfung.....	37
2.4.4	Nmin-Messungen .....	39
2.4.5	Sickerwassererfassung .....	41
2.4.6	Gasmessungen.....	43
2.5	AP 5 - Pflanzenbauliche Untersuchung: Gefäßversuch .....	46
2.5.1	Beschreibung.....	46
2.5.2	Durchführung und Verlauf des Gefäßversuchs .....	49
2.6	AP 6 - Betriebswirtschaftliche und Arbeitswirtschaftliche Untersuchung.....	55
2.6.1	Methodisches Vorgehen .....	56
2.7	AP 7 Zusammenfassende Systembeschreibung und Praxisumsetzung.....	58
2.8	AP 8 Wissenstransfer/Veröffentlichungen.....	59
2.8.1	Schulungen und Informationsveranstaltungen.....	59
2.8.2	Gespräche mit kommunalen Kompostierern .....	60

3	Ergebnisse und Zielerreichung .....	63
3.1	AP 2- Beratung der Betriebe und Planung der Kompostierung .....	63
3.1.1	Beratung der Betriebe .....	63
3.2	AP 3 - Durchführung der Kompostierung.....	73
3.2.1	Durchführung der Kompostierung / Temperaturverläufe .....	73
3.2.2	Hygieneprozessprüfung.....	85
3.3	AP 4 – Kompostierungsverlauf, Kompostqualität und Emissionen.....	89
3.3.1	Kompostierungsverlauf .....	89
3.3.2	Qualitäten Input-/Outputmaterial .....	96
3.3.3	Emissionen Sickerwasser.....	135
3.3.4	Sickerwasserbelastung und Nährstoffausträge.....	145
3.3.5	N <sub>min</sub> -Gehalte der Böden unter Kompostmieten .....	152
3.3.6	Gasmessungen.....	161
3.4	AP 5 - Pflanzenbauliche Untersuchung .....	174
3.5	AP 6 - Betriebswirtschaftliche und arbeitswirtschaftliche Ergebnisse.....	178
3.5.1	Beschreibung der Verfahrensabläufe.....	178
3.5.2	Arbeitszeitbedarf.....	180
3.5.3	Verfahrenskosten .....	180
3.5.4	Verfahrenskosten .....	182
3.6	AP 7 Zusammenfassende Systembeschreibung und Praxisumsetzung.....	184
3.7	AP 8 Wissenstransfer/Veröffentlichungen.....	186
3.7.1	Wissenstransfer/Veröffentlichungen .....	186
3.7.2	Beschreibung der rechtlichen Regelungen der landwirtschaftlichen Kompostierung .....	186
3.7.3	Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	194
3.7.4	Erreichung der Ziele des Vorhabens.....	196
4	Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung.....	198
4.1	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	198
4.2	Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse .....	200
4.3	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....	201
5	Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG) .....	204
5.1	Gestaltung der Zusammenarbeit.....	204
5.2	Mehrwert des Formats einer OG .....	205
5.3	Weitere Zusammenarbeit .....	205

6	Verwendung der Zuwendung.....	206
7	Schlussfolgerungen und Ausblick .....	207
8	Literaturverzeichnis.....	208
9	Anhang.....	212
9.1	Probenahme feste unbehandelte und behandelte Bioabfälle .....	220
9.2	Schema: Kompost-Bonitur .....	223
9.3	Untersuchung Sickerwasserproben.....	224
9.4	Temperaturverläufe einzelner Mieten.....	225
9.5	Analysenergebnisse der untersuchten Komposte sowie der Ausgangssubstrate .....	242
9.6	Einzelergbnisse der Gasmessungen .....	250
9.7	Betriebswirtschaftliche Angaben und Berechnungen.....	254
9.8	Mietenbegleitkarte.....	264

## Zusammenfassung / Abstract

### **VELKO - Verbund Landwirtschaftliche Kompostierung**

Im EIP-Projekt VELKO wurde der Frage nachgegangen, wie landwirtschaftliche Betriebe befähigt werden können, eine eigene Kompostierung ihrer Materialien zu betreiben. An dem Vorhaben, das von 2021 bis 2024 in den Landkreisen KIB und DÜW durchgeführt wurde, haben sich 6 Biobetriebe beteiligt (z.T. tierhaltend, z.T. viehlos). Durch das Projekt konnte die erforderliche Infrastruktur für die Kompostierung bereitgestellt werden, es fand eine umfassende Beratung und Begleitung der Betriebe sowie ein intensiver Austausch zwischen den Betrieben statt.

Im Ergebnis zeigte sich, dass die Betriebe in der Lage waren, qualitativ hochwertige Komposte zu erzeugen. Die größten Herausforderungen bestanden in der Herstellung geeigneter Ausgangsmischungen sowie im Wassermanagement während der Kompostierung. Entscheidend für den Einstieg in die Kompostierung ist der Zugriff auf eine geeignete Maschinenteknik beim Umsetzen der Mieten, der überbetrieblich eingesetzt werden kann, d.h. gut transportabel ist und allen Anforderungen des Straßenverkehrs entspricht (hier: gezogener Portalachsumsetzer).

In Hinblick auf mögliche Umweltbelastungen der Kompostierung konnten keine nennenswerten hydraulischen oder gasförmigen Verluste festgestellt werden und damit auch keine Gefahr von Gewässerbelastungen. Für die Ausweitung der Kompostierung auf andere landwirtschaftliche Betriebe es jedoch erforderlich, dass bei der Auslegung den bestehenden fachrechtlichen Bestimmungen die landwirtschaftliche Kompostierung eine klare Akzeptanz erfährt, sofern die Durchführung der Kompostierung der guten landwirtschaftlichen Fachpraxis entspricht.

### **VELKO – joint working group for agricultural composting**

*The EIP project VELKO investigated the question of how farms can be enabled to carry out on-farm-composting of their agricultural residues. The project, which was carried out in the districts of KIB and DÜW, involved 6 organic farms (some with livestock, some without). The project provided the necessary infrastructure for composting, comprehensive advice and support for the farms and an intensive exchange between the farm managers.*

*The results showed that the farms were able to produce high-quality compost. The biggest challenges were the production of suitable starting mixtures and water management during composting. Access to suitable machinery for turning the windrows, which can be used across farms, i.e. is easily transportable and meets all road traffic requirements (here: trailed windrow turner), is crucial for getting started with appropriate on-farm-composting.*

*With regard to possible environmental impacts of composting, no significant hydraulic or gaseous losses were identified and therefore no risk of water pollution. For composting to be extended to other agricultural enterprises, however, it is necessary for on-farm-composting to be clearly accepted in the interpretation of existing legal and technical regulations, provided that composting is carried out in accordance with good agricultural practice.*

# 1 Vorhabenplanung

## 1.1 Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn

In Deutschland fällt jährlich eine sehr große Menge fester organischer Reststoffe an. Neuere Statistiken liegen hierfür jedoch nur in Teilbereichen vor. Berücksichtigt man etwas ältere Daten zu landwirtschaftlichen, gartenbaulichen und forstwirtschaftlichen Reststoffen sowie die aktuellen Zahlen zu organischen Reststoffen aus Siedlung und Gewerbe, wie Bioabfälle, Lebensmittelreste, Grünabfälle etc., so schätzen Experten hieraus eine Gesamtmenge von ca. 60 – 80 Mio. t p.a. fester organischer Reststoffe bundesweit (Schuchardt und Vorlop 2010, Schultheis et.al. 2010, FNR 2016, Kern und Siepenkothen 2019). Auch wenn diese Schätzung mit einigen Unsicherheiten behaftet ist, zeigt sie doch alleine schon das prinzipiell sehr hohe Mengenpotential.

Aus diesen Reststoffmengen werden entsprechend gesetzlicher Vorgaben inzwischen ca. 20-30 % zielgerichtet biotechnisch aerob oder anaerob aufbereitet und die gewonnenen Produkte (Komposte, Gärgut) im Pflanzenbau mit hohem Nutzen eingesetzt. Der größte Teil der o.g. organischen Reststoffe unterliegt hingegen keiner zielgerichteten Aufbereitung und Verwertung. Vielmehr wird dieser Anteil unter verschiedensten Bedingungen auf den Betrieben gelagert, die bei Betrachtung aller wesentlichen fachlichen Gesichtspunkte als sachlich ungünstig bis ungeeignet einzustufen sind (Gottschall 1992, Gottschall et. al. 1995, Paulsen et. al. 2013, Gattinger et. al. 2015, Pardo et. al. 2015). Weiterhin steht die Rückführung dieser organischen Reststoffe in pflanzenbauliche Kreisläufe dabei oft hinter anderen betrieblichen Prioritäten zurück. In den meisten Fällen fehlen optimierte Logistikketten für die Aufbereitung der organischen Reststoffe, um einen bestmöglichen Nutzen für Boden und Pflanze zu erreichen. Dies gilt insbesondere für die oftmals nicht praktizierte Kompostierung.

Alleine die aufgrund vorstehender Zusammenhänge realisierten gasförmigen und hydraulischen Verluste an Pflanzennährstoffen und organischer Substanz bei der Lagerung (Gottschall et.al. 1995, Gattinger et. al. 2015), die hierdurch möglichen negativen Auswirkungen auf Wasser, Boden und Klima sowie die o.g. suboptimalen Anwendungsbedingungen der organischen Reststoffe im Pflanzenbau führen zu erheblichen betriebswirtschaftlichen Einbußen und volkswirtschaftlichen Schäden. Und dies betrifft in Landwirtschaft und Gartenbau eben nicht nur – wie vielfach angenommen – flüssige organische Reststoffe und Wirtschaftsdünger wie Gülle, sondern in hohem Maße auch feste organische Reststoffe z.B. aus der Gemüseproduktion sowie Treber und Trester, Festmist etc.

Der hierdurch entgangene Nutzen und die möglichen Umweltschäden sind ganz allgemein für Landwirtschaft und Gartenbau sowie die Gesellschaft nicht akzeptabel (Gattinger et. al. 2015, Kluge, R. et. al. 2008). Speziell gilt dies auch für den ökologischen Landbau, der entsprechend seiner Leitlinien eine bestmögliche Nutzung der innerbetrieblichen Ressourcen anstrebt, wozu selbstverständlich auch die anfallenden organischen Reststoffe und Wirtschaftsdünger zählen. Im Hinblick auf Nachhaltigkeit und gewünschtes Wachstum des ökologischen Landbaus spielt die optimale Verwertung dieser innerbetrieblichen Ressourcen eine zentrale Rolle.

In der Geschichte des ökologischen Landbaus haben sich daher verschiedene Formen der Aufbereitung von organischen Reststoffen und Wirtschaftsdüngern, insbesondere auch zur Kompostierung, entwickelt. Keines der bisher angewendeten Kompostierungsverfahren konnte sich jedoch in der Praxis durchsetzen. Auch Betriebsverbände zur Kompostierung von Wirtschaftsdüngern und organischen Reststoffen aus dem Gartenbau sind bisher weitgehend Theorie geblieben. Sieht man von einer Reihe sehr konsequent mit spezifischen Verfahren arbeitender Einzelbetriebe ab, ist die Kompostierung doch auch im Ökolandbau weitgehend dadurch geprägt, dass suboptimale Verfahren genutzt werden oder auch nur eine Lagerung ohne zielgerichtete Aufbereitung erfolgt.

## Kompostierung als Prozess

Kompostierung ist ein natürlicher biologischer Prozess, der unter kontrollierten aeroben Bedingungen abläuft. Während des Prozesses wird organische Substanz durch Mikroorganismenaktivität abgebaut und zugleich werden stabile Humusverbindungen aufgebaut. Die Effektivität des Kompostierungsprozesses hängt von den herrschenden „Umweltbedingungen“ ab, wie z.B. Art und Qualität der Ausgangsmaterialien, C/N-Verhältnis, Mietengeometrie, Sauerstoffversorgung, Feuchtigkeit, Temperatur, Umsetzungsvorgänge bzw. Belüftungsintensität, Materialdurchmischung, Rottedauer. Diese Faktoren beeinflussen Art, Vielfalt, Größe und Aktivität der Mikroorganismenpopulation. Um den Abbauprozess optimal zu gestalten, müssen daher die für die Mikroorganismen günstigsten Lebensbedingungen geschaffen werden.

Die vorgenannten Prozessparameter haben zudem einen bedeutenden Einfluss auf die Entstehung von Emissionen, sowohl auf der hydraulischen Seite als auch von Treibhausgasemissionen wie Methan und Lachgas (Gottschall et. al 1995, Cuhls et. al. 2015, Gattinger et. al. 2015, Pardo et. al. 2015). Mangelnde fachliche Praxis bei der Prozessführung ist die häufigste Entstehungsursache hierfür. Durch ein effektives Management der Kompostierungsanlage bzw. des Rotteprozesses können diese Emissionen minimiert werden.

Die wichtigsten Parameter wie z.B. Feuchtigkeit, Sauerstoffversorgung, Temperatur, pH-Wert, löslicher Stickstoff unterliegen im Rotteverlauf und in Abhängigkeit von der Betriebsführung erheblichen Schwankungen, können jedoch durch gezielte Maßnahmen in der Prozesssteuerung beeinflusst und damit reproduzierbar gute Ergebnisse erzielt werden.

Eine zielgerichtete Steuerung des Inputs und des Rotteprozesses ist darüber hinaus Voraussetzung für die Herstellung hygienisch unbedenklicher, reifer und aus pflanzenbaulicher Sicht nutzbringender Komposte (Gottschall, R. 1992).

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, sind seitens des Betreibers einer Kompostmiete vertiefte Kenntnisse über die Prozessabläufe während der biologischen Behandlung erforderlich. Die Mittel zur Kontrolle der Kompostierungsbedingungen können in Abhängigkeit von der Art der verwendeten Technologie, der Art der zu verarbeitenden Materialien, unter Umweltgesichtspunkten und dem gewünschten Endprodukt sowie weiteren betrieblichen und standörtlichen Rahmenbedingungen unterschiedlich sein.

Im Bereich der Abfallwirtschaft (Bioabfallverwertung) wurde in den letzten 3 Jahrzehnten eine Vielzahl von Forschungsprojekten und Untersuchungen in Bezug auf geeignete Material- und Prozesskennwerte für den Kompostierungsprozess durchgeführt und in die Praxis umgesetzt (Kluge, R. et. al. 2008, Gattinger et. al. 2015). Es wurden wesentliche Erkenntnisse in Bezug auf einen emissionsarmen Anlagenbetrieb und Fortschritte bei der Produktqualität gewonnen (Bidlingmaier et. al. 2012, Kranert 2017). Auch wurden leicht handhabbare Methoden zur Eigenüberwachung der Rotteprozessführung entwickelt.

## 1.2 Ausgangssituation

Trotz der genannten Vorteile der Kompostierung war zu Beginn des Vorhabens festzustellen, dass – bis auf sehr wenige Ausnahmen – zumindest in den Regionen Rheinhessen und Pfalz keine Kompostierung auf Ökobetrieben anzutreffen war. Daher wurden vor Projektbeginn die wesentlichen Hemmnisse zusammengetragen bzw. benannt.

## **Hemmnisse in der Praxis**

Die nachfolgend genannten Haupthemmnisse wurden zu Beginn des Projekts aus der Sicht der EIP-Praktiker zusammengetragen.

### Hemmnisse für die nicht stattfindende Kompostierung aus Sicht der Landwirte:

- rechtliche Unsicherheit
- Fehlende Spezialmaschinen
- Mangelnde Fachkenntnis
- Unsicherheit bezüglich Umweltauswirkungen
- Unsicherheit bezüglich Kompostqualität
- Zeitaufwand
- Finanzieller Aufwand
- Unklarheit bezüglich Nutzen (v.a. auf betrieblicher Ebene)

## **Fragestellungen der Praxis**

Aus Sicht der Praxis wurden die nachfolgenden Fragestellungen zur Herstellung und zum Einsatz von Komposten formuliert, die somit das Themenspektrum für das VELKO-Projekt beschreiben:

### **Grundlagen:**

- Für welche Betriebe ist die landwirtschaftliche Kompostierung denn überhaupt interessant?
- Welche Anforderungen sind für die landwirtschaftliche Kompostierung relevant?

### **Rechtliche Fragestellungen:**

- Wie kann die dezentrale landwirtschaftliche Kompostierung durchgeführt werden unter Berücksichtigung des Fachrechts?
- Unter welchen Voraussetzungen ist eine Feldrandmietenkompostierung in Rheinland-Pfalz machbar?
- Was ist rechtlich zu berücksichtigen, wenn im Betriebsverbund gearbeitet wird und/oder zusätzliche organische Reststoffe wie z.B. Grüngut aus kommunalem Anfall integriert werden?

### **Einsetzbare Materialien**

- Welche betriebsinternen Materialien stehen zur Disposition?
- Gibt es weitere landwirtschaftliche organische Reststoffe, die von Partnerbetrieben im Rahmen einer überbetrieblichen Zusammenarbeit nutzbar wären?
- Sind Materialien von außerhalb der Landwirtschaft wie insbesondere Grüngut aus kommunalem Anfall akquirierbar und unter welchen Rahmenbedingungen macht es Sinn, diese zusätzlich zu integrieren?
- Welche Zuschlag- und Zusatzstoffe sind im Kompostierungsprozess sinnvoll, wie steht es dabei um das Kosten-/Nutzenverhältnis?

### **Prozesssteuerung und Produktqualität**

- Wo gibt es das notwendige Know-How für eine fachlich fundierte und gleichzeitig betrieblich professionelle, arbeitssparende Prozesssteuerung bei der Kompostierung?
- Welche Parameter sind für die Qualitätssicherung des Kompostierungsprozesses und der gewonnenen Produkte relevant und müssen erfasst werden?
- Wie kann eine emissionsarme Kompostierung ermöglicht werden?
- Welche Kompostqualitäten kann man erzeugen und welche benötigt der Betrieb in Abhängigkeit von den wesentlichen Rahmenbedingungen wie Bodenart, Klima, Fruchtfolge?

### **Arbeitswirtschaft und Logistik**

- Welcher arbeitswirtschaftliche Aufwand ist mit der landwirtschaftlichen Kompostierung verbunden und ließe er sich ggf. durch eine überbetriebliche Kooperation in einem Organisationsverbund reduzieren?
- Wie groß kann der Aktionsraum für einen solchen Organisationsverbund gewählt werden.

### **Kompostmengen und Anwendung**

- Welche Kompostmengen sind in Abhängigkeit von Rohmaterial und Prozessführung zu gewinnen?
- Braucht es generell sehr reife und lange durchgereifte Komposte, was die Mengen reduziert und den betrieblichen Aufwand erhöht, oder kann man auch mit frischeren, weniger lange gerotteten Komposten gearbeitet werden?
- Welche Komposte setzen die Betriebe zu welchen Kulturen, in welchen Mengen und unter Berücksichtigung der sonstigen betriebsrelevanten Rahmenbedingungen ein?

### **Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte**

- Was darf die Kompostierung den Betrieb kosten, was kostet sie tatsächlich und welche Optimierungsansätze gibt es dazu?
- Welcher gesellschaftliche Nutzen kann mit der landwirtschaftlichen Kompostierung generiert werden (Wasser-, Boden-, Klimaschutz)?

### 1.3 Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens

Das Projekt VELKO orientierte sich an den Zielsetzungen des EIP-Förderauftrags

1. Lösungsansätze für eine nachhaltige, ressourcen-, klima- und umweltschonende sowie tiergerechte Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft entwickeln.
2. Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Folgen.
3. Verbesserung der wirtschaftlichen Rentabilität für die Primärerzeuger und Stärkung der Akteure entlang regionaler Wertschöpfungsketten in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.

Zu 1.:

Insbesondere die Betriebe des Ökologischen Landbaus erfüllen bereits in einem hohen Maß die Anforderungen der Gesellschaft an eine nachhaltige, ressourcen-, klima- und umweltschonende sowie tiergerechte Landwirtschaft. Aufgrund der begrenzten Möglichkeiten externe Nährstoffe in die Betriebe einzubringen, ist es von besonderer Bedeutung die Nährstoffverwertungssituation dieser Betriebe zu verbessern und zu optimieren. Das Projekt VELKO hat zu Beginn den Anspruch formuliert hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten, wenn es gelingt, die genannten Herausforderungen zu lösen und in die Praxis umzusetzen bzw. ein überbetriebliches Stoffstrommanagement zu installieren. Dies wiederum sollte weitere Betriebe überzeugen, auf die ökologische Wirtschaftsweise umzustellen oder die im Rahmen des Projektes gewonnenen Erkenntnisse unabhängig von einer Umstellung zu nutzen.

Zu 2.:

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist die Landwirtschaft sowohl in der Rolle des „Täters“ als auch in der Rolle des „Opfers“. D.h. die Landwirtschaft trägt sowohl zum Klimawandel bei und ist zugleich durch den Klimawandel betroffen.

Ein wesentlicher Baustein, um die landwirtschaftlichen Anbausysteme resilienter zu gestalten, ist der vermehrte Einsatz von Kompost. Komposte tragen dazu bei, Kohlenstoff über eine lange Dauer in den Böden zu speichern (Stichwort: C-Sequestrierung) und trägt somit zur Minderung der Klimabelastung bei (Gerke et. al. 1999, Kluge et. al. 2008, Erhardt et. al., 2016). Zugleich kann über entsprechende Kompostgaben sowohl die Nährstoffdynamik als auch die Wasserhaltefähigkeit der Böden positiv beeinflusst werden, so dass die Anbausysteme weniger anfällig sind und mit Stresssituationen besser umgehen können.

Darüber hinaus ist es mit einem zielgerichteten Kompostierungsprozess möglich, die THG-Emissionen, die nach Literatur zwangsläufig bei ungeordnet gelagerten oder suboptimal aufbereiteten organischen Reststoffen und Wirtschaftsdüngern in hohem Umfang freigesetzt werden können, deutlich zu reduzieren. Dies betrifft insbesondere CH<sub>4</sub>, z.T. aber auch N<sub>2</sub>O und NH<sub>3</sub>, so dass diese Fragestellung im Rahmen des Projektes untersucht und analytisch erfasst wurde.

Zu 3.:

Das Projekt VELKO orientierte sich an der Zielsetzung, dass die Kompostierung letztlich für den Landwirt auch einen wirtschaftlichen Nutzen ergeben soll. Dies war bzw. ist eine wesentliche Voraussetzung um Landwirte für die Kompostierung zu gewinnen.

Im Projekt VELKO wurden die wesentlichen ökonomischen Daten erfasst, die mit der betrieblichen Kompostierung verbunden sind, um somit eine verbesserte Argumentationsgrundlage zu erarbeiten.

## 1.4 Arbeitsplan

In der Summe ist das EIP-Projekt VELKO mit dem Anspruch aufgetreten, für diese Fragen und Problemstellungen Lösungen zu erarbeiten. Darüber hinaus sollten Wege bzw. Konzepte gefunden werden, um die Engpässe überbrücken, die bisher der landwirtschaftlichen Kompostierung im Wege stehen. In der Summe sollte ein Standard für professionelle Systeme der Kompostierung auf landwirtschaftlichen Betrieben entwickelt werden.

Die Abkürzung VELKO steht für **V**erbund **l**andwirtschaftliche **K**ompostierung

Ziel des EIP-Projekts war, den landwirtschaftlichen Betrieben der Einstieg in die eigenbetriebliche Kompostierung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger zu ermöglichen und zugleich die Prozesse zu optimieren.

Zudem bestand der Anspruch, eine optimierte Vorgehensweise der landwirtschaftlichen Kompostierung durch einen überbetrieblichen Organisationsverbund zu erreichen.

Daraus ergaben sich folgende Einzelmaßnahmen:

- Beschreibung einer „Best-Practice-Form der landwirtschaftlichen Kompostierung“ für die Landwirtschaftsbetriebe, wie als Empfehlung die landwirtschaftliche Kompostierung erfolgreich fortgeführt werden kann.

Um für die Betriebe einen Nutzen bzw. Mehrwert zu erreichen, wurden folgende Handlungsfelder umgesetzt:

- Durch einen intensiven Beratungs- und Betreuungsprozess wurde versucht das Risiko für die teilnehmenden Betriebe weitgehend minimiert.
- Durch die Infrastruktur, die durch das Projekt bereitgestellt wurde, konnte eine Beteiligung der Betriebe erreicht werden, ohne dass allzu große Vorleistung durch die Betriebe erforderlich war.
- Durch die Schulungen während der Projektlaufzeit wurden den Landwirten ein spezielles Fachwissen zur Kompostierung vermittelt, das sie in die Lage versetzte, auch nach dem Ende der Projektlaufzeit die Kompostierung in eigener Verantwortung sach- und fachgerecht durchzuführen.
- Durch die intensive Bearbeitung rechtlicher Fragen zur landwirtschaftlichen Kompostierung konnte das Projekt einen Beitrag leisten, bestehende Rechtsunsicherheiten abzubauen bzw. Rechtssicherheit zu schaffen.
- Durch die Zusammenarbeit mit offiziellen Stellen Beratungseinrichtungen (z.B. dem KÖL am DLR R-N-H) konnte das Projekt dazu beitragen die Durchführungsfragen landwirtschaftlicher Kompostierung besser und differenzierter beurteilen und die Ergebnisse praxisnah verbreiten zu können.
- Durch die Messung etwaiger Verluste über das Sickerwasser bzw. über Ausgasungen konnte das Projekt dazu beitragen, die etwaigen Risiken landwirtschaftlicher Kompostierung besser beurteilen und zielgerichtete Minimierungsmaßnahmen anstoßen zu können.
- Das Vorhaben ist mit dem Anspruch angetreten als Modellprojekt über die Region hinaus überregional auszustrahlen. Insbesondere sollten damit andere Landwirtschaftsbetriebe, die eine nachhaltige Wirtschaftsweise anstreben, motiviert werden, entsprechende eigene Projekte zu realisieren.

## 1.5 Arbeitspakete

Im Projekt VELKO wurden folgende Arbeitsschritte/Arbeitspakete umgesetzt:

### **AP 1 – Koordination der Operationellen Gruppe (OG)**

Die Koordination der OG erfolgte durch die SÖL (Projektleiter: Uli Zerger). Die Koordination umfasst sowohl alle Prozesse innerhalb der OG als auch die Vertretung der OG nach außen. Dies gilt auch für die Öffentlichkeitsarbeit rund um das Projekt VELKO (Homepage, Veröffentlichungen, Vorträge, ...) sowie für die geplanten Schulungsmaßnahmen.

Unterstützung bei den Verwaltungs- und Abrechnungstätigkeiten erfolgte durch Eva Mundkowski.

### **AP 2- Beratung der Betriebe und Planung der Kompostierung**

Ein wesentliches Element des Projektes bestand in der Beratung der Betriebe dar. Die Beratung erfolgte in erster Linie durch die beiden externen Experten sowie durch den bei der SÖL angestellten Projektmitarbeiter. Der Beratungsauftrag umfasste folgende Arbeitsbereiche:

- Bestandserhebung auf den Betrieben (Erfassung der Ausgangsmaterialien hinsichtlich Art und Menge, Klärung der baulichen und technischen Voraussetzungen).
- Planung der Kompostierung: Klären der rechtlichen Fragen, Organisationsablauf zur Durchführung der Kompostierung, Erfassung der Ausgangsmengen, Koordination der Technik; Planung der Ausbringung.
- Durchführung der Kompostierung: Beaufsichtigung des Aufsetzens der Miete, Koordination der Umsetzung der Miete sowie der Abdeckung.
- Prozessbegleitung: Überwachung der Datenübermittlung, Durchführung von Kontrollmessungen.
- Kontinuierliche Information an die Landwirte bzgl. Kompostierungsverlauf.
- Schulungsmaßnahmen: Organisation von Schulungsmaßnahmen für interessierte Landwirte.

Bei allen beteiligten Betrieben wurden geeignete Plätzen für die Kompostierung ausgewählt, so dass die ersten Mieten im 3. Quartal 2021 aufgesetzt werden konnten. D.h. es erfolgte zu Projektbeginn im Vorfeld eine Planungsphase, bevor die erste Miete aufgesetzt wurde.

Die Kompostierung auf den Betrieben erfolgte somit in den Jahren 2021, 2022 und 2023. Anzumerken ist die Tatsache, dass nicht alle der im Herbst 2023 angelegten Kompostierungen für den Endbericht vollständig ausgewertet werden konnten. Da es sich jedoch um ein Praxisprojekt handelte, sollte auch im Abschlussjahr kompostiert werden, um den Betrieben eine kontinuierliche Überführung in die Praxisabläufe zu ermöglichen.

Da die Bereiche Beratung und Wissenstransfer zentrale Elemente in dem Projekt VELKO darstellten, wurden zwei externe Berater bzw. Fachkräfte beauftragt, diese Dienstleistung für das Projekt zu erbringen:

- Dipl.-Ing. Ralf Gottschall, Ingenieurbüro für Sekundärrohstoffe und Abfallwirtschaft, Karlsbrunnenstraße 11 b, D-37249 Neu-Eichenberg
- Dipl.-Geogr. / Dipl.-Ing. Marion Bieker, HUMUS- UND ERDENKONTOR GmbH, Beratung, Training, Coaching, Karlsbrunnenstraße 11, D-37249 Neu-Eichenberg

### **AP 3 - Durchführung der Kompostierung**

Die praktische Durchführung der Kompostierung erfolgte sowohl durch die Betriebsleiter sowie durch die Projektmitarbeiter bzw. externe Fachkräfte. Die Betriebsleiter selbst waren auf diese externe Unterstützung angewiesen, da sie nur begrenzt eigene Arbeitszeit einbringen konnten und gerade zu Projektbeginn auch noch nicht über die notwendige fachliche Expertise verfügten. Im Lauf des Projekts wurden durch alle Betriebsleiter Arbeiten für die Projektdurchführung wahrgenommen bzw. erledigt (Besprechungen, Messwerterfassungen, Besuchergruppen).

Insgesamt wurden an 5 Standorten während der gesamten Projektlaufzeit Kompostmieten aufgesetzt, so dass parallel an den verschiedenen Standorten kompostiert wurde. Für die Durchführung der Kompostierung war es erforderlich, dass jeder Betriebsleiter die ihm zur Verfügung stehenden Materialien (betriebseigene sowie betriebsfremde) bereitstellt.

Ein wesentliches Element der Projektdurchführung bestand im Einsatz einer geeigneten Kompostierungstechnik. Dies betraf folgende Arbeitsschritte:

1. Aufsetzen der Miete
2. Umsetzen der Miete
3. Eindecken- bzw. Abdecken der Miete
4. Ausbringung des Kompostes

### **AP 4 – Kompostierungsverlauf, Kompostqualität und Emissionen**

Ein wesentliches Element des VELKO-Projekts bestand darin, während der Projektdurchführung einen kontinuierlichen Qualitätsüberwachungsprozess zu implementieren. Neben Qualitätsparameter, die unmittelbar für den Landwirt relevant sind, wurden in dem Projekt auch Daten und Kennwerte generiert werden, die für Genehmigungs-, Verwaltungs- und Überwachungsbehörden zusätzliche Erkenntnisse ermöglichen.

Folgende Untersuchungen wurden im AP 4 durchgeführt:

1. Untersuchungen Ausgangsmaterial
2. Überwachung Kompostierungsverlauf
3. Untersuchung Kompostqualität
4. Hygieneprozessprüfung
5. Untersuchung der Emissionen (Umweltauswirkungen)

#### **Zu AP 4.1.: Untersuchung Ausgangsmaterial**

Die für die Kompostierung zur Verfügung stehenden organischen Reststoffe und sonstige Ausgangsmaterialien wurden hinsichtlich C/N-Verhältnis, Hauptnährstoffe, Organische Substanz sowie Wassergehalt extern untersucht. Dies war relevant im Hinblick auf die notwendigen Mischungsrezepturen für die jeweils anfallenden unterschiedlichen organischen Reststoffe und bezüglich einer ordnungsgemäßen Einstellung der Rottebedingungen zum Kompostierungsbeginn (v.a. C/N-Verhältnis, Wassergehalt, Porenraum). Die Probenahmen erfolgten durch den Projektmitarbeiter.

### **Zu AP 4.2.: Überwachung Kompostierungsverlauf**

Die Überwachung des Kompostierungsverlaufs ist von entscheidender Bedeutung um dem Kompostierungsprozess steuern zu können. Hierfür war es erforderlich, kontinuierlich sowohl die Temperatur als auch den Wasserhalt überwachen zu können.

Diese Datenerfassung erfolgte mittels Datenloggerlanzen, die für jeden der 5 Betriebe angeschafft wurden. Diese Daten wurden digital an die Koordinationsstelle übermittelt, so dass sie dort durch den externen Berater bzw. durch den Projektmitarbeiter unter Zuhilfenahme einer entsprechenden Software ausgewertet und die passenden Maßnahmen eingeleitet werden konnten.

### **Zu AP 4.3.: Untersuchung Kompostqualität**

Die einzelnen Kompostchargen wurden bei einem externen Labor gemäß den Untersuchungsstandards der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) mit dem Parameterumfang nach RAL-GZ 251 untersucht; die Probenahme erfolgte durch den Projektmitarbeiter.

### **Zu AP 4.4.: Hygieneprozessprüfung**

Neben der Messung von Nährstoffen und etwaiger Schadstoffe wurden an ausgewählten Modellchargen zusätzlich zwei Hygieneprozessprüfungen entsprechend den Anforderungen der Bioabfallverordnung (BioAbfV 2012) durchgeführt. Diese fordert von Kompostierungsanlagen den Nachweis, dass human- und phytopathogene Erreger während der biologischen Behandlung abgetötet werden. Diese Untersuchung wurde durch einen externen Dienstleister durchgeführt.

### **Zu AP 4.5.: Untersuchung Emissionen (Umweltauswirkungen)**

In Hinblick auf die Umweltauswirkungen wurden zum einen exemplarisch die hydraulischen Emissionen bestimmt, d.h. die Verluste an Nährstoffen und organischer Substanz im Sickerwasser. Zum anderen wurden die gasförmigen N-Verluste ( $\text{NH}_3$ ) und THG-Emissionen gemessen.

Die Auswaschung von Nährstoffen über Sickerwasser wurde auf dem Betrieb Nackterhof in einer Versuchsanstellung mit untergelegter Spezialplane an zwei Mieten quantitativ erfasst; zusätzlich erfolgte eine Analyse der Sickerwasserkonzentrationen hinsichtlich der Nähr- bzw. Schadstoffe sowie eine Bestimmung des CSB/BSB. Diese Analysen wurden bei einem externen Labor durchgeführt.

Die Messungen der gasförmigen Emissionen bezogen sich in erster Linie auf Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) als wichtigster N-Verlustquelle bei der Kompostierung in Verbindung mit indirekter THG-Wirkung sowie auf die beiden zentralen THG-Gase Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Da diese Messungen vergleichsweise aufwändig und teuer waren, wurden diese begrenzt für die Dauer von 3 Monaten im Jahr 2023 durchgeführt.

## **AP 5 - Pflanzenbauliche Untersuchung**

Um die pflanzenbaulichen Auswirkungen der Kompostanwendung untersuchen zu können, wurde 2023 ein Gefäßversuch am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR) in Zusammenarbeit mit der TH Bingen durchgeführt. Die Zielsetzung bestand darin, die Wirkung unterschiedlicher Komposte auf den Biomasse- und Trockenmasseertrag bei einjährigem Weidelgras zu testen.

## **AP 6 - Betriebswirtschaftliche und Arbeitswirtschaftliche Untersuchung**

Um der Kompostierung zu einer breiteren Akzeptanz in der landwirtschaftlichen Praxis zu verhelfen war es erforderlich, neben den verfahrenstechnischen Fragen auch betriebswirtschaftliche Fragestellungen zu bearbeiten.

Hierzu wurden folgende Fragestellungen bzw. Aspekte bearbeitet:

1. Erfassung der Ausgangsmengen sowie der Mengen des Endsubstrats (Kompost)
2. Erfassung des mit der Kompostierung verbundenen Arbeitszeitaufwands
3. Erfassung der mit der Kompostierung verbunden variablen und fixen Kosten
4. Ökonomische Bewertung zum Nutzen der Kompostierung

Ausgehend von der Herausforderung die Mengen zu erfassen, wurde eine digitale Zwischenadapterwaage beschafft, die mit dem vorhandenen Frontlader bzw. Radlader kombiniert werden kann.

## **AP 7 Zusammenfassende Systembeschreibung und Praxisumsetzung**

Aus den gewonnenen Ergebnissen wurden Schlussfolgerungen für die Systemimplementierung gezogen und ein Chancen-/Risiken- bzw. Aufwand-/Nutzenabgleich der neuen Verfahrenstechnologie durchgeführt.

Es wurde angestrebt eine zusammenfassende Beschreibung einer weitgehend standardisierten landwirtschaftlichen Kompostierung und der möglichen Vorgehensweisen bei der Umsetzung in die Praxis entwickelt.

## **AP 8 Wissenstransfer/Veröffentlichungen**

Der Wissenstransfer fand während der Projektlaufzeit sowohl innerhalb der OG als auch für die interessierte Fachöffentlichkeit statt (siehe Kap. 2.8.1).

## 2 Verlauf des Vorhabens

Nachfolgend wird der zeitliche Ablauf der durchgeführten Vorhaben beschrieben. Abweichungen gegenüber der Vorhabenplanung sowie die Gründe hierfür werden dargestellt und erläutert.

### 2.1 Gesamtverlauf

Grundsätzlich konnte der Gesamtverlauf weitgehend nach dem eingereichten Projektplan umgesetzt werden. Jedoch ergaben sich im Projektverlauf einzelne Änderungen und Abweichungen von der ursprünglichen Planung. Dies betraf die Bereiche:

- Änderungen in der Zusammensetzung der OG
- Wechsel von Mitarbeitern während der Projektdurchführung
- Verzögerte Zeitabläufe bei der Projektdurchführung aufgrund von Beschaffungsproblemen
- Probleme bei der Datenerhebung

Einzelne dieser Punkte sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt und erläutert.

#### 2.1.1 Kontakte zu anderen Kompostierern

Zu Beginn des Projekts erfolgte ein Erfahrungsaustausch mit anderen Betrieben in der Region, die sich seit längerem intensiv mit der Kompostierung beschäftigen.

Es wurden zwei Weinbaubetriebe im Juni 2021 besucht:

- Weinbaubetrieb Forster, Rümmelsheim
- Weinbaubetrieb Kissinger, Uelvesheim

Die nachfolgende Beschreibung gilt im Wesentlichen für beide Betriebe:

Das angewendete Kompostierungsverfahren orientiert sich eng an einem Verfahren, welches von Urs Hildebrandt entwickelt wurde. Als Ausgangsmaterialien dienen neben sehr strohhaltigem Pferdemist und Grünschnittmäckseln als kohlenstoffreiche Materialien, Grünlandaufwuchs und der anfallende Trester als stickstoffreiche Materialien. Zudem wird ein Erdzusatz von etwa 10 bis 15 % angestrebt. Nachdem die Heißphase abgeschlossen ist wird zusätzlich ein Kompoststarter, der zusätzliche Mikroorganismen enthält, zugegeben. Das wiederholte Umsetzen der Kompostmiete (ca. 10 bis 12 mal) hat eine große Bedeutung in dem Kompostierungsverfahren. Zu Beginn der Rotte wird im zweitägigen Rhythmus umgesetzt. Mit zunehmender Rottedauer wird nach Notwendigkeit umgesetzt. Dafür werden die Kontrollparameter Temperatur, Feuchtigkeit und CO<sub>2</sub> herangezogen. Es wird darauf geachtet, dass die Temperatur 60-65 °C nicht übersteigt, die Feuchtigkeit 50-60 % beträgt (Anwenden der Faustprobe) und der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Mieteninneren 8 % nicht übersteigt. Für die Bewässerung wird überwiegend aufgefangenes Regenwasser, aber auch teilweise das anfallende Kellerwasser aus der Weinproduktion, aufgefangen, auf die zu trockenen Mieten aufgebracht und in diese eingemischt. Eine Abdeckung mit einem Kompostvlies erfolgt, wenn die Rotte begonnen hat und die Miete feucht genug ist. Nach etwa 6-8 Wochen ist die Kompostierung abgeschlossen. Als Produkt entsteht ein durchgereifter Kompost, der in den Weinreben ausgebracht wird.



Abbildung 2.1.1 Frische Kompostmiete des Weingutes Forster während der Rotte (Foto: Zerger)



Abbildung 2.1.2 mit Kompostvlies abgedeckte Mieten (Foto: Zerger)

Als weiteres Fazit der Betriebsbesuche wurde klar, dass die dort eingesetzte Technik (Wender) für einen überbetrieblichen Einsatz in der VELKO-Region nicht in Frage kommt, da die Entfernung zu groß und der vergleichsweise klein dimensionierte Wender nicht geeignet war.

### Vorbereitende Schritte: Technik und Geräte

Um mit dem Projekt starten zu können war es erforderlich, in einer ersten Phase die technischen Voraussetzungen zu schaffen, um die einzelnen Arbeitspakete umsetzen zu können. Somit musste in dieser ersten Phase die Beschaffung der erforderlichen Technik sowie der Geräte beauftragt und umgesetzt werden.

### Kompostwender

Gemäß den Vorgaben der OG sollte der Wender folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Arbeitsbreite 4,00 m
- Eine in der Längsrichtung um 90° drehbare Transportvorrichtung (anstelle eine Konstruktion, die den Wender nach oben schwenkt).  
Gründe: max. Fahrzeughöhe über alles darf 4,0 m nicht übersteigen (§ 32 Abs. 2 StVZO).
- **Zulassung für den Transport auf öffentlichen Straßen**
- Zusätzliches äußeres Antriebsrad
- Integrierte Vlieswickleinrichtung
- Vorrichtung um Wasser während des Umsetzens einsprühen zu können
- Einsatz des Wenders auf Mietbasis

Die Recherche nach geeigneten Maschinen ergab, dass lediglich 3 Modelle (zumindest teilweise) den vorgenannten Anforderungen genügten

- Kompostwender CT612 der Firma Vermeer (Niederland); jedoch ohne Straßenzulassung
- Kompostwender SP-40 (SP Serie) der Firma Menart, ohne Straßenzulassung

Da für die genannten Vorgaben die vorgenannten Maschinen entfielen, konnte somit lediglich eine Maschine der Firma IWK (Österreich) gefunden werden. Am 6. Mai 2021 wurde der Auftrag an Firma IWK vergeben, den Kompostwenders US 4000/850 auf Mietbasis für das Projekt VELKO zur Verfügung zu stellen.

Aufgrund der allgemeinen Lieferengpässe im Jahr 2021 konnte die Maschine mit einer deutlichen Verspätung erst Anfang Nov. 2021 geliefert werden.

## Messtechnik zur Erfassung der Temperaturverläufe

Um den Verlauf des Kompostierungsprozesses kontrollieren und überwachen zu können, ist die Messung des Temperaturverlaufs von zentraler Bedeutung. Da die Erfassung der Temperaturverläufe in Echtzeit sowohl an die Landwirte vor-Ort als auch an die externen Berater ermöglicht werden konnte, war es erforderlich ein System einzusetzen, das die Daten als Echtzeitdaten in eine Datencloud zu Verfügung stellt und gleichzeitig entsprechende Temperaturverlaufsprotokolle erzeugt.

Eine Reihe von Messsystemen sind für diesen Anwendungsbereich ausgelegt, aber die Datenbereitstellung erfolgt nicht in Echtzeit sondern ex-post. Somit liefern diese Systeme nicht die Möglichkeit zeitnah gegensteuern zu können, da je nach Intervall der Datenauslesung ein Zeitverzug entsteht.

Folgende Systeme wurden in diesem Zusammenhang näher geprüft:

- Einstoßsonden der Fa. Armatherm (Lemgo)
- Kompost Management- und Qualitätssicherungs-System der Firma KMQS (Sankt Augustin)
- Mobile Datenloggerlanze der Firma Biodegma (Ludwigsburg)
- Temperaturüberwachungssystem TANGO für Kompost der Firma Quanturi (Finnland)

Gemäß den o.g. Vorgaben war lediglich das System der Firma Quanturi in der Lage, in Echtzeit eine kontinuierliche Überwachung und Kontrolle der Komposttemperatur zur Verfügung zu stellen. Die drahtlosen Messlanzen (Tango) stellen die Daten über eine Basisstation, welche die Daten via der *quanturi.app* zur Verfügung stellen. Je Betrieb ist jeweils eine Basisstation erforderlich.

Im Juli 2021 wurden insgesamt 12 Messlanzen sowie 5 Basisstationen der Firma Quanturi beschafft.

## Wiegeeinrichtung für Frontlader

Zu Projektbeginn wurde davon ausgegangen, dass eine volumenbezogene Gewichtsermittlung der Input- sowie der Outputmaterialien erforderlich ist, um möglichst valide Daten zu den Raumgewichten ermitteln zu können. Diese Messeinrichtung sollte auf Wunsch der OG-Mitglieder als flexible und somit leicht zu transportierende Messeinrichtung beschafft werden. Somit wurde nach einer mobilen Zwischenadapterwaage Frontladerwaage gesucht, die über die Standard-Frontladeraufnahme traktorunabhängig auf den verschiedenen Betrieben einsetzbar ist.

Eine intensive Marktrecherche ergab, dass lediglich ein Modell der Firma Fliegl (Kastl) mit der Bezeichnung „Zwischenadapterwaage Digital“ die vorgenannten Bedingungen erfüllte. Die Bestellung der Waage erfolgte im August 2021; die Waage wurde Ende 2021 geliefert.

## Kompostvliese

Um auf allen Standorten eine ordnungsmäße Abdeckung der Kompostmieten zu gewährleisten, war die Anschaffung von Kompostvliesen erforderlich. Anfangs wurden je Betrieb zwei Vliese (5 \* 50 m) ausgeliefert.

Die Vliese sind mit einer Stärke/Dicke von 200 g/m<sup>2</sup> ausgelegt; diese bestehen aus einer UV-stabilisierten Polypropylen-Endlosfaser (biologisch nicht abbaubar; recyclingfähig). Die Vliese sind (je nach Einbausituation) weitgehend wasserundurchlässig und gewährleisten zugleich weitgehend den Gasaustausch (CO<sub>2</sub> kann entweichen). Hersteller der Vliese ist die Firma Toptex.

Neben den Endlosvliesen (Marken Toptex und Polytex) sind auf dem Markt auch die etwas preisgünstigeren Stapelvliese (Marke AGRiplus) verfügbar. Laut Herstellerangaben sollen die Endlosvliese dichter bzgl. Wassereintritt sein aber gleichzeitig luftdurchlässiger; für die Stapelvliese gilt dies umgekehrt.

Da verschiedene Händler die Endlosvliese anbieten, wurde auf der Grundlage einer Preisrecherche der Beschaffungsauftrag an die Firma Tencate vergeben

## 2.2 AP2-Beratung der Betriebe und Planung der Kompostierung

### 2.2.1 Beratung der Betriebe

Zeitnah zur offiziellen Projektbewilligung fand im Mai 2021 eine erste Online-Schulung für die teilnehmenden Betriebe zu den Grundlagen des Kompostierungsprozesses statt.

Zu Projektbeginn erfolgte bei den teilnehmenden Betrieben eine Bestandsaufnahme zu den Rahmenbedingungen für eine mögliche Feldrandkompostierung, sowohl mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten Fragebogens als auch über Betriebsbesuche der externen Berater vor Ort (16. - 18.06.2021). Vor dem Hintergrund der Zielsetzung,

- Umsetzung einer möglichst verlustarmen Kompostierung
- mit akzeptablen Arbeits- und Betriebsmittelaufwand
- und Erzielung einer guten Kompostqualität mit mittlerem Reifegrad

beinhaltete die Bestandsaufnahme folgende Teilbereiche:

- Erhebung zu Art und Mengen der anfallenden organischen Rohstoffe
- Identifizierung von Schwachstellen und Optimierungsbereichen vor dem Hintergrund der Herstellung optimaler Inputmischungen für die Kompostierung und einen optimalen Verlauf des Kompostierungsprozesses.
- Besprechung und Diskussion der Vorgehensweise für die Umsetzung der Kompostierung, Anforderungen an den Kompostierungsplatz, maschinelle und sonstige hilfreiche Infrastruktur, mögliche Mischungsrezepturen und Versuchsvarianten, zeitliche Abstimmung.

Um den Einstieg in das Projekt und die begleitende systematische Datenerhebung und Dokumentation zu erleichtern, erhielten die Betriebe ein Set an Dokumentvorlagen und Arbeitsanleitungen sowohl in digitaler Form als auch bei Bedarf zum händischen Ausfüllen.

Die wichtigsten Parameter zur Steuerung des Kompostierungsprozesses sind, wie bereits weiter oben erwähnt

- Art und Zusammensetzung der Rohstoffe (insbesondere Kohlenstoff-/Stickstoffgehalt)
- Beschaffenheit der Rohstoffe (Materialstruktur, Partikelgröße)
- Feuchtigkeit
- Temperatur
- Sauerstoff (Luft- bzw. Gasaustausch)

Das Führen von Aufzeichnungen ist ein oft übersehener, aber wichtiger Bestandteil der Kompostierung. Für jede Miete sollten Aufzeichnungen geführt werden. Als zentrales Hilfsmittel hierfür wurde eine so genannte „Mietenbegleitkarte“ eingeführt (siehe Anhang 9.8). Sie diente der Erfassung sämtlicher Informationen rund um die Durchführung der Kompostierung und zur Begleitung des Rotteprozesses.

Die Dokumentation sollte folgende Angaben enthalten:

- Mietenstammdatenblatt/Chargenprotokoll (siehe Anhang 9.8)  
(Mietenbezeichnungen, Datum des Aufsetzens der Kompostmiete, Art und Menge der eingesetzten Inputmaterialien, Mietengeometrie zu Beginn und am Ende des Prozesses, Datum der Umsetzungsvorgänge, Datum und Menge der Wasserzugabe, Abschätzung der Bewässerungsmenge, ggf. Datum der Zusammenlegung von Mieten, Datum der Kompostausbringung)
- Formular „Mieten aufsetzen“ als Hilfestellung beim segmentweisen Aufsetzen von Inputmaterialien
- Formular „Mietenbonitur“ zur haptischen Einschätzung des Rottematerials (Geruch, Feuchtigkeit, Verpilzung) während des Kompostierungsprozesses bzw. zu den Umsetzzeitpunkten
- Optional: Formular für die händische Temperaturmessung und CO<sub>2</sub>-Messung

Darüber hinaus erhielten die Betriebe weitere Informationen in Form von Einweisungen und in Schriftform

- zum Erkennen und Beheben von Rotteprozessstörungen,
- zur Einschätzung des Rottefortschritts/ Reifezustands von Komposten („Kompostbonitur“),
- zur repräsentativen Probenahme.

Am 3. und 4. November 2021 fanden nochmals Betriebsbesuche vor Ort statt. Zudem wurden die Grundlagen der Kompostierung im Rahmen einer weiteren Schulung vor Ort vertieft und darüber hinaus die Bedeutung und Durchführung einer repräsentativen Probenahme in Theorie und Praxis vermittelt. Die bereitgestellten Unterlagen sind im Berichtsanhang enthalten; siehe Anhang 9.2.

Im November 2022 erhielt jeder Betrieb einen Bericht, in dem die bis dahin vorliegenden Analyseergebnisse der erzeugten Komposte hinsichtlich ihrer qualitativen Eigenschaften sowie des pflanzenbaulichen Nutzens dargestellt wurden. Darüber hinaus wurden einzelbetrieblich Empfehlungen im Hinblick auf die Optimierung der Zusammensetzung der Inputmaterialien sowie die Steuerung des Rotteverlaufs gegeben.

Die beiden externen Experten standen sowohl bei den Treffen der Operationellen Gruppe vor Ort und auch während des gesamten Projektzeitraums als Ansprechpartner für direkte telefonische und schriftliche Anfragen seitens der Betriebe zur Verfügung.

## 2.2.2 Ausgangsmaterialien: Art und Untersuchungsumfang

Für die Kompostierung, d. h. die kontrollierte Zersetzung, ist ein ausgewogenes Verhältnis von "grünem, stickstoffreichem" und "braunem, kohlenstoffreichem" organischem Material erforderlich. Bei den erstgenannten handelt es sich meist um relativ feuchte, bei letztgenannten häufig um vergleichsweise trockene Ausgangsstoffe. Zu den stickstoffreichen organischen Materialien gehören z.B. Markt- und Gemüseabfälle, frisches Klee- und Luzernegras, Grasschnitt, Bioabfälle aus Haushalten. Zu den braunen, kohlenstoffreichen und gleichzeitig stickstoffarmen organischen Materialien gehören z.B. Stroh, Holzspäne, Hackschnitzel, Baum- und Strauchschnitt.

Die Rohstoffe für die landwirtschaftliche Kompostierung können im Allgemeinen in vier Kategorien unterteilt werden:

- Wirtschaftsdünger
- Pflanzliche Reststoffe
- Grüngut und Gartenabfälle
- Sonstiges

In diesen Kategorien gibt es viele organische Materialien, auf deren Basis sich geeignete Rotteausgangsmischungen für den Kompostierungsprozess zusammenstellen lassen. Tab. 2.2.1 gibt einen Überblick über die Art unterschiedlicher organischer landwirtschaftlicher Kompostierungsrohstoffe sowie ihrer C/N-Verhältnisse. Der im jeweiligen Einzelfall zu wählende Mischungsanteil hängt dabei von der Beschaffenheit (z.B. Korngröße, Oberfläche der organischen Partikel, Feuchtigkeit, Struktur und Verrottungsmöglichkeit) der im jeweiligen Einzelfall eingesetzten Mischungspartner ab.

Tabelle 2.2.1 Art und C/N-Verhältnis von Ausgangsstoffen für die Kompostierung

HERKUNFT/ART	C/N	HERKUNFT/ART	C/N	HERKUNFT/ART	C/N
<b>PFLANZLICHE RESTSTOFFE</b>		<b>GRÜN-/GARTENABFÄLLE</b>		<b>WIRTSCHAFTSDÜNGER</b>	
Stroh (Gerste/Hülsenfrüchte)	40 - 50	Rasenschnitt	12 - 25	Jauche	2 - 3
Stroh (Hafer)	60	Beetabraum	20 - 60	Hühnerkot	10
Stroh (Roggen/Weizen)	100	Sturkturmaterial	23 - 31	Mistkompost	10
Kartoffelkraut	25	Laub	30 - 60	Hühnermist + Stroh	13 - 18
Kleegrass	17 <sup>2)</sup>	bstreu (Erle, Esche, Hainbuc	25	Rindermist (stroharm)	20
Ackerbohnen(schrot)	10 <sup>2)</sup>	Laubstreu (Linde, Eiche,	40 - 60	Rindermist (strohreich)	30
Erbsen(schrot)	12 <sup>2)</sup>	Nadelstreu	30 - 100	Rindergülle	12 <sup>2)</sup>
Vinasse	7 <sup>2)</sup>	Rinde	100 - 130	Pferdemist	20
Kartoffelfruchtwasser- konzentrat	7 <sup>2)</sup>	Baum- und Gehölzschnitt	100 - 150		
Gemüseabfälle	10 - 20	<b>SONSTIGES</b>			
Essensreste	12 - 20	Sägemehl (Vollholz)	100 - 500		
Obstabfälle	15 - 35				
Haushalts- und Küchenabfälle	20 - 23				
Blumen- und Pflanzenabfälle	20 - 60				

Quelle: Amlinger et al., 2005 in: Möller und Schultheiß, 2014

Die Partikelgröße der Rottematerialien ist wichtig, um das richtige Luft-Wasser-Verhältnis zu gewährleisten: Der Abbau der organischen Substanz erfolgt an der Oberfläche der Partikel. Sehr große Partikel haben eine vergleichsweise geringe Oberfläche und daher wenig Angriffsflächen für Mikroorganismen. Zerkleinerung, Auffaserung und Umsetzvorgänge sind Möglichkeiten, neue Oberflächen für den „Angriff“ der Mikroorganismen zu schaffen. Sofern auch die anderen Prozessparameter günstig sind, hat dies in der Regel zur Folge, dass die Abbauaktivitäten steigen, was sich durch einen Anstieg der Temperatur im Rottematerial bemerkbar macht.

Andererseits können zu viel kleine Partikel infolge übermäßiger Zerkleinerung, wie sie z.B. im Zuge zu häufiger Umsetzvorgänge entstehen können, mangelnder Strukturstabilität, unzureichender Porosität und anaerobe Bedingungen in einer Kompostmiete nach sich ziehen. Anaerobe Prozesse sind während der Kompostierung unerwünscht. Denn dabei entsteht klimaschädliches Methan, welches ungehindert und ungenutzt in die Umwelt entweicht.

Die Materialmischungen für die Kompostierungsversuche der einzelnen Betriebe wurden von einem externen Labor hinsichtlich Wassergehalt, pH-Wert, organische Substanz, Gesamtstickstoffgehalt sowie C/N-Verhältnis untersucht (siehe Tab. 2.2.2).

Tabelle 2.2.2 Übersicht Parameter und Methoden zur Untersuchung der Rotteinputmaterialien

Parameter	Methode
Wassergehalt	Methodenbuch Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V.: 2006-09 (Kap. III. A 1.1)
pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	Methodenbuch Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V.: 2013-05 (Kap. III C 1.2)
pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	Methodenbuch Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V.: 2013-05 (Kap. III C 1.2)
Stickstoff (N), gesamt	Methodenbuch Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V.: 2006-09 (Kap. III. A 1.1)
Organische Substanz (Glühverlust)	DIN EN 13039:2000-02
C/N-Verhältnis	Berechnung aus Messwerten der Einzelparameter

## 2.3 AP 3 - Durchführung der Kompostierung

### 2.3.1 Durchführung der Kompostierung

Die Kompostierung wurde auf den beteiligten Betrieben - allesamt Mitglieder der operationelle n Gruppe - an die jeweilige Situation vor Ort angepasst durchgeführt.

Nachstehend werden die Ausgangslagen der beteiligten Betriebe skizziert und kurz auf die Kompostierungsdurchläufe am jeweiligen Standort eingegangen. In kleinen Übersichten werden diese Randbedingungen zusammengefasst.

#### 2.3.1.1 NHF; Betrieb Peter Waßner, Nackterhof

Der Betrieb Peter Waßner ist ein Gemischtbetrieb mit Ackerbau, Futterbau (Ackerfutter und Grünland), gekennzeichnet v.a. durch eine Pensionspferdehaltung. Er ist anerkannter Bioland-Betrieb.

Aufgrund der Pferdehaltung erfolgte bereits in der Vergangenheit eine „Kompostierung“, allerdings zumeist als ungesteuerte Rotte des Pferdemistes.

Der Pferdemit, mit einem Anfallschwerpunkt über Winter, wird auf einer befestigten Dunglege in Stallnähe gesammelt und wurde früher temporär (i.d.R. bei gefüllter Dunglege) am Feldrand bis zur Ausbringung zwischengelagert. Aufgrund des Kontaktes zum Kleinsägmühhof, einem Demeter-Betrieb mit „einfacher“ Kompostwirtschaft, hatte Peter Waßner auch bereits begonnen mit dem Frontlader umzusetzen. Eine weitere Behandlung erfolgte vor dem Projekt nicht, Zuschläge sonstiger kompostierbarer Rohstoffe nur zufällig (z.B. bei Anfall unzureichender Futterqualitäten).

Für die im Projekt vorgesehenen ergänzenden Untersuchungen (Hygieneprozessprüfung, Sickerwassererfassung und Gasmessungen) bot sich der Standort NHF aus mehreren Gründen an: Die Kompostierung von Mist ließ eher einen Kompostierungsprozesses erwarten, der einigermaßen optimal abläuft, als an Standorten an denen noch an Verfahren und Mischungspartnern „gefeilt“ werden musste. Hinzu kommt die Tatsache, dass der Mist am Standort NHF weitgehend nur von einer Tierart (Pferde) stammt, d.h. die Hauptkomponente bei der Kompostierung war beim NHF recht einheitlich. Außerdem sprach die günstige Lage der für die Feldrandkompostierung genutzten Fläche für weitergehende Kompostierungsversuche (Hygieneprozessprüfung, Sickerwassererfassung und Gasmessungen) an diesem Standort.

In der nachstehenden Übersicht (Tab. 2.3.1) sind die Eckpunkte des Betriebes Peter Waßner zusammengefasst.

Tabelle 2.3.1 Betriebsübersicht NHF

<b>Betrieb:</b>	<b>NHF</b>	Nackterhof (Peter Waßner)	
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Gemischtbetrieb, Schwerpunkt Pensionspferdehaltung</b>		
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	langjährige Erfahrung		
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Pferdemist, Luzernegras, Klee gras		
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	Holziges Strukturmaterial, Luzerne		
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	gesamte Laufzeit (2021 bis 2024)		
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	<b>18</b>		

### 2.3.1.2 KSM; Betrieb der Lebenshilfe Bad Dürkheim e.V. (Kleinsägmühlerhof)

Der Kleinsägmühlerhof ist der einzige Demeter-Betrieb im Projekt und der Betrieb mit dem größten Aufkommen tierischer Abfälle (Mist, Gülle, Jauche) bzw. der umfangreichsten Viehhaltung (Milchkühe mit Nachzucht, Schweine, Hühner).

Der Mist fällt in den (Tief-)Laufställen an oder wird auf einer Dunglege gesammelt. Von hier wird er sporadisch an Feldränder gefahren und kompostiert. Weiterhin finden die Kompostpräparate der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise Anwendung. In der Zeit vor dem Projekt war der Frontlader die einzige Möglichkeit den Mist am Feldrand zur Rotteförderung umzusetzen.

In der nachstehenden Übersicht (Tab. 2.3.2) sind die Eckpunkte des Betriebes Kleinsägmühlerhof zusammengefasst.

Tabelle 2.3.2 Betriebsübersicht KSM

<b>Betrieb:</b>	<b>KSM</b>	Kleinsägmühlerhof (Richard Danner)	
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Gemischtbetrieb, umfangreiche Tierhaltung</b>		
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	langjährige Erfahrung		
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Rindermist, Schweine- und Hühnermist		
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	Holziges Strukturmaterial		
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	gesamte Laufzeit (2021 bis 2023)		
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	<b>5</b>		

### 2.3.1.3 BDH; Betriebsverbund MEDICAGO und BioBauernBiedesheim GbR

Am Standort Biedesheim ist die Kompostierung eng mit der Luzerne-Saatgutvermehrung auf beiden Betriebsteilen (jeweils Bioland) verbunden. Die Samenernte erfolgt i.d.R. vom zweiten Aufwuchs / Schnitt. Für den ersten Schnitt generell, und in wüchsigen Jahren auch für den dann anfallenden 3. Schnitt, fehlt die innerbetriebliche Raufutterverwertung. Da das Mulchen der Aufwüchse aus mehrererlei Gründen vermieden werden muss und die Viehhaltung in der Region rückläufig ist, ist die Futter-Mist-Kooperation nur in Jahren mit Futterknappheit umsetzbar. Deshalb ging die Luzerne in großem Umfang - als Hauptkomponente - schon immer in die Kompostierung. In den meisten Jahren sogar fast vollständig, da die kontinuierliche Grundfutternachfrage nur gering ist. Dementsprechend sind Miste kein sicher verfügbarer Mischungspartner oder nur in geringen Anteilen. Regelmäßige Mischkomponenten waren Champost, Reinigungsabgänge aus der Saatgutvermehrung und Holzhackschnitzel (HHS).

Leider geht mittlerweile auch bei den HHS die Verfügbarkeit der schwächeren Sortimente (qualitative Aussortierung Energie-HHS) zurück. Gestiegene Nachfrage nach Holz als Energieträger und restriktivere Materialfreigaben im Forst führen seit einiger Zeit auch zur Verteuerung dieses Mischungspartners. Deshalb wurde in einer Versuchsreihe der Einsatz von alternativen Strukturmaterialien getestet, die entweder eh auf dem Betrieb anfallen (Leinstroh, Hanfstroh) oder bei der Dienstleistung in der Biotoppflege in interessanten Mengen gewonnen werden können (Landespflegheu).

In der nachstehenden Übersicht (Tab. 2.3.3] sind die Randbedingungen des Betriebsverbundes MEDICAGO und BioBauernBiedesheim GbR zusammengefasst.

Tabelle 2.3.3 Betriebsübersicht BDH

<b>Betrieb:</b>	<b>BDH</b>	MEDICAGO & BioBauern Biedesheim GbR
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Ackerbetrieb, ohne eigene Tierhaltung</b>	
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	langjährige Erfahrung	
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Luzerne, Stroh (div.), Reinigungsabgänge	
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	Holzhackschnitzel, LP-Material, Mist (div.)	
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	gesamte Laufzeit (2021 bis 2023)	
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	<b>8</b>	

### 2.3.1.4 RIS; Betrieb Hartmut Risser, Kerzenheim

Der Betrieb Hartmut Risser (Kerzenheim) ist während des bereits laufenden Projektes dazu gestoßen. Bis vor wenigen Jahren war der Betrieb Risser ein Gemischtbetrieb mit Milchviehhaltung und Nachzucht. Grundfutterquelle waren Grünland und Ackerfutterbau. Infolge der Aufgabe der Viehhaltung stand der Betrieb vor dem Verwertungsproblem des Grünaufwuchses, da Grünland nicht umgebrochen werden konnte und als Bioland-Betrieb auch der Kleeerasanbau einen entsprechenden Umfang behalten musste. Glücklicherweise findet ein großer Anteil des Grundfutters in Futter-Mist-Kooperationen Verwendung.

Beim mengenmäßigen Überhang, insbesondere beim Kleeeras, ist der Betrieb Hartmut Risser im Zuge des Projektes in die Kompostierung dieses Materials eingestiegen.

In der nachstehenden Übersicht (Tab. 2.3.4) sind die Eckpunkte des Betriebes Hartmut Risser zusammengefasst.

Tabelle 2.3.4 Betriebsübersicht RIS

<b>Betrieb:</b>	<b>RIS</b>	Gerhard Risser, Kerzenheim
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Ackerbetrieb, ohne Tierhaltung</b>	
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	Neueinsteiger in Kompostierung	
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Klee gras	
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	Rindermist (Futter-Mist-Kooperation)	
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	2022 bis Projektende	
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	4	

### 2.3.1.5 GBH; Gerbachhof GbR, Bolanden-Weierhof

Der Biolandbetrieb Gerbachhof GbR ist in gewisser Weise der Gegenentwurf zum Betrieb Risser. Vormalig ein viehloser Ackerbaubetrieb mit Futter-Mist-Kooperation, steht zwischenzeitlich im Zuge der geplanten Hofübergabe der Einstieg in die Viehhaltung an. Ob final ein innerbetrieblich geschlossener Kreislauf (vollständige Grundfutterverwertung mittels eigener Viehhaltung) erwächst, ist aber nicht gesichert.

Somit stand auch bei diesem Betrieb die Kompostierungsfrage für die Übermengen Klee gras bzw. andere pflanzliche Biomasse (auch Koppelprodukte) im Raum.

In der nachstehenden Übersicht (Tab. 2.3.5) sind die Eckpunkte des Betriebes Gerbachhof GbR zusammengefasst.

Tabelle 2.3.5 Betriebsübersicht GER

<b>Betrieb:</b>	<b>GBH</b>	Markus Seeber, Bolanden-Weierhof
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Ackerbetrieb, ohne Tierhaltung</b>	
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	Neueinsteiger in Kompostierung	
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Klee gras, Acker gras, Schafmist, Hühnermist	
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	Rindermist (Kooperation), Holzhackschnitzel	
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	2021 bis 2022	
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	2	

### 2.3.1.6 GAL; Betrieb Ortwin Gallé, Bolanden-Weierhof

Der am gleichen Standort wie die Gerbachhof GbR arbeitende Bioland Betrieb Ortwin Gallé, verfährt bzgl. der Nutzung von Grünland und Ackerfutter analog zu diesem. Beide Betriebe am Standort Weierhof kooperieren in mehreren Bereichen, so auch bei der Abwicklung der Futter-Mist-Kooperation. Der Betrieb Gallé legte bei den Kompostierungsdurchläufen an seinem Standort das Augenmerk bewusst auf stark extensive Prozesse.

Auch hier in einer Übersicht (Tab. 2.3.6) die Eckpunkte des Betriebes Ortwin Gallé zusammengefasst.

Tabelle 2.3.6 Betriebsübersicht GAL

<b>Betrieb:</b>	<b>GAL</b>	Ortwin Gallé, Bolanden-Weierhof
<b>Betriebstyp:</b>	<b>Bio-Ackerbetrieb, ohne Tierhaltung</b>	
<b>Erfahrung mit Kompostierung:</b>	Neueinsteiger in Kompostierung	
<b>Inputmaterialien (innerbetrieblich):</b>	Kleegrass	
<b>Inputmaterialien (außerbetrieblich):</b>	---	
<b>Beteiligung an VELKO:</b>	2021 bis 2022	
<b>Anzahl VELKO-Mieten:</b>	<b>3</b>	

### 2.3.2 Standortübergreifende Aspekte

Die Betriebe im Projekt erhielten neben der Schulung (mit Übergabe eines Betriebsordners für die Kompostierung) und der kontinuierlichen Begleitung durch die Fachberatung - ergänzt durch die Mittlerrolle der SÖL zwischen den beteiligten Fachberatern und den Praktikern - weitere Materialien / Hilfsmittel zur Verfügung gestellt:

- Abrufbare Dienstleistung Kompostwender
- Abdeckvliese
- Digitale Temperaturüberwachungssysteme

Nachfolgend werden einige Erfahrungswerte aus der praktischen Durchführung der Kompostierung zu diesen Hilfsmitteln angeführt (siehe auch Kap. 3.3).

#### Kompostwender

Mit dem Einsatz eines Kompostwenders wurde durch das VELKO-Projekt - auch für die Betriebe mit „Kompostierungsvergangenheit“ - eine zentrale Technik in der Kompostierung verfügbar gemacht. Damit war die Hoffnung verbunden, dadurch die Rotte effektiver beeinflussen und insbesondere durch den Ersatz des Frontladers (beim Umsetzen der Mieten) Vorteile erzielen zu können:

- Zeitersparnis
- Energieeinsparung
- Wirkungsvolleres Mischen bzw. Homogenisieren
- wassersparenderes Arbeiten mit den Kompostmieten
- Bessere Rotte-Ergebnisse

Bereits im ersten Einsatzjahr zeigten sich einige Schwächen des eingesetzten Kompostwenders:

- umständlicher Wechsel von Arbeits- in Transportstellung und umgekehrt
- unterdimensionierter Antrieb auf der rechten Seite (insbesondere bei weichen Böden)
- Unterfahrung der Vliesbahnen (bei abgedeckten Mieten) erfordert 1 - 2 Hilfskräfte
- Auf- / Abwickelvorrichtung für Vliese kam mangels Praktikabilität nie zum Einsatz

Der Kompostwender kam auf allen Betrieben, an 2 bis 4 Terminen zum Einsatz. Keinen Umsetzereinsatz gab es planmäßig bei den Kompostierungsdurchläufen:

- Varianten „Wilde Miete“ in der Versuchsreihe Gasmessung (NHF/2023/21/12.3.3 + 12.3.4)
- Versuch (arbeitsexensive) Klee gras-Kompostierung vs. Klee gras-Silierung (GAL/2022/20/2+3)

### Abdeckvliese

Die Vliese werden explizit als Abdeckvliese für Kompost ausgewiesen, bisweilen auch für die Abdeckung von Holzhackschnitzeln. Im Projekt wurden nur Vliese 5 m x 50 m und mit 200 g/m<sup>2</sup> (Kompromiss zwischen Stabilität und Handling - Gewicht -) eingesetzt. Bei Kompostmieten mit großem Querschnitt - insbesondere kurz nach dem Aufsetzen - waren die unteren Mietenbereiche vorübergehend nicht übergedeckt. Nach einiger Zeit bzw. i.d.R. nach dem Zusammensacken der Miete nach dem ersten Umsetzereinsatz ist der gesamte Mietenquerschnitt abgedeckt, weshalb kein Wechsel auf 6 m Breite erfolgte. Zu Beginn des Projektes wurde intensiv über die Mechanisierung des Vlieshandlings diskutiert, kurzfristig sogar über einen Wechsel auf 4 m breite Vliese, da die Wickelvorrichtung auf dem Umsetzer darauf ausgelegt war (Kapitel 2.3.2). Es zeigte sich aber recht bald, dass das manuelle seitliche Runterziehen vor dem Umsetzereinsatz und erneute manuelle Abdecken der Miete danach doch recht einfach zu bewerkstelligen ist. Eine Investition in eine spezielle Vlieswickeltechnik wurde in der Operationellen Gruppe somit verworfen. Nach Abschluss der Kompostierung an einem Standort lassen sich die 50-m-Bahnen von 2 Personen gut zusammenrollen und mit einem Frontlader o.ä. transportieren.



Abbildung 2.3.1 Zusammengerolltes Kompostvlies neben umgesetzter Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)

In der ersten Beschaffungsrunde wurden TOPTEX-Vliese beschafft und an die kompostierenden Landwirte verteilt, bei der Nachbestellung AGRiplus-Vliese. Diese beiden, gleich schweren Vliese unterscheiden sich in der Webtechnik und im Preis. Für einen Vergleich der beiden Vlies-Arten siehe Kapitel 3.3.1.

Ernüchternd war, dass seitens Hersteller nur eine 4 - 5 jährige UV-Stabilität zugesagt wurde und keine Untersuchungen zur Entstehung von Nanoplastik vorliegen. Eine hersteller- bzw. produktspezifische Rücknahme gibt es nicht. Es soll aber die Möglichkeit einer Entsorgung über das ERDE-System (Erntekunststoffe RECYCLING Deutschland) gegeben sein. Aufgrund der Kürze der Projektlaufzeit konnten hier allerdings noch keine Erfahrungen gesammelt werden.

### **Digitales Temperaturüberwachungssystem**

Der Temperaturverlauf in den Kompostmieten stellt eine zentrale und wichtige Prozessinformation dar. Im einfachsten Fall kann mit einem analogen Einstichthermometer (Abb. 2.3.2) gemessen werden, das Messergebnis kann aber nur vor Ort als Momentaufnahme erfasst werden. Mit dem im Projekt eingesetzten digitalen System der Firma Quanturi, welches u.a. z.B. auch in der Heustocküberwachung eingesetzt wird, ergaben sich einige Vorteile:

Je nach Aufgabenstellung können mehrere der digitalen Temperaturlanzen (Sensoren) über eine sog. Basisstation (Abb. 2.3.2 unten, rechts) verarbeitet werden. Die Basisstation stellt über Mobilfunk die Verbindung zu einer Cloud her, wo über eine Serviceanwendung die Sensortemperaturen visualisiert werden. Über diese App kann am Büroarbeitsplatz oder von mobilen Geräten (Smartphones o.ä.) der Temperaturverlauf jederzeit eingesehen werden. Über die Serviceanwendung können aber auch verschiedene Einstellungen im System vorgenommen werden (Grenzwertvorgaben, Alarmketten, Parameter der Phasenüberwachung usw.). Zudem können automatisch generierte Dokumente (Berichte) eingesehen bzw. runtergeladen werden. Diesen Berichten sind auch die Temperaturkurven entnommen, die in Kapitel 3.3.1 bzw. im Anhang 9.4 aufgeführt sind.

Da im VELKO-Projekt die Kompostierung in der freien Feldflur stattfand und deshalb keine Stromanschlüsse erwartet wurden, erfolgte die Energieversorgung der Basisstationen über Batterien.

Im praktischen Betrieb zeigten sich Vor- und Nachteile des Systems.

Vorteile:

- es stehen Temperaturverläufe und nicht nur Momentwerte zur Verfügung
- die Messwerterfassung und -verarbeitung erfolgt automatisch (inkl. Berichtswesen)
- die Daten sind überall und von allen Projektbeteiligten einsehbar (insbesondere auch durch die Berater)

Nachteile:

- der häufige Standortwechsel und die ggf. etwas zu labile Konstruktion der Basisstationen führte dazu, dass von den anfänglich 5 Basisstationen nur 3 Stationen das Projekt unbeschadet überdauerten bzw. eine weitere nach Reparatur noch eingeschränkt funktionierte
- die Entfernung zwischen Basisstation und den Sensoren (Temperaturlanzen) sollte 50 m nicht übersteigen (nur mit Signalverstärker auf 250 m zu erhöhen)
- für die Datenübertragung wird noch das 2G-Netz genutzt, was an einigen Mietenstandorten nicht zur Verfügung stand

- der Stromverbrauch war unerwartet hoch, so dass die Batterien alle 10 - 14 Tage gewechselt werden mussten
- für die Nutzung des Gesamtsystems sind jährliche Gebühren fällig (Support, SIM-Karte, SMS-Alarme, Berichterstellung, Updates)



Abbildung 2.3.2 Messtechnik mit digitaler Temperaturoaufzeichnung (Foto: Hellwig-Büscher)

Die nachstehende Abb. 2.3.3 zeigt beispielhaft die Visualisierung der Temperaturverläufe: Die schwarzen Linien, tlw. infolge ausbleibender Datenübertragung unterbrochen, werden aus den gespeicherten einzelnen Messwerten gebildet. Diese Messwertreihe muss für jeden einzelnen Sensor gesondert abgefragt werden. Die durchgezogene Temperaturkurve wird durch das System als Mittelwert, im Beispielfall von 2 Sensoren, zzgl. des Schwankungsbereiches (grüner „Schatten“) automatisch erstellt und dargestellt.

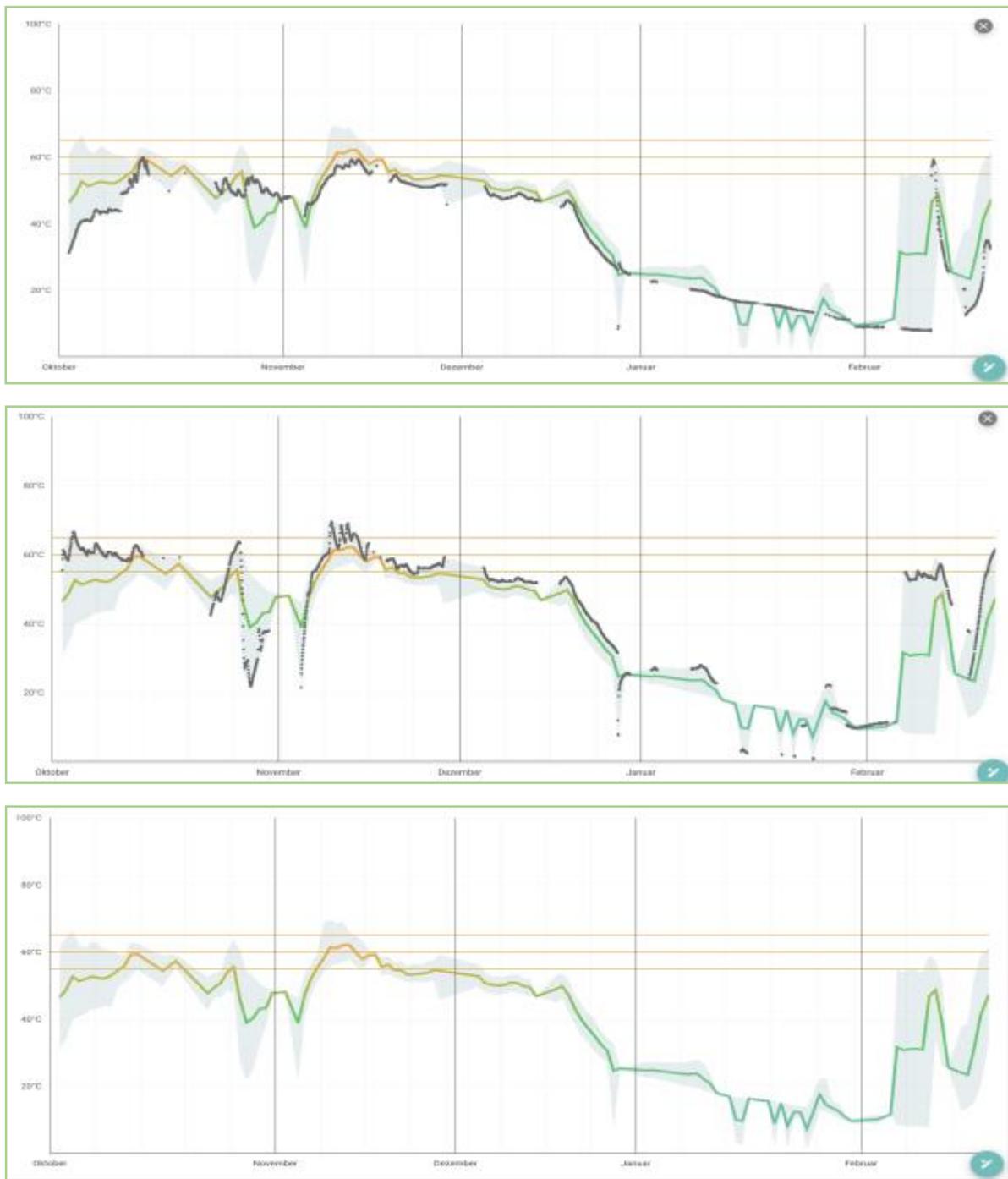


Abbildung 2.3.3 Temperaturverläufe Kompostmieten (Quelle: Quanturi)

Die 3 waagerechten Linien sind die Schwellenwerte für die Hygienisierung:

- 55 °C; zu überschreiten an min. 14 Tagen
- 60 °C; zu überschreiten an min. 7 Tagen
- 65°C; zu überschreiten an min. 3 Tagen

Höhe und Dauer dieser Schwellenwerte können über die App angepasst werden. Im VELKO-Projekt kamen die vorgegebenen Werte durchgehend zur Anwendung. Bei Erfüllung aller Kriterien setzt das System die Phasenüberwachung automatisch auf „Ziel erreicht“ bzw. „automatisch fertiggestellt“.

## 2.4 AP 4 – Kompostierungsverlauf, Kompostqualität und Emissionen

### 2.4.1 Kompostierungsverlauf

Der Kompostierungsverlauf auf den beteiligten Betrieben lässt sich grob in 4 Abschnitte / Schritte einteilen:

- „Sammeln“, Anliefern bzw. Bereitstellen der Ausgangsmaterialien
- Vorbereitung der Kompostierung
- Kompostierung (im eigentliche Sinn)
- Abräumen der Miete

Diese Schritte gestalteten sich auf den Betrieben ähnlich, mit gewissen systembedingten Unterschieden zwischen Kompostierungen auf der Basis von Mist und der auf der Basis von Pflanzenmaterial.

Gemäß dem Verständnis des VELKO-Projektes sollten die beteiligten Landwirte über Schulung, begleitende Beratung und Sammeln von Erfahrung bei der praktischen Kompostierung zunehmend in die Lage kommen einen - nach Möglichkeit - gesteuerten Prozess umzusetzen. Da während des Kompostierungsprozesses (i.e.S.) keine Kompostproben im Labor analysiert wurden, stand bei der Entscheidung über Maßnahmen die direkte Kompostansprache nach Geruch, Farbe und Feuchtigkeit (Faustprobe) im Vordergrund, ergänzt um Temperaturmessungen. Das - zumindest bedingt umsetzbare - Maßnahmenbündel beinhaltete:

- Wahl des Mietenquerschnitts (Größe)
- Zugabe von Mischungspartnern
- Wassermanagement (Vlieshandling, gezielte Wasser- bzw. Güllezugabe)
- Kompostwender

Mit dem Kompostwender mussten leider erst dahingehend Erfahrungen gesammelt werden, mit der Maschine überhaupt durch die Miete zu kommen. Nicht selten waren die Mieten zu groß oder die Materiallage zu dicht, so dass das Umsetzen abgebrochen oder die Miete neu aufgebaut werden musste. Die Häufigkeit des Einsatzes des Kompostwenders und deren zeitlicher Abstand war bisweilen mehr ein Thema der Zeitressourcen oder der Witterung und weniger eine gezielte Steuerungsgröße. Von Wahl bei Rotordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit ganz zu schweigen.

Da betriebsindividuelle Aspekte, wie technische Ausstattung und Zielsetzung, bei der Kompostierung in die Abläufe natürlich mit reinspielen, nachfolgend eine exemplarische Beschreibung der Vorgehensweise an den Standorten, die die Kompostierung auch nach Projektende fortführen werden:

#### **Betrieb NHF**

An diesem Standort beginnt die Kompostierung zwar bereits auf der Dunglege in Stallnähe; nachfolgend ist der weitere Verlauf ab der Entnahme aus diesem Zwischenlager dargestellt:

- Transport mit Muldenkipper zur Fläche für die weitere Kompostierung
- „Portionsweises“ Abkippen auf Lücke ( siehe Abb. 2.4.1.0)

- Anpassen des Mietenquerschnittes auf den Durchgang des Kompostwenders durch teilweises Umlagern von Mist mittels Frontlader
- *Fakultativ: Einbringen von Mischungspartnern*
- Weitere Ausformung der Kompostmiete (weitere Anpassung an den Kompostwender) mittels Frontlader
- Erster Einsatz des Kompostwenders
- *Fakultativ: Abdecken mit Vlies*
- *Fakultativ: Wassermanagement durch gezieltes Auf- und Abdecken (Vlies) oder Wasserzugabe*
- Weitere Kompostwendereinsätze (i.d.R. insgesamt 3 - 4 Durchfahrten)
- Abräumen der Kompostmiete sobald Ausbringung möglich ist



Abbildung 2.4.0 Abladen von Rottemist für die Mietenkompostierung auf dem Betrieb Nackterhof  
(Foto: Zerger)

## Betrieb KSM

An diesem Standort beginnt das Sammeln der Miste ebenfalls in Stallnähe (Dunglege) bzw. im Stall (Tief- bzw. Laufstallmist); nachfolgend sind die Verfahrensschritte ab der Entnahme aus diesen Zwischenlagern dargestellt:

- Transport mit Muldenkipper zur Fläche für die weitere Kompostierung
- „Portionsweises“ bzw. alternierendes Abkippen (Tiefstreumist, Dungelegemist)
- Anpassen des Mietenquerschnittes auf den Durchgang des Kompostwenders und Erstellung einer ersten Mist-Mischung durch teilweises Umlagern von Mist mittels Frontlader
- *Fakultativ: Einbringen von weiteren Mischungspartnern*
- Weitere Ausformung der Kompostmiete (weitere Anpassung an den Kompostwender) mittels Frontlader
- Erster Einsatz des Kompostwenders
- *Fakultativ: Abdecken mit Vlies*
- *Fakultativ: Wassermanagement durch gezieltes Auf- und Abdecken (Vlies) oder Güllezugabe*
- Weitere Kompostwender-Einsätze (i.d.R. insgesamt 3 - 4 Durchfahrten)
- Abräumen der Kompostmiete sobald Ausbringung möglich ist

## Betrieb BDH

Die Kompostierung in Biedesheim, die durch die Hauptkomponente Luzerne und verschiedene Zuschlagsstoffe (Champost, tlw. auch Mist) bestimmt ist, fand auf dem Betrieb vor Beginn des VELKO-Projekt in Form einer Tafelmiete statt, wobei bereits bei dem Aufsetzen der Miete unterschiedliche Mischungen erstellt wurden. Die Dreiecksmiete kam somit erst für die Nachrotte zum Einsatz.

Da im Projekt die Dreiecksmiete aber als einzige Mietenform bearbeitet wurde, ergab sich aus Betriebsicht die Frage, wie unterschiedliche Mischungen praktikabel zu erstellen sind. Der Ablauf gestaltete sich wie folgt:

- Erstellen einer Basismatte aus Holzhäcksel (Abb. 2.4.1)
- Ernte der vom Schwadmäher vorbereiteten Luzerne mit Kurzschnittladewagen mit Dosierwalzen und aufbringen auf die Basismatte (Abb. 2.4.2)
- Leichtes Nachformen der Miete und Aufbringen des Champost (Abb. 2.4.3)
- Nach 10 - 14 Tage Wartezeit (Teilersetzung Luzerne durch Autolyse und Einsacken der Miete) erster Einsatz des Kompostwenders (Abb. 2.4.4)
- *Fakultativ: Abdecken mit Vlies*
- *Fakultativ: Wassermanagement durch gezieltes Auf- und Abdecken (Vlies) bzw. Wasserzugabe*
- Weitere Kompostwendereinsätze (i.d.R. insgesamt 3 - 4 Durchfahrten)
- Abräumen der Kompostmiete sobald Ausbringung möglich ist



Abbildung 2.4.1 Basismatte aus Holzhäcksel (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 2.4.2 Luzerne auf Basismatte (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 2.4.3 Aufbringen des Champost auf Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 2.4.4 Umsetzen der Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)

Als weiterer Betriebs-Aspekt kam die Frage nach Alternativen zu den Holzhackschnitzeln hinzu. Wie schon weiter oben ausgeführt (siehe Kap. 2.3.1) verschlechterte sich in letzter Zeit deren Verfügbarkeit. Die Luzerne bringt zwar - zumindest bei dem planmäßigen ersten Schnitt (letzte Mai- bis erste Junidekade) - durch die arttypisch vorhandenen Stängelanteile eine gewisse Struktur für die Kompostierung, doch bleibt das Manko des zu engen C/N-Verhältnisses. Da das Wintergetreidestroh als Rohstoff in die Pilzproduktion geht (stofflicher Ausgleich über Champost), sollte untersucht werden, inwieweit andere Koppelprodukte ein Ersatz für die Holzhackschnitzel darstellen können. Hier boten sich Lein- und Hanfstroh an, die in der Nachernte-Bodenbearbeitung zudem auch noch Probleme bereiten können, wenn sie auf dem Acker verbleiben. Sie fallen beide in größeren Mengen an als das auch auf dem Feld verbleibende Sommergetreidestroh. Eine gewisse Bedeutung als Holzhackschnitzelersatz könnte am Standort BDH perspektivisch auch Landespflegeheu einnehmen. Hier gibt es zwar keine preissteigernde Konkurrenzsituation wie bei den Energie-Holzhackschnitzeln, doch ist die Heugewinnung nicht immer fix planbar. Zeitfenster für Mahd und Beerntung muss mit den flächen-

spezifischen Biotopschutz-Anforderungen zusammenpassen, die Befahrbarkeit der Böden gegeben und die Kostenträgerschaft geklärt sein.

Die Vorgehensweise war hier folgendermaßen:

- Sammeln der Mischungspartner (im Projektverlauf kamen Luzerne, Luzerneheu, Landespflegeheu, Mist, Leinstroh und Hanfstroh zum Einsatz)
- Erstellen der Grundmischung [bis 2021 mit einem s.g. Weichel-Umsetzer (Abb. 2.4.5)]
- Seit 2022: Erstellen der Grundmischung und Mietenformung mit Frontlader
- Erster Einsatz des Kompostwenders
- *Fakultativ: Abdecken mit Vlies*
- *Fakultativ: Wassermanagement durch gezieltes Auf- und Abdecken (Vlies)*
- Weitere Kompostwendereinsätze (i.d.R. insgesamt 2 - 3 Durchfahrten)
- Abräumen der Kompostmiete sobald Ausbringen möglich ist



Abbildung 2.4.5 Erstellen einer Grundmischung mit Weichelumsetzer (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 2.4.6 Aufbringen von Material mittels seitlichem Ablageband (Foto: Hellwig-Büscher)

## Betrieb RIS

An diesem Standort wird eine Klee gras-Kompostierung als Verwertungsmöglichkeit der Übermengen bei der Grundfutterbergung praktiziert. Zielsetzung ist auch eine aufwandsarme Abwicklung der Kompostierung. Schwerpunktmäßig findet die Kompostierung über Sommer statt, bedingt durch den Anfallsschwerpunkt des Klee grasses im zeitigen Frühjahr.

- Anlieferung (i.d.R. Klee grass) mittels Kurzschnittdewagen als technische und zeitliche Schnittstelle zur Silagekette (Grünfutterbergung für die Futter-Mist-Kooperation)
- *Fakultativ: Einbringen von Mischungspartnern*
- Anpassen der Miete auf den Durchgang des Kompostwenders mittels Frontlader
- Erster Einsatz des Kompostwenders 10 Tage bis 2 Wochen nach Aufsetzen
- Abdecken mit Vlies (seit dem letzten Versuchsjahr); weitere Kompostwender-Einsätze (insgesamt 2 - 3 Durchfahrten)
- Abräumen der Kompostmiete sobald Ausbringen möglich ist

## 2.4.2 Qualitätsuntersuchungen

### 2.4.2.1 Probenahme und Laboruntersuchungen

Zur analytischen Begleitung bzw. Beurteilung der Kompostierungsdurchläufe Im VELKO-Projekt erfolgten verschiedene Probenahmen. Deren Art und Weise unterscheiden sich selbstredend in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellungen, beginnend mit der eigentlichen Probenahme. Der Gesichtspunkt Probenahme der Kompostmaterialien wird in diesem Kapitel beschrieben, weitere folgen in den nachstehenden Kapiteln.

Die Vorgehensweise zur Probenahme von Kompostmaterialien war u.a. Teil einer Beratungs- und Schulungsveranstaltungen zu Projektbeginn. Zusätzlich gab es eine orientierende Hilfestellung anhand einer Arbeitsanweisung (siehe Anhang 9.1), welcher allen Mitgliedern der operationellen Gruppe ausgehändigt worden war. Im Rahmen der Schulungsveranstaltung, die als öffentlicher Termin auch weitere Interessenten der landwirtschaftlichen Kompostierung ansprach, erfolgten praktische Vorführungen zur Probenahme. Entsprechend wurde bei der späteren Probenahmen der Kompostmaterialien im VELKO-Projekt verfahren. Die o.a. Arbeitsanweisung, die mehr die gewerbliche Kompostierung im Blick hat und insbesondere auch auf Qualitätssicherung und Zertifizierung abzielt, konnte zumindest als Orientierung herangezogen werden.

So galt es der Vielgestaltigkeit der - bisweilen auch sperrigen und groben - Ausgangsmaterialien und einem i.d.R. nicht so hohen angestrebten Zersetzungsgrad Rechnung zu tragen und dennoch eine repräsentative Probe für das Labor zu erstellen. Die Probenahme gestaltete sich dementsprechend recht aufwändig. Ungleich aufwändiger, aber leider auch fehleranfälliger, als bei einer Flüssigkeitsprobe oder einer Sondenbeprobung, wie z.B. bei Bodenproben. Die Beschränkung auf nur einen Probennehmer der SÖL sollte dem entgegenwirken und eine gewisse Standardisierung bewirken.

Da im Projekt einige Komposte dabei waren, deren Mischungspartner bisweilen eine ausgeprägte Stückigkeit und variierendes Zersetzungsverhalten aufwiesen, ergab sich eine deutlichere Differenzierung in Randzone und Kernzone, als bei reinen „Mist“-Mieten. Bei letzteren war es oftmals der Mietenfuß, der sich insbesondere bei Durchnässung abweichend präsentierte. Deshalb erfolgte für alle Mieten, unabhängig der Ausgangsmaterialien die Materialentnahme der Einzelproben aus der Kernzone. Die Proben wurden wie folgt erstellt:

- Abtrennen der Randzone an zufällig gewählten Stellen entlang der Kompostmiete
- Verwerfen von Kernzonenabschnitten mit erkennbar abweichender Präsentation
- Fortfahren bis 20 vergleichbare Kernzonenabschnitte freigelegt waren
- Entnahme der Einzelproben aus der Kernzone und Wiederverschließen der Miete
- Homogenisierung der Einzelproben und Verjüngung zur Endprobe (siehe Anhang 9.2)
- Abstich von 15 - 20 ltr. und Abfüllen in gekennzeichnete Kunststoffbeutel
- zusätzliches Abpacken in weiteren (dunklen) Kunststoffbeutel
- Ausfüllen Probenbegleitblatt und Versand an Labor

Nachdem der Versand in Pappkartons zu Problemen bzw. Retouren führte (gerissene Kartonage), wurde auf stabile Kunststoff-Versandboxen umgestellt.

Im Vorfeld war zwischen der SÖL und dem Labor ein Untersuchungsprogramm für die 3 Probearten Input(-material), Rottematerial und Output(-material) abgestimmt worden. Die einzelnen Parameter der Laboruntersuchung werden im nachfolgenden Kapitel (2.4.3.2) näher erläutert.

„Input“ bzw. „Output“ entsprach dann Anfang bzw. Ende eines Kompostierungsdurchgangs. Die Kategorie „Rottematerial“ kam nur in wenigen Ausnahmefällen zum Einsatz.

### 2.4.2.2 Überwachung des Kompostierungsverlaufs

Alle für die mikrobielle Aktivität erforderlichen Bedingungen in den Kompostmieten sollten überwacht, gesteuert und dokumentiert werden (siehe Tab. 2.4.1). Dies gilt insbesondere während der thermophilen Phase mit hoher mikrobieller Aktivität.

Tabelle 2.4.1 Zentrale Überwachungs- und Steuerungsparameter während des Kompostierungsprozesses

Steuerungsparameter	Begründung und Anmerkungen	Überwachungs-/Steuerungsmethode
<b>Temperatur</b>	Hauptindikator für den Grad der mikrobiellen Aktivität, einfach zu messen	Messung mittels Temperatursonde, deren Messlanze lang genug ist, um den zentralen Kern der Kompostmiete zu erreichen. Messungen an mehreren Stellen - Messung im Kern, an der Basis, am Rand der Kompostmiete
<b>Feuchtigkeit</b>	„Lebenselixier“ für Mikroorganismen: Wasser = Medium für Nährstofftransport und mikrobielle Zersetzung	Überwachung mit Hilfe der Faustprobe; Einsatz von Kompostvlies als Schutz vor Vernässung und Austrocknung
<b>Belüftung</b>	Nur die Anwesenheit von ausreichend Sauerstoff ermöglicht die aerobe Rotte	Angepasster Mietenquerschnitt und günstige Materialstruktur: Gewährleistung der passiven Mietenbelüftung durch Konvektion („Kaminzugeffekt“) An die Rottephase angepasste Umsetzhäufigkeit: In der Hauptrotte z.B. 1 x wöchentlich, 1 x 14-tägig; Reduzierung Umsetzintervall in der Nachrotte
<b>Geruch</b>	Geruch ist ein natürliches Nebenprodukt der mikrobiellen Zersetzung und entsteht i.d.R. wenn flüchtige organische Säuren, Ammoniak und Schwefeldioxid freigesetzt werden. Unangenehme Gerüche sind ein Anzeichen, dass der Kompost behandelt werden muss	Sensorische Bonitur nach festgelegtem Schema (siehe Anhang 9.2.)
<b>Kompostreife</b>	Beurteilung Rottefortschritt und möglichen Einsatzbereich	Sensorische Prüfung Holzbrüchigkeit, Abbaugrad, Körnigkeit

<p><b>optional: Sauerstoff</b></p>	<p>Nur die Anwesenheit von ausreichend Sauerstoff ermöglicht die aerobe Rotte</p>	<p>Messung von Sauerstoff oder Kohlendioxid mittels Gasmessgerät Daten schwieriger zu interpretieren als Temperaturdaten; teurer als Temperatursonden.</p>
--	---	--

Die gezielte Steuerung durch Veränderung der Inputzusammensetzung sowie verfahrenstechnische Eingriffe in den Prozess können enorme Auswirkungen auf die Qualität des Prozesses und in der Folge auch des Endprodukts mit sich bringen. Vielfältige Wechselbeziehungen der Parameter untereinander erhöhen dabei die Komplexität der Prozesssteuerung (Abb. 2.4.7). Die Kenntnis der Steuerungsparameter und ihrer Wechselwirkungen untereinander sowie ein kontinuierliches Monitoring des Prozesses sind daher unerlässlich für die biologische Behandlung organischer Reststoffe entsprechend dem aktuellen Stand der Technik. Neben dem Fokus der Erzeugung eines hochwertigen Endproduktes ist dabei auch die Reduzierung treibhausrelevanter Gasemissionen (Lachgas, Methan) die unter bestimmten Rahmenbedingungen entstehen, von besonderer Bedeutung.

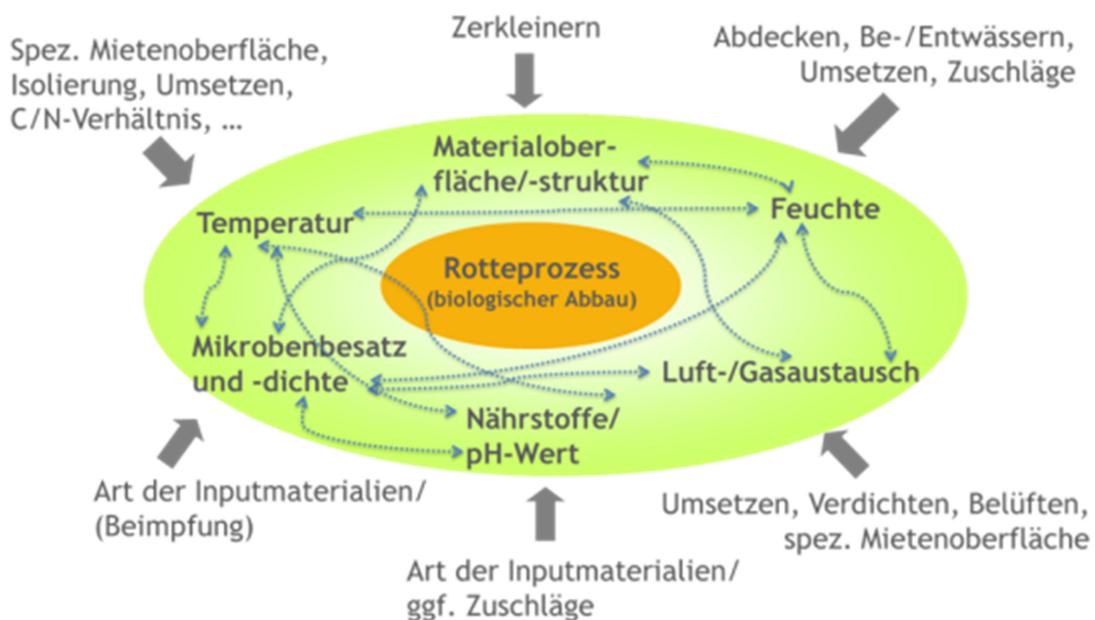


Abbildung 2.4.7 Einflussfaktoren (grüne Elipse), Wechselbeziehungen (blaue Pfeile) und Steuerungsmöglichkeiten (graue Pfeile) beim Kompostierungsprozess

Im Rahmen vorliegenden Projektes fanden Prozessüberwachung und -steuerung mit Hilfe folgender Parameter statt:

- Temperaturerfassung über das drahtlose Temperaturmesssystem der Fa. Quanturi,
- sensorische Bonituren mit Hilfe der im Rahmen der vorbereitenden Beratung ausgehändigten Unterlagen und Formulare (Mietenbonitur, Erkennen von Prozessstörungen, Kompostbonitur)
- regelmäßige, an die jeweilige Rottephase angepasste Umsetzvorgänge,
- Auf- und Abdecken der Feldrandmieten (Einsatz von Kompostvlies als Schutz vor Witterungseinflüssen)
- Beurteilung des Wassergehaltes bzw. der Feuchtigkeit (s.u.).

Zur Überprüfung des Wassergehaltes bzw. des Feuchtigkeitszustandes im Hinblick auf Optimierungsbedarf der Rottematerialien wurde die Faustprobe angewandt (siehe Abb. 2.4.8). Sie hat sich als eine unkomplizierte, schnell anwendbare Praxismethode bewährt. Der besondere Vorteil gegenüber der Wassergehaltbestimmung mittels Trocknung im Trockenschrank ist, dass hierbei die qualitative Beurteilung der Wasseraufnahmefähigkeit eines Materials in die Beurteilung einfließt:

- In der Regel ist das Rottegut zu feucht, wenn sich Wasser aus einer Handvoll Material herausdrücken lässt (siehe Abb. 2.4.8, links).
- Es ist zu trocken, wenn sich das Material nicht feucht, sondern staubig anfühlt, nicht formen lässt, sondern einfach aus der Hand rieselt (siehe Abb. 2.4.8, Mitte).
- Optimal ist die Feuchtigkeit, wenn beim Zusammenpressen des Materials kein Wasser entsteht. Gleichzeitig haftet es wie ein Knödel zusammen und fällt bei etwas Druck mit dem Daumen auseinander (siehe Abb. 2.4.8, rechts).



Abbildung 2.4.8 Bestimmung der optimalen Feuchte mit Hilfe der Faustprobe (Fotos: HUMUS- UND ERDEN KONTOR)

Die Überprüfung des Rottematerials mit Hilfe der Faustprobe fand an verschiedenen Stellen und in den maßgeblichen Zonen (Kern, Basis, Rand) sowohl zu Beginn als auch während des Kompostierungsprozesses statt.

### 2.4.2.3 Untersuchung der erzeugten Kompostqualitäten („Output“)

Die Beprobung der fertigen Komposte („Output“) erfolgte durch den vor Ort ansässigen Projektmitarbeiter. Die Untersuchungen wurden entsprechend dem Parameterumfang nach RAL-Gütezeichen 251 Kompost durch das akkreditierte Labor PLANCO-TEC nach dem Methodenbuch der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V. sowie nach anerkannten DIN-EU-Normen durchgeführt.

Wichtige Merkmale für die Bewertung von Kompost sind der Nährstoffgehalt, die organische Substanz, der Gehalt an humusbildendem Kohlenstoff, der pH-Wert, der Salzgehalt, der Wassergehalt sowie die Belastung mit Schadstoffen, insbesondere Schwermetallen.

Die Analytik der Endprodukte der Feldrandkompostierung (Komposte) umfasste demzufolge:

- wertgebende Parameter des Kompostes wie Pflanzennährstoffe, organische Substanz und basisch wirksame Stoffe
- Rohdichte, Trockenmasse bzw. Wassergehalt, Salzgehalt (elektrische Leitfähigkeit) und pH-Wert
- biologische Parameter (Hygiene, Reife und Pflanzenreaktion)
- unerwünschte Bestandteile (Schwermetalle)

Eine Übersicht der untersuchten Parameter und angewandten Methoden zur Ermittlung der Kompostqualität gibt nachfolgende Tab.2.4.2.

Tab.2.4.2: Übersicht Parameter und Methoden zur Untersuchung der Kompostqualität

Parameter	Methode
Rohdichte (Volumengewicht)	Methodenbuch BGK e.V.: 2014-08 (Kap. I. B)
Wassergehalt	Methodenbuch BGK e.V.:2006-09 (Kap. III. A 1.1)
Rohdichte (Volumengewicht)	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09 (Kap. II. A 4)
Salzgehalt (Wasserauszug 1:5)	Methodenbuch BGK e.V.: 2013-05 (Kap. III. C 2.2)
pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	Methodenbuch BGK e.V.: 2013-05 (Kap. III C 1.2)
pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	Methodenbuch BGK e.V.: 2013-05 (Kap. III C 1.1)
Stickstoff (N), gesamt	DIN EN 16168: 2012-11
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), löslich (CaCl <sub>2</sub> )	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), löslich (CaCl <sub>2</sub> )	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09
Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), gesamt	Din EN ISO 11885: 2009-09
Phosphat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), löslich (CAL)	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09
Kalium (K <sub>2</sub> O), gesamt	Din EN ISO 11885: 2009-09
Kalium (K <sub>2</sub> O), CAL	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09
Magnesium (MgO), gesamt	Din EN ISO 11885: 2009-09
Magnesium (MgO), löslich (CaCl <sub>2</sub> )	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09
Basisch wirksame Stoffe (CaO)	Methodenbuch BGK e.V.: 2021-09 (Kap. III B 2.1)
Organische Substanz (Glühverlust)	Methodenbuch BGK e.V.: 2013-05 (Kap. III, B 1.1)
C/N-Verhältnis	Berechnung aus Messwerten der Einzelparameter
Pflanzenverträglichkeit	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09 (Kap. IV, A.3)
keimfähige Samen und Pflanzenteile	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09 (Kap. IV, B.1)
Rottegrad/ Maximaltemperatur	Methodenbuch BGK e.V.: 2006-09 (Kap. IV, A.1)
Blei	DIN EN ISO 17294-2: 2005-02
Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zink	DIN EN ISO 17294-2: 2017-01
Quecksilber	DIN EN ISO 12846: 2012-08

### 2.4.3 Hygieneprozessprüfung

Die Hygieneprozessprüfung der Feldrandkompostierung im VELKO-Projekt erfolgte analog zur Vorgehensweise und den Anforderungen bei der Prozessprüfung für Anlagen zur aeroben hygienisierenden Behandlung (thermophile Kompostierungsanlagen) gemäß Anhang 2, Abschnitt 3.1.2 Bioabfallverordnung (BioAbfV). An Feldrandmieten des Betriebs Nackterhof wurden zwei Prüfgänge mit einem Abstand von mehr als drei Monaten durchgeführt. Davon lag einer der beiden Prüfgänge in der kalten Jahreszeit. Die Prozessprüfung fand unter der anlagentypischen Prozessführung statt. Der Prüfungsumfang entsprach den Vorgaben der Bioabfallverordnung.

Je Prüfgang werden zwölf Prüfgefäße in den Rottekörper eingebaut. Darin enthalten sind je drei Testorganismen für die Prüfung der Phytohygiene [Tabakmosaikvirus (TMV), *Plasmodi-ophora brassicae* und Tomatensamen] sowie ein Testorganismus für die Seuchenhygiene (*Salmonella senftenberg* W775) als Doppelprobe.

Die Testorganismen werden in perforierte Edelstahlgefäße („Prüfgefäße“) verpackt und durch einen Mitarbeiter von PLANCO-TEC mit vier Wiederholungen in je drei Prüfbereiche des Rottekörpers (Basis, Kern und Rand) in die Miete eingebracht. Die Prüfgefäße verbleiben während der gesamten Hygienisierungsphase im Rottekörper. Am Ende des Prüfzeitraums werden die Gefäße entnommen und die reisolierten Testorganismen im Labor auf Restinfektiosität bzw. Inaktivierung überprüft.



Abbildung 2.4.9 Hygieneprozessprüfung: Prüfgefäße, Einlage in das Rottematerial und Markierung der Einlagepositionen (Fotos: Zerger)

Die Herstellung der Proben, Validierung sowie Durchführung der erregerspezifischen Nachweistests (siehe Abbildung 2.4.10 Erregerspezifische Nachweistests der Hygieneprozessprüfung (von links nach rechts): Tomatensamen, Kohlhernie, Tabakmosaikvirus (Fotos: PLANCO-TEC GmbH)

erfolgte entsprechend den Anforderungen aus Anhang 2 Abschnitt 4.2 und 4.3 der Bioabfallverordnung sowie dem Methodenbuch der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK). Die Methoden sind in den hausinternen Prüf- und Arbeitsanweisungen beschrieben, die im Rahmen der Akkreditierung des Prüflabors PLANCO-TEC von der DAkKS auf Normenkonformität geprüft sind. Die Prüfung der Salmonellen erfolgte durch ein für diesen Bereich akkreditiertes Fremdlabor (AQUA CONTROL). Die Untersuchung der Materialproben auf den pH-Wert erfolgte bei dem ebenfalls akkreditierten Labor AGROLAB.



Abbildung 2.4.10 Erregerspezifische Nachweistests der Hygieneprozessprüfung (von links nach rechts): Tomatensamen, Kohlhernie, Tabakmosaikvirus (Fotos: PLANCO-TEC GmbH)

Die Hygieneprozessprüfung wurde bei zwei Feldrandmieten des Betriebs Nackterhof durchgeführt. Die Materialinputmischung für den Kompostierungsprozess bestand aus dem dort praxisüblichen Rohstoffgemisch aus Pferdemit und Luzerne zusammen, welches zu Dreiecksmieten am Feldrand aufgesetzt wird.

Die Einlage und Entnahme der Prüfgefäße fand zu folgenden Zeitpunkten statt:

- Prüfgang 1: Einlage am 27.10.2022, Entnahme am 10.02.2023 (15 Wochen Prüfzeitraum)
- Prüfgang 2: Einlage am 07.06.2023, Entnahme am 02.10.2023 (15 Wochen Prüfzeitraum)

Die Mietendimensionierung lag bei etwa 80 m Länge, 4 m Breite und 1,5 m Höhe. Sie wurden während des Prüfzeitraum 3 x mittels des projekteigenen Dreiecksmietenumsetzers durchmischt, belüftet und nach Bedarf bewässert. Die Temperaturüberwachung erfolgte mit Hilfe einer Messlanze im Mietenkern. Neben der Temperaturüberwachung seitens des Betriebs, wurden durch PLANCO-TEC Temperaturlogger in Basis, Kern und Rand der Miete in den Prüfgefäßen eingebracht.

Nach der Entnahme der Prüfgefäße schließt sich die Durchführung der Biotests im Labor an. Dieses nimmt üblicherweise einen Zeitraum von ca. zwei Monaten in Anspruch. In der Folge wurden die Endberichte zu den einzelnen Prüfgängen der Hygieneprozessprüfung im Rahmen des VELKO-Projektes am 05.05.2023 bzw. 22.12.2023 fertiggestellt.

## 2.4.4 Nmin-Messungen

Da im Kompostierungsprozess als Folge des chemischen Umbaus des Materials Verluste entstehen können, wurde versucht diese ansatzweise zu erfassen und zu quantifizieren. Die im Projekt begleiteten Kompostierungsdurchläufe bedingen aufgrund der Anlage unter Praxisbedingungen und der limitierten Ressourcen bei Versuchsanstellung und -durchführung allerdings eine Beschränkung des Untersuchungsumfangs und letztlich auch der Untersuchungstiefe. Neben der Nmin-Untersuchung, bei der das für das Trinkwasser relevante Nitrat im Zentrum der Betrachtung stand, wurden auch eine Untersuchungsreihe des Sickerwassers und Gasmessungen durchgeführt (siehe die beiden nachfolgenden Kapitel).

Im Gegensatz zu den Kompostmaterialien, die in größerem Umfang und nahezu bei allen bearbeiteten Versuchsfragestellungen begleitend labortechnisch untersucht wurden, gab es bei den Nmin-Messungen eine Beschränkung auf 3 Standorte:

- NHF als zentraler Untersuchungsstandort (hier auch die Untersuchungsreihen Sickerwasser und Gasmessung sowie die Hygieneprozessprüfung)
- KSM als Beispiel der Kompostierung in einem Gemischtbetrieb
- BDH als Standort mit Kompostierung vorrangig pflanzlicher Ausgangsmaterialien

Wie in der landwirtschaftlichen Bodenkunde und der Düngung üblich, steht dies auch im VELKO-Projekt unter der Überschrift „Nmin-Messung“, obgleich bei genauerer Betrachtung die Oxidationsstufe Nitrat im Fokus steht. Deshalb wird in der Auswertung (Kapitel 3.4.3) vorrangig von Nitrat-N gesprochen.

Durch die Nmin-Bodenuntersuchung sollte der Umfang des Eintrages des löslichen/mobilen Stickstoffs in den Bodenkörper festgestellt werden. Um dabei den Anteil infolge des Kompostierungsprozesses i.e.S. abzugrenzen, wurde zum Vergleich der Bereich außerhalb des Mietenkörpers untersucht. Im ersten Untersuchungs-Jahr wurde noch eine Unterscheidung zwischen einem Bereich unter dem zentralen Mietenkörper und dem Rand versucht. Es zeigte sich allerdings, dass aufgrund der Kompostierung unter Praxisbedingungen ein klar abgegrenzter Randbereich beim Aufsetzen, Umsetzen und Abräumen nicht einzuhalten war bzw. die räumliche Abgrenzung für die spätere Probenahme nicht mehr eindeutig und fehlerfrei möglich war. Daraufhin wurde der Untersuchungsraum und Zeitpunkt der Probenahme beschränkt auf:

- Ausgangsfläche
- Teilfläche unter der Miete
- Teilfläche außerhalb der Miete = Fahrbereich

Die Ausgangsfläche wurde vor dem Aufsetzen der Kompostmiete(n), die o.a. Teilflächen nach dem Kompostierungsende (Abräumen der Miete(n)) beprobt.

Für die Bodenprobennahme und Analyse war ein regionaler Dienstleister beauftragt. Beauftragung, Durchführung der Probenahme und Analyse erfolgten durchgehend digital gesteuert. Bei der Beauftragung wurden der Probenahmeort, die von der Tiefgründigkeit des Bodens abhängige Beprobungstiefe und der Analyseumfang in ein webgestütztes Portal eingegeben. Nachstehende Abbildungen 2.4.11 (a bis d) zeigen an dem Beispiel des Kompostierungsdurchlaufes KSM/2023/15/5 die verschiedenen Meldeschritte.



Abbildung 2.4.11 Planung Bodenprobennahme mittels Web-Portal (Quelle: WSB-Portal)

Da die konkreten Geometrien der realen Kompostmieten nie exakt in das System eingegeben werden konnten, wurden vor Ort noch zusätzlich Markierungspfosten gesetzt. Innerhalb dieser abgegrenzten Areale fand anschließend die automatisierte Probenahme statt.

Hierzu verwendete das beauftragte Labor WSB-Labor Ruzycki zur Probenentnahme das von Weihenstephan entwickelte und getestete System der Firma Fritzmeier „BEPG 90“. Dieses System arbeitet vollautomatisch. Ähnlich der Spiralbohrer- Methode ist das Entnahmewerkzeug ein Bohrschrauber, wodurch sich kleinere Probenmengen realisieren lassen und somit keine weitere Probenaufbereitung wie eine etwaige Homogenisierung notwendig ist. Durch ein ausgeklügeltes SPS-gesteuertes System ist eine exakte und reproduzierbare Schichttrennung im cm-Bereich gegeben.

Als Trägerfahrzeug des Entnahmegerätes wurde ein sehr leichter Suzuki Jimmy Geländewagen. Ausgestattet mit Reifendruckregelange war somit auch die Möglichkeit einer guten Befahrbarkeit bei geringem Bodendruck auch bei widrigen Bedingungen gegeben. Durch die Ausstattung mit moderner Navigationstechnik, GPS und Bordrechner konnte die Beprobung witterungs- und standortgerecht durchgeführt werden. Das Beprobungsfahrzeug war der Lage, die Schläge der Untersuchungsbetriebe anhand von Katasterdaten bzw. Geodaten aufzufinden. Dadurch war das vorherige Zeigen bzw. die Anwesenheit des Bewirtschafters nicht erforderlich.



Abbildung 2.4.12 Bodenprobennahme mit mobilem Beprobungsfahrzeug (Foto: Zerger)



Abbildung 2.4.13 Bohrerergebnisse zu den drei Tiefen 30-60-90cm (Foto: Zerger)

Die Analysen der Bodenproben erfolgten mit dem EPOS Analyser 5060 von Eppendorf nach der VDLUFA-Methode.

## 2.4.5 Sickerwassererfassung

### **Versuch zur Sickerwassererfassung bei unterschiedlicher Abdeckung der Kompostmieten**

Im September Ende 2022 wurden zwei Versuche zur Erfassung von Sickerwasser bei der Feldrandkompostierung von Pferdemist und Klee gras mit Abdeckung und ohne Abdeckung mit Kompostvlies im Projekt VELKO angelegt. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Auf dem Betrieb Nackterhof wurden auf der Kompostierungsfläche (Hangneigung ca. 2%; zugleich leichte Seitenneigung nach Westen) unter der anzulegenden Miete jeweils zwei Auffangbecken mittels Minibagger ausgehoben (400 cm Breite, 200 cm Länge und 10 cm Höhe). Beim ersten Durchgang betrug die erfasste Sickerwasserfläche somit 8,0 m<sup>2</sup>. Die Becken wurden jeweils mit einer Teichfolie ausgekleidet, wobei die Ränder der Becken mit Rahmenhölzern um ca. 10 cm erhöht wurden, um die Sickerwassermenge auffangen und an die tiefste Stelle ableiten zu können. An diesem Auslauf wurde über einen Trichter eine 250 cm lange Rohrleitung installiert, um am Ende in einer Grube ein Auffanggefäß installieren zu können, damit die anfallende Sickerwassermenge erfasst werden konnte.

Unter jeder der beiden Mieten wurden jeweils zwei Becken angelegt, damit über die beiden Wiederholungen Schwankungen bei der Sickerwassererfassung ausgeglichen werden konnten.

Die Entnahme und Erfassung der angefallenen Sickerwassermengen wurden je nach Jahreszeit und Witterung im ein- bis zweiwöchigen Turnus durchgeführt. Danach wurden jeweils die Sickerwassermengen der beiden Wiederholungen in einem Gefäß gesammelt und als Monatsprobe an das Labor zur Analyse versendet.

Zusätzlich wurde vor-Ort ein Regenmesser installiert, um die Niederschlagsmengen zu erfassen und in Relation zu den erfassten Sickerwassermengen stellen zu können.

Insgesamt wurden die Sickerwassermengen in Zeitraum 26.10.22 bis 15.05.23 sowie 25.05.23 bis 31.09.23 bei zwei Mietendurchgängen mit jeweils zwei Varianten und jeweils zwei Wiederholungen erfasst.



Abbildung 2.4.14 Auffangwanne Unterkonstruktion (Foto: Zerger)



Abbildung 2.4.15 Auffangwanne Auskleidung mit Teichfolie (Foto: Zerger)

Bei dem zweiten Mietendurchgang wurden die Auffangwannen vor dem Aufsetzen der Miete überprüft und in der Breite zugleich von 400 cm auf 300 cm verkleinert, um bessere Voraussetzungen für das Überfahren der Miete mit dem Umsetzer zu schaffen. Somit betrug die Auffangfläche beim zweiten Durchgang 6,0 m<sup>2</sup>.

### Analyse des Sickerwassers

Die zu Monatsproben zusammengefassten Sickerwasseranfälle wurden nach aktuellen Standardmethoden gemäß DIN-, DIN/EN- und DIN/EN/ISO-Normen bei PLANCO-TEC/Agrolab auf die in Anhang 9.1 dargestellten Parameter bzgl. der Konzentrationen an Stickstoff und anderen Pflanzennährstoffen sowie auf organische Verunreinigung/Befruchtung untersucht. Die Untersuchungen wurden von einem seitens der BGK-Bundesgütegemeinschaft Kompost als Fremdüberwacher zertifizierten Laborverbund durchgeführt.

Die Quellen für die Untersuchungsmethoden bzgl. der einzelnen Parameter sind dem Material- und Methodenteil im Anhang zu entnehmen.

### Berechnung der Frachten

Die Frachtenberechnung des ausgewaschenen Gesamt-N erfolgte auf Basis der dargestellten Konzentrationswerte an N<sub>ges.</sub> im Sickerwasser (Tab. 3.4.2), die mit den zugehörigen Sickerwassermengen multipliziert wurden. Damit ergaben sich für die einzelnen Versuchsmonate die spezifischen N-

Frachten der beiden Varianten mit und ohne Abdeckung bei der Feldrandkompostierung, die in Tab. 3.4.4 dargestellt sind.

## 2.4.6 Gasmessungen

### Messkampagne

Die Emissionsuntersuchung unter Praxisbedingungen wurde auf dem landwirtschaftlichen Betrieb von Peter Waßner in Nackterhof (Rheinland-Pfalz) durchgeführt. Der dortig anfallende Pferdemist wurde Anfang Mai in Dreiecksmieten auf dem freien Feld aufgesetzt. Insgesamt wurden 14 Mieten an zehn Messtagen auf ihre Emissionsentstehung untersucht. Dabei gibt es sieben Doppelmieten die sich in ihrer Zusammensetzung des Rottegutes, in der Abdeckung und der Umsetzungshäufigkeit unterscheiden. In folgender Tabelle 1 werden die Varianten den Mietenummerierungen zugeordnet. Zu Beginn hatten alle Mieten, ausgenommen die wilden Mieten 13 und 14, eine Höhe von 1,70 Metern, eine Breite von drei Metern und eine Länge zwischen 12 und 17 Metern.

Tabelle 2.4. 1: Varianten der Mieten im Überblick

Mietennummer	Zusammensetzung des Rottegutes	Abdeckung	Umsetzung
1	2/3 Pferdemist mit 1/3 Klee gras	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
2	Pferdemist	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
3	Pferdemist	Immer abgedeckt	Mit umsetzen
4	2/3 Pferdemist mit 1/3 Holzhäcksel	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
5	2/3 Pferdemist mit 1/3 Holzhäcksel	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
6	2/3 Pferdemist mit 1/3 Klee gras	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
7	Pferdemist	Immer abgedeckt	Mit umsetzen
8	Pferdemist	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
9	Pferdemist (wild)	Immer abgedeckt	Ohne umsetzen
10	Pferdemist (wild)	Immer abgedeckt	Ohne umsetzen
11	1/3 Pferdemist mit 2/3 Klee gras	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
12	1/3 Pferdemist mit 2/3 Klee gras	Teilweise abgedeckt	Mit umsetzen
13	Pferdemist (wild)	Nicht abgedeckt	Ohne umsetzen
14	Pferdemist (wild)	Nicht abgedeckt	Ohne umsetzen

Die Lage der einzelnen Mieten auf dem Feld wird in Abb. 2.4.16 gezeigt. Anhand der Farben sind die jeweiligen Doppelmieten erkennbar, die sich in ihrer Rottegutzusammensetzung, Abdeckung und Umsetzungshäufigkeit gleichen.



Abbildung 2.4.16 Mietenanordnung für Gasmessungen (eigene Darstellung Universität Stuttgart)

### Versuchsaufbau

Zur Ermittlung der Emissionen wird die Tracer-Methode genutzt. Dabei wird von einer gemessenen Verdünnung einer bestimmten freigesetzten Gasmenge auf die emittierten Emissionen der Miete geschlossen. Die Erfassung erfolgt dabei mit Hilfe des FTIR-Messgerätes als Punktmessung. Wichtig ist eine gleichzeitige Messung des Tracergases und der zu untersuchenden Emissionen.

Bevor die Messung beginnen kann, muss die Zelltemperatur des FTIR-Messgerätes auf mindestens 25 Grad Celsius aufgeheizt werden. Anschließend wird das Gerät mit Stickstoff gespült und ein Nullspektrum erstellt.

Da lediglich die emittierten Emissionen aus der Miete bestimmt werden sollen, muss im ersten Schritt eine Hintergrundmessung durchgeführt werden. Diese wird in der späteren Berechnung von der Vordergrundmessung abgezogen. Dabei befindet sich das FTIR im Luv, also der Wind zugewandten Seite der Miete. Die Messung wird fünf Minuten durchgeführt, wobei alle 20 Sekunden ein Messwert aufgenommen wird.

Für die Vordergrundmessung im direkten Anschluss befinden sich das FTIR im Lee und die Quelle im Luv. Während der gesamten Messung wird das Tracergas freigesetzt. Bei diesem Versuchsaufbau wird Ethin ( $C_2H_2$ ) verwendet, da es nicht in der Atmosphäre vorkommt und keine Temperaturänderung am Diffusor verursacht. Über das Rotameter wird die exakte Volumenstromabgabe von 19 Liter pro Minute eingestellt und kontrolliert.

Der Wind trägt das Ethin über die Miete und mit den Emissionen zum FTIR. Da sich das Gas und die Emissionen gleich verhalten, kann davon ausgegangen werden, dass sie aus der gleichen Region

stammen. Die Quelle sollte bei der Messung weit genug von der Miete entfernt stehen, um eine optimale Mischung von Tracer- und Mietengas zu erhalten und Fehler zu minimieren. In der Praxis dienen 5 Meter als Richtwert. Auch das FTIR sollte mit geeignetem Abstand (circa 2 Meter) zur Miete stehen. Die Messdauer beträgt 20 Minuten mit Messintervallen von 20 Sekunden. Der Messaufbau der Vordergrundmessung lässt sich in Abb. 2.4.17 erkennen.

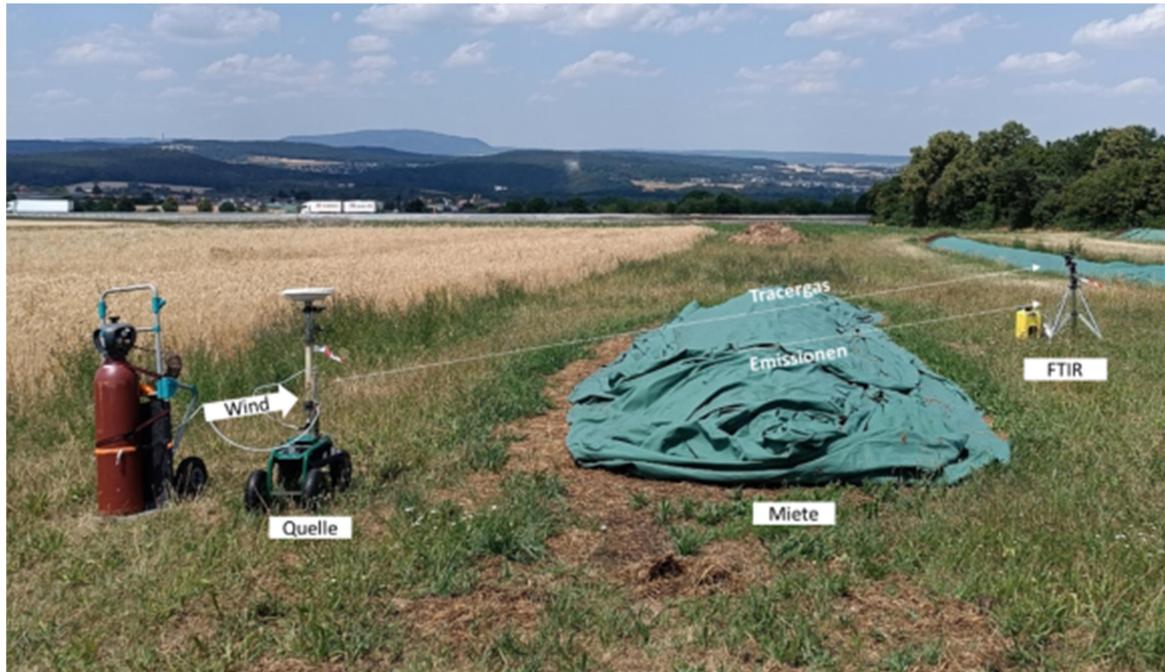


Abbildung 2.4.17 Versuchsaufbau (eigene Darstellung Universität Stuttgart)

Als zusätzlichen Parameter wird die Windgeschwindigkeit mit einem Flügelanemometer gemessen. Meteorologische Messungen sind zwar nicht notwendig, liefern jedoch in der Auswertung weitere Erkenntnisse über die Qualität und Aussagekraft der Messwerte.

Für jede Miete wird dieses Vorgehen wiederholt.

Eine Übersicht über die berechneten Emissionen sind im Abschnitt Ergebnisse in der Tabelle 3 zu finden.

## 2.5 AP 5 - Pflanzenbauliche Untersuchung: Gefäßversuch

### 2.5.1 Beschreibung

#### Ausgangsmaterial

Für die Durchführung dieses Gefäßversuchs zu den pflanzenbaulichen Auswirkungen von Kompostanwendungen wurden fünf Komposte von drei am VELKO-Projekt beteiligten Betrieben ausgewählt. Der NHF-Kompost besteht aus 100% Pferdemit. Der KSM-Kompost besteht aus einer Mischung aus 75 % Mist-Mix (Tieflaufstall + Dungele; 0-3 Monate) und 25 % holzigem Strukturmaterial. Der GBH-Kompost besteht aus 78% Weidelgras, 18% Schafsmist und 2% Hühnermist und 2% Erde. Von den Betrieben NHF und KSM wurden jeweils zwei Komposte untersucht, die sich nur hinsichtlich des Alters unterschieden. Deshalb werden zusätzlich bei der Bezeichnung der Komposte die Buchstaben „A“ für alte und „F“ für frische genannte. Diese Bezeichnungen geben keine Auskunft über den Reifegrad des Komposts. Bei den fünf beprobten Komposten wurde jeweils der Rottegrad 5 gemäß Laboranalysen von PLANCO-TEC erreicht.

#### Versuchsgefäße

Bei dem Düngeversuch sollte ein möglichst geschlossener Nährstoffkreislauf gewährleistet sein. Daher wurden 6 Liter Mitscherlich-Gefäße benutzt. Damit bestand die Möglichkeit, das Sickerwasser mit den enthaltenden Nährstoffen zu speichern und damit nachzugießen

Tabelle 2.5.1 Versuchsbezeichnungen der eingesetzten Komposte

Töpfe Bezeichnung	Anzahl Gefäße	kompletter Name	gedüngt/ ungedüngt
<b>NHF-F G</b>	4	NHF Frisch Kompost	gedüngt
<b>NHF-F U</b>	4	NHF Frisch Kompost	ungedüngt
<b>NHF-F W.K</b>	1	NHF-F Wasserkapazität	ungedüngt
<b>NHF-A G</b>	4	NHF Alter Kompost	gedüngt
<b>NHF-A U</b>	4	NHF Alter Kompost	ungedüngt
<b>NHF-A W.K</b>	1	NHF-A Wasserkapazität	ungedüngt
<b>KSM-A G</b>	4	KSM Alter Kompost	gedüngt
<b>KSM-A U</b>	4	KSM Alter Kompost	ungedüngt
<b>KSM-A W.K</b>	1	KSM-A Wasserkapazität	ungedüngt
<b>KSM-F G</b>	4	KSM Frischer Kompost	gedüngt
<b>KSM-F U</b>	4	KSM Frischer Kompost	ungedüngt
<b>KSM-F W.K</b>	1	KSM-F Wasserkapazität	ungedüngt
<b>GBH G</b>	4	GBH	gedüngt
<b>GBH U</b>	4	GBH	ungedüngt
<b>GBH W.K</b>	1	GBH Wasserkapazität	ungedüngt
<b>RD</b>	8	Rand	gedüngt
<b>K.U</b>	4	Kontrolle (Reinboden)	ungedüngt
<b>K.D</b>	4	Kontrolle (Reinboden)	ungedüngt

## **Gefäßbezeichnung**

Dieser Versuch wurde mit insgesamt 61 Töpfe angelegt, die in der folgenden Tabelle beschrieben sind. Die „Gedüngt“ Varianten haben ein fein gemahlenes Hornmehl als N-Ergänzung bekommen. Die Gefäße „Kontrolle“ (reiner Boden) und „Rand“ (ausschließlich für die Randomisierung) wurden ohne Kompost befüllt.

## **Qualitätsuntersuchung der eingesetzten Komposte**

Die eingesetzten Komposte wurden im Labor der Firma PLANCO-TEC untersucht. Hinsichtlich der Pflanzenverträglichkeit sowie in Hinblick auf die Feldkapazität sind nachfolgende Parameter relevant:

### Schwermetallgehalt:

Es konnte festgestellt werden, dass keine der fünf untersuchten Komposte relevanten Schwermetallgehalte aufweisen.

### Kontamination mit Pathogenen:

In den o.g. Komposten waren keine Spuren von Salmonellen oder anderen Pathogenen vorhanden.

### Salzgehalt/Nährstoffgehalt (N, P, K, Na, Cl, Bor):

In den im Versuch eingesetzten Komposten wurden Salzgehalte festgestellt, die vergleichsweise hoch liegen. Die Kaliumgehalte der Komposte KSM-A, bzw. GBH liegen bei 3,00 % FM, bzw. bei 2,72 % FM. Damit liegen sie über dem Medianwert von Biokompost, der 1,3 % FM beträgt.

### C/N-Verhältnis:

Bei den eingesetzten Komposten war das C/N-Verhältnis kleiner als 20/1, was in Hinblick auf die Stickstoffverfügbarkeit positiv zu bewerten ist

### pH-Wert:

Die pH-Werte der eingesetzten Komposte lagen über pH 8 und könnten eventuell Auswirkungen auf die Keimung und das Wachstum der Versuchspflanzen haben.

### organische Substanz:

Die eingesetzten Komposte wiesen laut Laboruntersuchung zwischen 27,4 % und 55,4 % organische Substanz in TM auf

Das Ziel des Versuchs bestand darin eine Aussage über die Eigenschaften des Komposts zu treffen, ohne dass die Ergebnisse von einem geografischen Standort abhängen (Klimatische Bedingungen, Bewirtschaftung, Wechselwirkungen mit der Umgebung, Bodeneigenschaften). Daher wurde der Versuch in einem Gewächshaus des DLR in Bad Kreuznach durchgeführt. Das Kompetenzzentrum ökologischer Landbau (KÖL) in Bad Kreuznach hat sich federführend beteiligt, indem es fachliche und organisatorische Unterstützung geliefert hat.

## **Zeitraum**

Da lediglich ein Kaltgewächshaus für die Versuchsdurchführung zur Verfügung stand, wurde die Aussaat auf Anfang März 2023 festgelegt. Die letzte Ernte und dadurch der Abschluss dieses Versuches fand Ende Juli 2023 statt. Somit wurde der Gefäßversuch über einen Zeitraum von 5 Monaten durchgeführt.

## **Pflanzenauswahl**

Für den Versuch wurde Einjähriges Weidelgras „*Lolium westerwoldicum*“ ausgesät. Die Tausend-kornmasse betrug 4,86 g und die Keimfähigkeit 98 %. Weidelgras bietet einen guten und schnellen Biomassezuwachs und eignet sich daher für solche Versuche.

## **Auswahl des Bodens**

Um die Düngewirkungen der Komposte testen zu können, spielt die Auswahl des Substrates, mit dem der Kompost gemischt wird, eine entscheidende Rolle. Es sollte ein nährstoffarmer Boden genutzt werden, so dass die Ernährung der Pflanzen überwiegend über den Kompost stattfindet. Für diesen Zweck wurde ein nährstoffarmer Sandboden des Praxisbetriebs Nackterhof verwendet.

## **Dosierung des Kompostes und Düngestufe**

Die Dosierung des Komposts basiert auf der von der Düngemittelverordnung angegebenen Obergrenze von 30 t TM/ha. Gemäß dieser Vorgabe wurden die Kompostgaben auf die Mitscherlich-Gefäße umgerechnet. Im Versuch wurde mit zwei Düngestufen gearbeitet. Das heißt, dass pro Kompostvariante Wiederholungen ohne (Düngestufe 1) und mit Stickstoffergänzung in Form von Hornmehl (Düngestufe 2) durchgeführt wurden. Der Grund für die zweite Düngestufe bestand in der Beobachtung, dass es bei Komposten mit einem weiten C:N-Verhältnis zu einer Stickstoff-Immobilisierung kommen kann.

## **Anzahl der Wiederholungen**

Üblicherweise wird mit einer 6-fachen Wiederholung gearbeitet, um eine statistische, saubere Absicherung zu erzielen. Für diesen Gefäßversuch war das nicht möglich, da die Tische, die zur Verfügung standen, eine zu geringe Fläche aufwiesen. Daher wurde mit nur vier Wiederholungen pro Kompostvariante gearbeitet. Das heißt, vier Gefäße pro Kompostherkunft mit N-Ergänzung und vier Gefäße ohne N-Ergänzung. Pro Kompostvariante wurde ein weiteres Gefäß befüllt, das ohne Einsaat blieb. Diese Gefäße wurden separat behandelt und dienten dazu, die maximale Wasserkapazität des eingesetzten Bodenmaterials zu ermitteln. Um den Effekt des Kompostes mit einer Kontroll-Variante vergleichen zu können, wurden vier weitere Gefäße (reiner Boden, ohne Kompostgabe) in die Versuchsdurchführung mit aufgenommen. In den Randbereichen der Versuchstische wurden weitere Gefäße aufgestellt, die nicht in die Auswertung einbezogen wurden, um Randeffekte auf den Versuch auszuschließen.

## **Aufzeichnung des Temperaturverlaufs**

Zur Temperaturoaufzeichnung im Gewächshaus wurde einen Datenlogger des DLR Bad Kreuznach benutzt. Der Logger war in einem Abstand von 1 m über den Versuchen aufgehängt; die Temperaturmessung fand alle zwei Stunden statt.

## **Betreuung des Versuches**

Das Gießen und die Temperaturregulierung im Gewächshaus wurden per Hand vorgenommen und stellten die Hauptaufgabe für den Betreuer des Gefäßversuchs dar. Da keine Tensiometer vorhanden waren, um eine automatische und genauere Wasserversorgung der Gefäße zu ermöglichen, wurde die Wassermenge und die Häufigkeit des Gießens mittels Sichtkontrolle von dem Betreuer zugeführt. Die Temperatur im Gewächshaus wurde mittels Belüftung über Dachfenster vom Betreuer gesteuert.

Ziel war es bei diesem Versuchen mindestens drei Ernten zu erzielen. Erfahrungsgemäß kann Weidelgras einmal pro Monat geerntet werden (Versuchserfahrung des KÖL). Mit einer Aussaat im März sollte je eine Ernte im Mai, Juni und Juli stattfinden.

### **Ernte des Aufwuchses**

Bei der Beerntung der Gefäße musste das Weidelgras immer auf einer gleichmäßigen Höhe über der Bodenoberfläche abgeschnitten werden. Dafür wurde als Hilfsmittel eine Schablone benutzt, um einen homogenen Schnitt auf 10 cm über der Bodenoberfläche durchzuführen, damit die Erntemengen vergleichbar sind. Jedes Gefäß wurde einzeln beerntet und sowohl die Frisch- als auch die Trockenmasse ermittelt. Für die Trocknung stand einen Trockenschrank im Labor des DLR in Bad Kreuznach zur Verfügung.

### **Wasserkapazität**

Eine weitere Fragestellung betraf die Wasserkapazität des Bodens nach den Kompostgaben. Damit die maximale Wasserkapazität berechnet werden kann, müssen sowohl Frisch- als auch Trockenmasse des Aufwuchses erfasst werden. Für diese Ermittlung der Wasserkapazität musste das gesamte Substrat des Gefäßes mit Wasser gesättigt sein. Somit konnte erreicht werden, dass das gesamte Porensystem mit Wasser gefüllt war und die Probe ein homogenes Ergebnis liefern konnte. Die Trocknung des Bodens erfolgte im Labor des DLR.

## **2.5.2 Durchführung und Verlauf des Gefäßversuchs**

### **Bodenentnahme**

Für das Füllen der insgesamt 61 Mitscherlich-Gefäße von 6 Liter Volumen (20 cm Durchmesser x 21 cm Höhe) wurde ungefähr 450 bis 500 kg Boden benötigt. Aus Kostengründen war es nicht möglich einen gereinigten Sandboden von der LUFA Speyer zu beziehen. Stattdessen wurde ein sandiger und nährstoffarmer Praxisboden benutzt. Dafür eignete sich der Boden eines an diesem Projekt teilnehmenden Betriebes gut. Der Boden ist ein lehmiger Sandboden und wurde am 03.03.2023 auf einen brachliegenden Schlag bis max. 30 cm Tiefe entnommen (Oberkrume).

### **Gefäßvorbereitung**

Jede Kompostvariante wird in den zwei Dünge­stufen (mit/ohne N-Ergänzung) vorbereitet. Bei der Vorbereitung war es wichtig darauf zu achten, dass sowohl der Kompost als auch das Hornmehl homogen in den gesamten Boden eingemischt wird. Vorab wurde der Boden mit einem 8 mm Sieb und die Komposte mit einem 15 mm Sieb fein abgeseibt. Jedes Gefäß wurde danach mit 5 kg Boden und 90 g Kompost befüllt. Pro Variante wurden somit 45 kg Boden eingewogen. Es wurde eine „Vormischung“ des Kompostes mit einem Drittel des Bodens per Hand hergestellt, die danach in einem Betonmischer zusammen mit dem restlichen Boden für 20 Minuten gemischt wurde. Der Hälfte dieser Mischung wurde dann der Horndünger hinzugefügt (10 g Dünger pro Gefäß). Auch in diesem Fall auf eine homogene Verteilung im Boden geachtet. Die Horndünger­mischung wurde in einem Mörtelkübel von Hand gemacht. Danach wurde der Boden mit den jeweils zwei Dünge­stufen jeder Kompostvariante in die Gefäße befüllt und aus ca. 10 cm Höhe zweimal auf den Betonboden aufgestoßen, um eine künstliche Bodensetzung zu erzeugen.

## Aussaat und Keimung

Die Aussaat fand am 08.03.2023 statt. In jedes Gefäß wurden 35 Samen des einjährigen Weidelgrases (*Lolium westerwoldicum*) ausgesät. Das Saatgut wurde nur leicht in den Boden eingedrückt und mit einer feinen Quarzsandschicht überdeckt. Nachdem die Gefäße mit 200 ml Wasser angegossen waren, wurden sie mit einer Küchenfolie abgedeckt, um die Feuchtigkeit zu bewahren und das Keimen der Pflanzen zu unterstützen. Sobald die Keimlinge die Folie erreicht hatten, wurde diese entfernt.

## Randomisierung

Bei einem Gewächshausversuch können die Umwelteinflüsse auf die Versuchsgefäße unterschiedlich sein, je nachdem, ob die Wiederholungen am Rand oder in der Mitte des Tisches stehen. Üblicherweise werden, um die Beeinträchtigungen auszugleichen, Randomisierungsgefäße benutzt, die am Rand aufgestellt werden, aber nicht Teil der Auswertung sind. Da die Gewächshaustische eine zu geringe Fläche aufwies, musste ein anderes Vorgehen gewählt werden.

Die Tische standen nah an der hinteren Wand des Gewächshauses. An dieser Kante wurden vier Gefäße pro Tisch platziert. Die anderen Seiten der Tische stehen eher mittig im Gewächshaus. Auch hier sollte eine Randomisierung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wurden die Versuchsgefäße alle zwei Wochen umgestellt. Dabei musste beachtet werden, dass die Gefäße nur innerhalb einer Gruppe ihren Platz wechseln können. Bei der statistischen Auswertung wurde geprüft, inwiefern die Gruppen bzw. die Tische einen Einfluss auf das Ergebnis des Versuchs hatten.

Tab. 2.5.2: Randomisierungsplan nach der Ernte.

Hintere Wand				Hintere Wand			
RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD	RD
NHF-A U3	GBH D1	KSM-A D3	GBH U3	KU	NHF-A U1	KSM-F U2	GBH-D3
NHF-F U4	KSM-A U1	KU	NHF-F D4	KSM-F D3	GBH U2	NHF-A U2	NHF-A D3
NHF-A D4	KSM-F D4	KSM-F U1	NHF-F U3	KSM-F U4	KSM-A D1	KSM-A U2	KD
NHF-F D3	KD	KSM-F D2	NHF-A D2	NHF-F D1	NHF-A D1	KU	KSM-F D1
KSM-A D4	KSM-F U3	KSM-A U4	KD	GBH-D2	KSM-A U3	KSM-A D2	NHF-F U2
KU	GBH-U4	NHF-A U4	GBH D4	NHF-F U1	KD	GBH U1	NHF-F D2

RD: Gefäße für die Randomisierung

## Gießen

Nach dem Entfernen der Schutzfolie auf den Töpfen (17.03.) wurde die Speicherkapazität des eingesetzten Bodens ermittelt. Sie betrug 400 ml je Gefäß. Im Lauf des Versuchs wurde vor jedem Gießen das gesammelte Sickerwasser des Vorgießens wieder in den jeweiligen Gefäße gegossen. Somit konnten die versickerten Nährstoffe zurück zu den Pflanzen gebracht werden, um dadurch einen geschlossenen Nährstoffkreislauf zu erhalten.

Die Wassermenge und die Frequenz des Gießens wurden von der Evapotranspiration der Pflanzen, bzw. von den im Gewächshaus herrschenden Temperaturen beeinflusst. Bis Ende März war kein tägliches Gießen erforderlich und eine Menge von 100 bis 200 ml pro Gießdurchgang war ausreichend. Ab April wurde häufiger gegossen und auch größere Wassermengen gegeben (200-300 ml); ab Mai war das Gießen jeden Tag notwendig.



Abbildung 2.5.1 Bestandsbild 09.05.2023 mit Datenlogger-Aufhängung (Foto: Gelin)



Abbildung 2.5.2 Bestandsbild 12.05.2023 (Foto: Gelin)

Da das Betreten des DLR Geländes nur an den Werktagen möglich war, konnte an Wochenenden und Feiertagen nicht gegossen werden. Daher war ein Wasserstress der Pflanzen nicht zu vermeiden.

Die Temperaturen im Gewächshaus erreichten Ende Mai durchschnittlich 30 °C aber auch Maximalwerte von über 40 °C (Abb. 2.5.6) traten auf. Die nachfolgenden Bilder zeigen den Zustand des Versuches am 30. Mai nach dem verlängerten Pfingstwochenende; Pflanzenschädigungen waren deutlich zu erkennen.



Abbildung 2.5.3 Bestandsbild 30.05.2023 nach drei Tagen ohne Wasserversorgung (Foto: Gelin)



Abbildung 2.5.4 Bestandsbild am 05.06. 2023, fünf Tage nach der Ernte mit erholtem Pflanzenbestand (Foto: Gelin)

Wegen des trockenen Zustands des Aufwuchses wurde die für den 03. 06. geplante Ernte um ein paar Tage auf den 30.05. vorverlegt. Das etwas intensivere Gießen nach der Ernte ermöglichte, dass die Pflanzen in einem guten Zustand nachwuchsen.

### **Temperaturregulierung**

Die Temperaturregulierung wurde zu Beginn des Versuchs anhand der Dachfenster des Gewächshauses vorgenommen. Im März blieb das Gewächshaus über Nacht zu, um zu niedrige Temperaturen im Gewächshaus zu vermeiden. Ab Anfang April blieben die Fenster ständig geöffnet. Die höheren Temperaturen ab Mai führten dazu, dass die Belüftung durch die Dachfenster nicht mehr ausreichend war. Am 24.05. wurde ein Schattiernetz über die Versuchstische gespannt, um die Intensität der Strahlungen über den Pflanzen zu verringern und auch die Temperatur in diesem Bereich abzusenken. Gleichzeitig wurden zwei gegenüberliegende Wände abgebaut, um eine konstante Belüftung quer über die Töpfe zu ermöglichen.



Abbildung 2.5.5 Netzaufhängung am 24.05.2023 (Foto: Gelin)

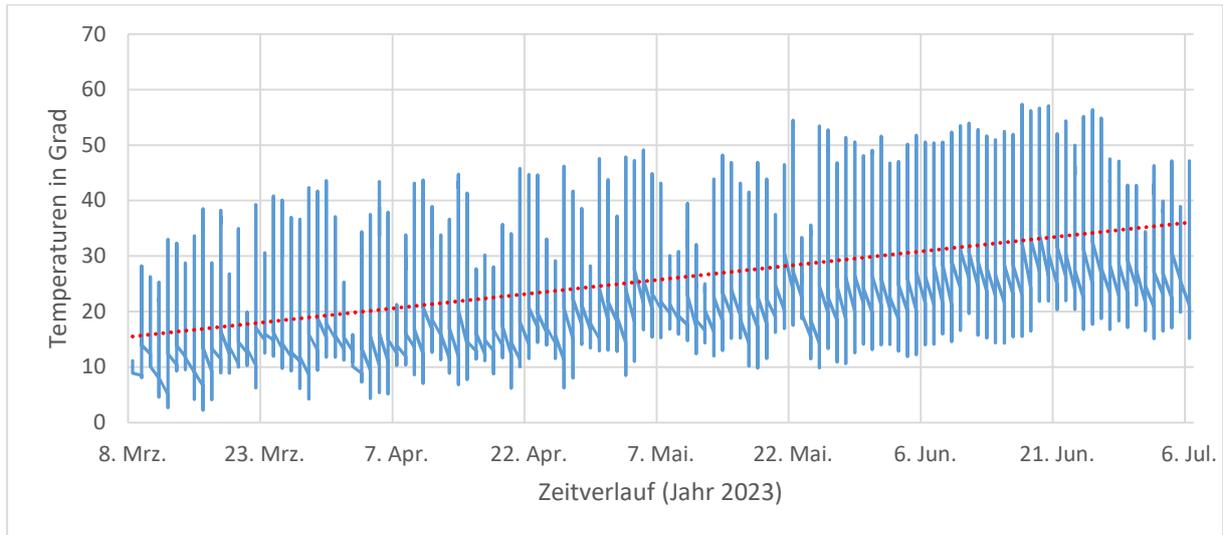


Abbildung 2.5.6 Temperaturlaufzeichnung von der Aussaat bis zur letzten Ernte, in Rot: durchschnittlichen Temperaturentwicklung

In Abb. 2.5.6 ist deutlich zu sehen, dass die Belüftung ab Ende Mai nicht mehr ausreichend war um Temperaturstress für die Pflanzen zu vermeiden. Ab Juni lagen die Temperaturen deutlich über dem Bereich, in dem Pflanzen ein stressloses Wachstum möglich ist. Langfristige Temperaturen zwischen 25 und 30 C führen zu einem verlangsamten Wachstum. Über 30 C traten Schäden an Blättern auf und die Wurzelentwicklung wurde gehemmt.

### Unkrautregulierung

Die Anwendung eines nicht sterilisierten Praxisbodens führte zum Wachstum von Unkraut in den Versuchstöpfen. Die Entfernung der Unkräuter im Keimblattstadium wurde vor jedem Gießen vorgenommen, um die Konkurrenz um Stickstoff und Wasser mit dem Weidelgras zu vermeiden.

Eine Dämpfung des Bodens vor der Anwendung hätte die Unkrautsamen entfernt, aber gleichzeitig zu der Freisetzung von im Boden vorhandenen Nährstoffen und einer Abtötung von Mikroorganismen geführt. Die Vorgabe unter Praxisbedingungen zu arbeiten, wäre dadurch nicht mehr erfüllt worden.

### Ernte und Probevorbereitung

Wie geplant, wurden bei diesem Versuch drei Ernten erzielt. Die erste Ernte fand am 02.05.2023, also drei Wochen nach der Aussaat statt. Die zwei weiteren Ernten wurden am 30.05.2023 und am 04.07.2023 durchgeführt.



Abbildung 2.5.7 Erste Ernte des Gefäßversuchs am 02.05.2023 (Foto: Gelin)

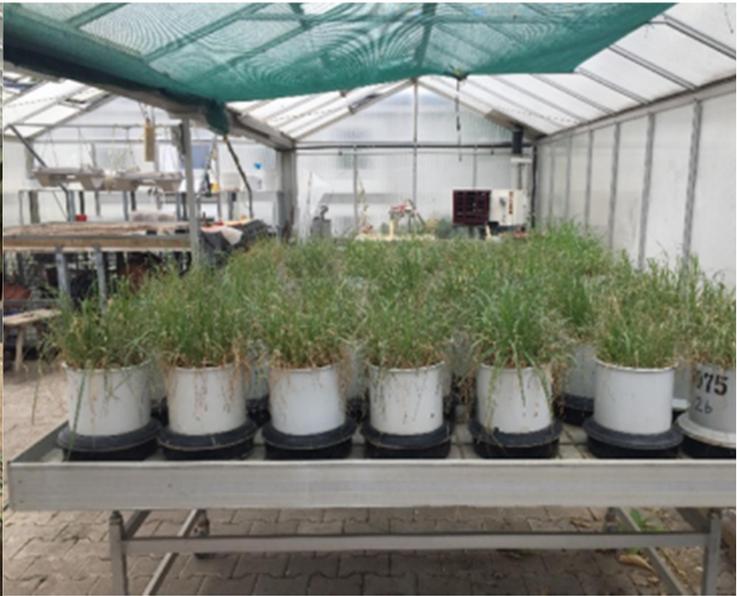


Abbildung. 2.5.8 Bestandbild am 28.06.2023 unter Wasserstress (Foto: Gelin)

Das Erntegut eines jeden Gefäßes wurde in einem Aluminiumschälchen gefüllt und als Erstes die Frischmasse erfasst. Dann wurden die Proben in einem Trockenschrank bei 105°C, 48 Stunden lang getrocknet und anschließend die Trockenmasse gewogen. Wegen der steigenden Temperatur und den sehr begrenzten Kühlmöglichkeiten des Gewächshauses wurde entschieden am 04.07. die letzte Ernte zu durchzuführen und das Projekt zu beenden. Ein Wachstum des Weidelgrases war unter den gegebenen Temperaturbedingungen nicht mehr möglich.

### **Wasserkapazität**

Im Versuch sollte geprüft werden, ob die maximale Wasserkapazität durch die Ausbringung von Kompost verbessert werden kann, d.h. inwiefern die Anreicherung des Bodens mit organischem Material zu einer erhöhten Wasserbindung führt.

Dafür wurde pro Kompostvariante ein Gefäß mit Kompost und ein Gefäß nur mit reinem Bodenmaterial verglichen. Diese Gefäße wurden, bis auf die Aussaat, wie oben beschrieben vorbereitet. Für die Bestimmung der Wasserkapazität wurden vier Stechringen von 100 cm<sup>3</sup> pro Gefäße benutzt. Im Voraus wurde jeder Stechring leer gewogen (Tara), bevor sie in den ungestörten Boden des Mitscherlich-Gefäßes hineingesteckt wurden. Dann wurde jedes Substrat mit Wasser übersättigt, indem an mehreren Tagen und vor allem kurz vor der Analyse so viel gegossen wurde, bis das Wasser aus dem Gefäß austrat. Dabei ist es wichtig, dass das Gesamtporensystem mit Wasser gefüllt wird. Nun wurden die Stechringe vorsichtig herausgezogen. Der untere Teil des Stechringes wurde mit einem Filter verschlossen, um die Probe austropfen zu lassen, ohne dabei Substrat zu verlieren.

Das Gewicht des wassergesättigten Bodens wurde ermittelt, die Probe bei 105 C 48 Stunden getrocknet und anschließend die Trockenmasse erfasst. Durch die Trocknung bei 105 C wird das im Porensystem gebundene Wasser ausgetrieben. Festeres gebundenes Wasser gehört definitionsgemäß zum Substanzvolumen. Mit dem Wasservolumen, das durch die Trocknung verloren ging, kann man bestimmen, wie viel Wasser der Boden in den Mittelporen speichern kann. Dieses Wasser steht den Pflanzen zur Verfügung.

Aus den vier Proben pro Kompostvariante wurde ein Mittelwert berechnet, der für die Interpretation der Ergebnisse herangezogen wurde.

## 2.6 AP 6 - Betriebswirtschaftliche und Arbeitswirtschaftliche Untersuchung

Um Aussagen zur Betriebswirtschaft und zur Arbeitswirtschaft treffen zu können war es erforderlich die Aufwands- und Kostenstruktur sowie den Arbeitszeitaufwand der einzelnen Schritte der Kompostierung zu erfassen.

Um den mit der Kompostierung einhergehenden Aufwand zu erfassen, ist es erforderlich eine definitorische Abgrenzung vorzunehmen, mit welchem Schritt die Kompostierung beginnt und mit welchem Schritt die Kompostierung endet.

Dabei sind zwei unterschiedliche Ausgangssituationen zu berücksichtigen:

1. Auf den Betrieben fallen Reststoffe (z.B. Mist) an, die üblicherweise auch ohne eine Kompostierung gelagert, verladen und auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Somit können diese Arbeitsschritte nicht dem Aufwand für die Kompostierung zugeordnet werden, da lediglich der Mehraufwand zu erfassen und zu kalkulieren ist.
2. Auf den Betrieben fallen keine Reststoffe an. Die Materialien zu Kompostierung stammen aus pflanzlicher Biomasse (z.B. Klee gras), die aus fruchtfolgetechnischen Gründen angebaut werden und ansonsten üblicherweise entweder auf der Fläche verbleiben oder gemulcht werden. In diesem Fall ist der Mehraufwand zu erfassen, der mit der Kompostierung einher geht (Mähen, Wenden, Bergen mit Ladewagen sowie Ausbringung des Materials)

Im Projekt VELKO wurden gemäß diesen Vorgaben wie folgt vorgegangen:

- Dokumentation der Mengen bzw. Volumina der Ausgangsmaterialien sowie der fertigen Kompostmengen (Volumenschwund)
- Beschreibung und Dokumentation der Arbeitsgänge
- Erfassung des Zeitaufwands der einzelnen Arbeitsgänge; Ergänzung dieser Angaben durch Standardwerte des KTBL bei fehlender Datenerfassung
- Zuordnung der Kosten anhand der KTBL-Datensammlung

Eine Bewertung des Nutzens der Kompostierung war nicht möglich, da der Nutzen der Kompostanwendung in vielerlei Hinsicht nur schwer zu erfassen ist. Da sich sowohl aus dem in Kap. 2.5.2 beschriebenen Gefäßversuch als auch aus der einschlägigen Literatur keine kurzfristigen Düngeeffekte der Kompostierung ableiten lassen, können nur langfristig durchgeführter Praxisversuche entsprechende Ergebnisse liefern.

Neben dieser pflanzenbaulich bezogenen Nutzenfrage gibt es weitere Effekte der Kompostierung, die nur schwer ökonomisch zu erfassen bzw. zu bewerten sind:

- Änderung des Humusgehalts
- Änderung der Wasserhaltekapazität der Böden
- Änderung der Schadstoff- bzw. Schadgasaustritte
- Auswirkung auf die Grundwasserqualität
- Phytosanitäre Wirkungen des Komposteinsatzes
- Auswirkung des Komposteinsatzes auf die Lebensmittelqualität

Daher musste sich die ökonomische Betrachtung auf den Teilbereich „Kosten“ der Kompostierung beschränken, da die genannten Effekte im Rahmen des VELKO-Projekts nicht quantifizierbar waren.

### 2.6.1 Methodisches Vorgehen

Grundsätzlich stellte sich bei dem Projekt die Frage auf welcher Basis der Kompostmengen, die zum Einsatz kamen, quantifiziert werden konnte.

#### **Erfassung der Kompostmengen auf Basis der Gewichte**

Dieser Ansatz wurde aus folgenden Gründen verworfen:

Insgesamt lagen erhebliche Schwankungen der Raumgewichte vor (siehe Anhang 9.5). Einflussfaktoren hierfür waren

- Unterschiedliche Lagerungsdichte
- z.T. stark schwankende Wassergehalte
- Witterungs- und jahreszeitliche Einflüsse auf die Raumgewichte sowie
- Schwierigkeiten bei der Erfassung der Raumgewichte.

Zu Projektbeginn wurde von der Hypothese ausgegangen, dass auf den beteiligten Betrieben durch die Wiegung der Kompostmenge in einer Frontladerschaufel unter Praxisbedingungen eine volumenbezogene Gewichtsermittlung möglich sei.

#### **Ermittlung des Raumgewichts unter Praxisbedingungen**

Am 12. Oktober 2022 wurde an der Miete GBH/2022/17/2 mittels der Fliegl-Frontladerwaage eine Verwiegung des Komposts vorgenommen.



Abbildung 2.6.1 Frontladerwaage (Foto: Zerger)



Abbildung 2.6.2 Einwiegen der definierten Volumenmenge (Foto: Zerger)

An dem Wiegeadapter war eine Frontladerschaufel mit einem Volumen von 0,28 m<sup>3</sup> befestigt. Mit der Schaufel wurden insgesamt 12 Wiegungen vorgenommen; das Material hierfür wurde an unterschiedlichen Stellen der Miete entnommen.

Die Wiegungen ergaben folgende Ergebnisse:

Tabelle 2.6.1 Übersicht Inhalt Frontladerschaufel

	Gewicht	Raumgewicht
Nr.	(kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
1	115	411
2	122	436
3	99	354
4	78	279
5	50	179
6	42	150
7	54	193
8	51	182
9	54	193
10	57	204
11	91	325
12	80	286
	<b>Mittelwert:</b>	<b>266</b>
	<b>Standardabweichung:</b>	<b>97</b>

Insgesamt ist festzustellen, dass die Messungen sehr starken Schwankungen aufweisen, da sowohl die Materialzusammensetzung als auch die Feuchteverteilung innerhalb der Miete sehr unterschiedlich waren, obwohl das Ausgangsmaterial einheitlich war und die Miete zudem 4 mal umgesetzt wurde.

Die Frontladerwaage wurde auf drei Betrieben unter Praxisbedingungen getestet, wobei die Schwankungen sowohl zwischen den Betrieben als auch innerhalb der einzelnen Betriebe festzustellen waren. Es zeigte sich, dass die Geländesituation (Hangneigung) sowie Unebenheiten in der Bodenoberfläche das Messergebnis beeinflusste.

Diese Messreihe lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Messung des Raumgewichts einer Kompostmiete mit großen Schwankungen einhergeht, so dass diese Messungen keinen verlässlichen Rückschluss auf das Gesamtgewicht einer Miete zulassen. Daher wurde nach dem Probedurchgang darauf verzichtet, eine Gewichtsermittlung mit der Frontladerwaage durchzuführen.

### **Erfassung der Mietenvolumina:**

Bei den in VELKO angelegten Mieten handelte es sich – bezogen auf den Mietenquerschnitt) stets um sog. Dreiecks-Mieten, die jedoch nie exakt einem Dreieck entsprachen, da je nach Material und Gegebenheiten (z.B. Feuchtegehalt) die Formen der Mieten variierten.

Bei den Mieten wurden folgende Größen erfasst:

- Länge der Miete (L)
- Breite der Miete (B)
- Höhe der Miete (H)

Während die Länge sowie die Breite der Miete während des Kompostierungsprozesses weitgehend unverändert blieben, war in erster Line eine kontinuierliche Schrumpfung der Mietenhöhe festzustellen.

Um die Mietenhöhe zu ermitteln, wurde über mehrere Messungen je Miete (mittels Latte und Wasserwaage) ein Mittelwert der Mietenhöhe ermittelt.

Das Mietenvolumen wurde berechnet anhand der Formel:  $L * B/2 * H$  (m<sup>3</sup>)

### **Arbeitszeiterfassung**

Die Erfassung des Arbeitszeitbedarfs für die Kompostierung ergibt sich aus der Summe der einzelnen Arbeitsschritte.

Dabei wurde unterschiedlich vorgegangen:

Bei dem Einsatz des Umsetzers wurde durch den Fahrer sowohl der eigentliche Arbeitszeitbedarf für die Fahrten mit dem Umsetzer als auch die s.g. Rüstzeiten erfasst. Hinzu kamen die Zeitaufwendungen für die Transportfahrten zu den Betrieben bzw. zum Feld.

Neben diesen unmittelbaren Arbeitszeiterfassungen erfolgte ansonsten durch den jeweiligen Betriebsleiter eine Beschreibung und Dokumentation der erfolgten Arbeitsschritte sowie eine Beschreibung der eingesetzten Maschinen. Auf dieser Grundlage wurden die Arbeitszeitbedarfe sowie die Maschinenkosten anhand der KTBL-Datensammlung abgeleitet.

Schwer zu erfassen war jedoch der allgemeine Zeitaufwand, der für die Kompostierung bei den Landwirten anfiel, da dieser Aufwand „zwischendurch“ anfiel und nicht genau erfasst wurde; die gilt für die folgenden Bereiche:

- Überprüfung der Temperaturen bzw. der Temperaturverläufe in den Mieten
- Kontrolle der Vliesabdeckungen und ggf. Nachjustieren der Abdeckung
- Zeitaufwand für Beschaffung und Koordination externer Dienstleistungen (z.B. Lohnunternehmer für die Ausbringung, Anlieferung von Inputmaterialien, ...)
- Probenahme und Interpretation der Analyseergebnisse
- Klärung rechtlicher Fragen zur landwirtschaftlichen Kompostierung

## **2.7 AP 7 Zusammenfassende Systembeschreibung und Praxisumsetzung**

Um aus dem Projekt VELKO Aussagen und Empfehlungen zu weitgehend standardisierten landwirtschaftlicher Kompostierung und der möglichen Vorgehensweisen bei der Umsetzung in die Praxis liefern zu können, waren keine speziellen Schritte bei der Durchführung erforderlich. Vielmehr han-

delt es sich bei dem AP\_7 um eine Analyse sowie entsprechenden Schlussfolgerungen, die in den Kap. 3.7 sowie in Kap. 4.1 dargestellt sind.

## 2.8 AP 8 Wissenstransfer/Veröffentlichungen

Da erst zum Projektende der überwiegende Teil der Ergebnisse aufbereitet werden konnte, konnten die Resultate während der Projektlaufzeit nur sehr eingeschränkt veröffentlicht werden.

Im April 2022 erschien auf der Internetseite des KÖL (Bad Kreuznach) ein Beitrag von Nadine Ossowski (KÖL) „Schulung zur landwirtschaftlichen Kompostierung im Rahmen des EIP-Projektes "Verbund landwirtschaftliche Kompostierung (VELKO)"

<https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/ALL/D64E02C49048E78AC12588240038A769?OpenDocument>

Zu den Öko-Feldtagen 2023 wurde das Praxisblatt\_EIP-Agri\_RLP\_VELKO vorgestellt, das die wesentlichen Eckdaten des Projektes beschreibt. Weitere Veröffentlichungen sind für die Zeit nach dem Projektende geplant.

### 2.8.1 Schulungen und Informationsveranstaltungen

Folgende Veranstaltungen wurden im Rahmen des VELKO-Projekts durchgeführt

- VELKO interne Schulungsmaßnahme "**Beurteilung der Qualität des Rotteprozesses und der Kompostqualität**" am **02.03.2022** in Tiefenthal (Pfalz) gemeinsam mit dem KÖL (DLR). Im Rahmen der Veranstaltung wurden die beteiligten Landwirte geschult, wie die korrekte Probenentnahme zu erfolgen hat und wie die Kompostqualitäten zu beurteilen sind. An dieser Schulungsmaßnahme nahmen die 6 Landwirte (Mitglieder der OG) sowie insgesamt 15 externe TeilnehmerInnen teil.
- VELKO-Fachinformationsveranstaltung „**Landwirtschaftliche Kompostierung im ökologischen Landbau**“ am 10. Februar 2023 in Tiefenthal (Pfalz) gemeinsam mit dem KÖL (DLR). Themen waren die Grundlagen der Kompostierung, Beurteilung der Kompostqualität, Projektpräsentation VELKO sowie Besichtigung der Praxismieten auf dem Nackterhof; an der Veranstaltung nahmen 40 TeilnehmerInnen teil.
- Fachinformationsveranstaltung „**Grüngut- und Biogutkomposte: Wichtige Betriebsmittel für den ökologischen Weinbau und Ackerbau**“ am 15. März 2023 am DLR in Oppenheim; Mitveranstalter war die Regionale Gütegemeinschaft Kompost Südwest e.V. Themen waren die Grundlagen der Kompostierung, gesetzliche Regelungen und Richtlinien, Kompostanwendung sowie die Besichtigung der Anlage zur Grüngutkompostierung der Stadt Worms; an der Veranstaltung nahmen 80 TeilnehmerInnen teil.
- Abschlussveranstaltung „**Perspektiven der landwirtschaftlichen Kompostierung**“ **Erfahrungen aus dem EIP-Projekt VELKO** am 31. Oktober 2023 in Tiefenthal gemeinsam mit dem KÖL (DLR); an der Veranstaltung nahmen 31 TeilnehmerInnen teil.

An folgende Veranstaltungen wurde das VELKO Projekt einbezogen und vorgestellt:

- Workshop zu Kompostierung Im Rahmen der **16. Wissenschaftstagung** Ökologischer Landbau, die vom 8. bis 10. März 2023 auf dem Campus des FiBL Schweiz in Frick stattfand.
- Vortrag zum Projekt VELKO im Rahmen des Kompostforums auf den **4. Öko-Feldtage**, die im Juni 2023 auf dem Gladbacherhof (Versuchsbetrieb der Uni Gießen) stattfanden.
- Vorstellung des Projekts VELKO am 29. November 2022 auf der **EIP-Projektbörse** in Mainz, die durch das IFLS (Innovationsdienstleister für EIP-Agri in Rheinland-Pfalz) durchgeführt wurde.
- Workshop zu Kompostierung Im Rahmen der **17. Wissenschaftstagung** Ökologischer Landbau, die vom 5. bis 8. März 2024 in der Justus-Liebig-Universität in Gießen stattfand.

## 2.8.2 Gespräche mit kommunalen Kompostierern

Im Projektverlauf ergaben sich Kontakte zu kommunalen Kompostierern, um Fragen zur Kompostqualität sowie zur regionalen Versorgung mit gütegesicherten Komposten erörtern zu können. Darüber hinaus ging es um die Frage, ob bzw. unter welchen Voraussetzungen kommunales Grüngut (Grün- und Baumschnitt) der landwirtschaftlichen Kompostierung zugeführt werden könnte.

In diesem Zusammenhang fanden folgende Termine statt:

### **Gespräch mit der Kreisverwaltung Donnersbergkreis am 22. September 2022**

mit Abteilungsleiter Abfallwirtschaft zum Thema: Einsatzmöglichkeiten für kommunales Grüngut für die landwirtschaftliche Kompostierung

Ausgangssituation: Nach Aussage der SGD betreiben 8 von 10 Landkreisen derzeit Grüngutsammelplätze, die nicht nach Emissionsschutzrecht genehmigt sind. Somit bestand zum damaligen Zeitpunkt offensichtlich eine Duldungssituation seitens der SGD („Grauzone“). Der Donnersbergkreis ging somit davon aus, dass diese Situation kurz- bis mittelfristig fortgeführt werden könne, so dass auf den vorhandenen Plätzen ein Schreddern des Grünguts vorerst fortgesetzt wurde.

Der Kreis verhandelte zu dieser Zeit mit der Agrinom GmbH (Tochtergesellschaft des örtlichen Maschinenrings) über eine Fortführung der bestehenden Verträge, da die Agrinom der Betreiber der Plätze ist. Ggf. sollte nach Vorstellung der Kreisverwaltung die Agrinom zukünftig auch Ausbringer/Verwerter des Materials sein. Zudem verhandelte die Kreisverwaltung mit der Agrinom sowie der SGD darüber, ob es eine Ausnahmegenehmigung für die Agrinom geben könnte, wonach das Material ohne Hygienisierung direkt ausgebracht werden könnte.

Der Abteilungsleiter äußerte die Hoffnung, dass die Biobetriebe in dieser Konstellation eine definierte Menge des Materials für die Kompostierung würden abnehmen können; da in diesem Fall durch die Kompostierung letztlich eine Hygienisierung der Materials erfolgen würde.

### **Besuch Kompostieranlage Brunnenhof, Biebesheim am 12. Juli 2022**

Auf der Anlage werden jährlich 15.000t Bioabfälle aus kommunaler, getrennter Sammlung und Grünabfälle kompostiert. Die Grünabfälle werden vor Ort von Privatleuten und Gewerbe angeliefert. Die

Annahme wird durch Betriebspersonal beaufsichtigt. Beide Komposte sind nach Augenschein von sehr guter Qualität, d.h. sie weisen wenig Störstoffe auf. Der Grüngutkompost ist biozertifiziert und kann auf Verbandsbetrieben (Bioland, Naturland) eingesetzt werden.

Die Kompostierung des Bioabfalls erfolgt in eigenkonstruierten Trommeln und dauert 3 Wochen. Störstoffe werden per Siebung entfernt. Die Nachrotte erfolgt in Trapezmieten auf der Kompostierplatte. Der Siebüberlauf geht in die Verbrennung. Der Bioabfallkompost ist nicht biozertifiziert, würde aber nach Aussage des Betriebsleiters die Ansprüche fast immer erfüllen.

Das Grüngutmaterial wird getrennt vom Bioabfall kompostiert. Die Mieten werden mit dem Radlader umgesetzt und dabei bewässert. Bei Bedarf kann die aufgesetzte Miete von oben bewässert werden, so dass eine zügige Rotte gewährleistet ist. Die Absiebung erfolgt normalerweise auf 25-30 mm, es kann aber auch auf 20 mm bei Bedarf abgesiebt werden. Der Siebüberlauf geht in die Kompostierung des Bioabfalls. Der Kompost wird an regionale, landwirtschaftliche Betriebe abgegeben. Die Nachfrage ist groß.

Der Betriebsleiter äußerte die Möglichkeit bzw. Option, sich an dem Aufbau einer Grüngutkompostierung auf der rheinlandpfälzischen Rheinseite finanziell beteiligen zu können. Herr Geipert erklärte sich bereit, zwei interessierte Landwirte in der Region unterstützen, die eine Grüngutkompostierung auf ihren Betrieben aufbauen wollen.

#### **Gespräch mit Leiter Abfallwirtschaft des Landkreises DÜW, Hr. Lache am 12. Juli 2022**

12.000t Grüngut werden auf den Grüngutsammelstellen des Landkreises DÜW gesammelt, davon haben 3 Stellen ca. 60% des Materialaufkommens. Der übrige Grünschnitt kommt von 30-40 kommunalen Stellen, die auch Friedhofsabfälle erfassen. 2022 wurde das gesammelte Material noch an zwei Unternehmen abgegeben. Dafür zahlt der Landkreis ca. 40€/t. Herr Lache plant die Kompostierung in Eigenregie zukünftig durchzuführen. Ein erster Kompostierdurchgang hat am Standort Friedelsheim stattgefunden, das Material, ca. 300t, wurde von örtlichen Winzern abgenommen.

In Friedelsheim steht eine befestigte Fläche (1000qm) zur Verfügung, die jedoch nicht für die gesamte Grüngutmenge ausreicht. Geeignete Flächen werden gesucht.

Das geschredderte Grüngut wurde unter zweimaligem Umsetzen 12 Wochen kompostiert. Bisher gab es kein Wassermanagement, keine Abdeckung der Miete. Sickerwasser wurde aufgefangen und rückverrieselt. Eine weitere Wasserzufuhr hat nicht stattgefunden, daher war das Material sehr trocken. Das RAL-Gütezeichen wird angestrebt, dafür würden Kosten in Höhe von ca. 1€/t anfallen. Die Kosten für die Kompostierung dürfen 50€/t Grüngut nicht übersteigen, damit die Verwertung in Eigenregie stattfinden kann.

Herr Lache sieht die Möglichkeit Strukturmaterial für das VELKO-Projekt aus der Absiebung seines Kompostes aus der bestehenden Miete kostenlos zur Verfügung zu stellen (Siebüberlauf). Das Material wäre hygienisiert, hat aber einige Störstoffe, da Friedhofsabfälle mit kompostiert wurden. Eine Absiebung soll auf 20-25 mm erfolgen, der Überlauf könnte abgegeben werden.

**Gespräche mit dem Frau Anja Näpfel (Abteilungsleitung beim Abfallwirtschaftsbetrieb der Stadt Worms) am 16. März 2022 sowie am 14 Juli .2022**

Die Kompostanlage der Stadt Worms (EBWO) wurde Mitte der 90er Jahre errichtet und hat eine Kapazität von ca. 30.000 m<sup>3</sup> p.a.; insgesamt machte die Anlage einen ordentlichen Eindruck und die Qualität der Anlieferung wird durch Personal überwacht.



Abbildung 2.8.1 Grüngutannahme EBWO (Foto: Zerger)



Abbildung 2.8.2 abgeseibter Kompost EBWO (Foto: Zerger)

Der Kompost wird in erster Linie durch die Anlieferungsgebühr finanziert (16 €/m<sup>3</sup>); der fertige Kompost wird bei einer Menge > 500 m<sup>3</sup> zu einem Preis von 2,00 €/m<sup>3</sup> abgegeben (mit 0/40 Siebung). Der Grüngutkompost verweilt i.d.R. ca. 5 Monate auf der Anlage und wird 5 – 6mal umgesetzt.

Der Betrieb sucht neue Abnehmer für den Kompost, da der bisherige Absatz über ein großes Erdenwerk im vergangenen Jahr kurzfristig aufgekündigt wurde. Der Betrieb hat das Potential, einen Kompost nach Bioland/Naturland-Standard erzeugen zu können.

Mittlerweile (Stand März 2024) hat sich der Abfallwirtschaftsbetrieb dem BGK-Gütesicherungssystem angeschlossen und beliefert Landwirtschafts- und Weinbaubetriebe in der Region.

### 3 Ergebnisse und Zielerreichung

#### 3.1 AP 2- Beratung der Betriebe und Planung der Kompostierung

##### 3.1.1 Beratung der Betriebe

Wie in Kap. 2.2 beschrieben, erfolgte bei den teilnehmenden Betrieben zu Projektbeginn eine Bestandsaufnahme zu den Rahmenbedingungen für die Umsetzung einer gesteuerten Feldrandkompostierung. Die Ergebnisse dieser Bestandsaufnahmen sind auf den folgenden Seiten in tabellarischer Form zusammengestellt (s. Tabelle 3.1.1 bis Tabelle 3.1.5).

Tabelle 3.1.1 Bestandsaufnahme Nackterhof (NHF): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung

<b>Name Betrieb:</b>	<b>Nackterhof (NHF)</b>
<b>Rohmaterialien/ Mengen</b>	<b>Bezeichnung des Materials:</b> <b>Mengenaufnahme:</b> Pferdemist strohreich                  ca. 1.000-1.400 m <sup>3</sup> Klee gras    --
<b>Fazit hinsichtlich Kompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, C-/N-Verhältnis: ungünstig/zu weit</li> <li>• Wasser: ungünstig (zu trockenes Material)</li> <li>• Struktur: bei kurzen Rottezeiten gut, bei längeren Rottezeiten nicht ausreichend</li> </ul>
<b>Aktuelle Schwachstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Grünmassen zum „Anheizen“ der Rotte und auch als Wasserzufuhr.</li> <li>• Punktuell ggf. zusätzlicher Strukturbedarf</li> </ul>
<b>Optimierungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zufuhr von Grünmasse zum „Anheizen“ - zumindest im geringeren Umfang (20- 30 Vol.-%) – unabdingbar.</li> <li>• Bei o. g. Pferdemistmengen: Bedarf von ca. 300 m<sup>3</sup> „Grünmasse“.</li> <li>• entweder Futter-/Mistaustausch mit Luzerne der Bio-bauern Biedesheim oder Gemüseabfällen von Hof Morgentau.</li> <li>• oder 2 ha LN aus der Marktfruchtfolge heraus nehmen um Klee gras/Luzernegras für die Kompostierung anzubauen.</li> <li>• Kostenüberschlag ergab für alle 3 Varianten: Aufwendungen von 2.000-3.000 € (muss präziser berechnet werden). Nach Einschätzung Betriebsleiter NHF: Aufwendungen der ersten beiden Varianten eher als nicht ganz so hoch an, da „nur“ eigene Maschinen und Arbeitszeit erforderlich.</li> <li>• Herausnahme LN: Verlust komplette Summe aus Marktfruchtverkauf</li> </ul>
<b>Vorgehen/Kompostierungsrezepturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im ersten Schritt: Klärung mögliche Zufuhr von Grünmasse (s. 3.3.).</li> <li>• Klärung Möglichkeit punktueller Zufuhr Holzhäcksel-</li> </ul>

	<p>Strukturmaterial, z. B. kommunal (?).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Danach Aufsetzen „Optimalvariante“ (s.u.)</li> <li>• Bewässerung über ein eigenes Wasserfass mit schwenkbarem Seitenrohr (Aufsetzen des Materials auf halber Höhe, stark bewässern, danach 2. Schicht mit Frontlader auflegen, danach Umsetzen mit Kompostfräse).</li> <li>• Andere Variante: Ausleihe größeren „alten Milchtankwagen“ vom Nachbarn</li> </ul>
<b>Versuchsvarianten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Optimal“: ca. 60 Vol.-% Pferdemist, 25 Vol.-% Luzernegras und 15 Vol.-% Holzhäcksel; - sofern kein Bezug von Holzhäcksel möglich: Mischung 70 Vol.-% Pferdemist + 30 Vol.-% Luzernegras/Klee gras). - frühzeitiges Abdecken zur Schonung Wasservorräte</li> <li>• „Standard“: 100 Vol.-% Pferdemist - ggf. mit höherer Bewässerungs- und Umsetzintensität.</li> </ul>
<b>Anmerkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pferdemist-Anfall entsprechend Stallhaltung hauptsächlich Herbst-/Winter.</li> <li>• Dementsprechend Leerung Festmistplatte im Winter ca. alle 2 Monate, im Sommer alle 3-4 Monate.</li> <li>• Alternierende Nutzung der beiden Silokammern.</li> <li>• Aufgrund hoher Futternutzung: Klee grasanfall nur in minimalen Mengen oder gar nicht als „Reststoff“ für die Kompostierung.</li> <li>• Derzeitiger Klee grasanbau ca. 11,5 ha (von insgesamt 32 ha Ackerfläche).</li> <li>• Mengenentwicklung beobachten, da ggf. Anpassungen bei Zuschlagmaterialien im Austausch mit den anderen Betrieben erforderlich.</li> <li>• Im Falle von Austausch Pferdemist/Luzerne: „Berechnungsformel“ hierfür entwickeln</li> </ul>
<b>Sonstiges</b>	<p>Bisherige „Rottezeiten auf Feldmiete“ von Nackterhof betragen ca. 6-8 Monate. Probleme mit den Überwachungsbehörden deswegen gab es bislang nicht.</p>

Tabelle 3.1.2 Bestandsaufnahme Kleinsägmüherhof (KSM): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung

<b>Name Betrieb:</b>	<b>Kleinsägmüherhof (KSM)</b>
<b>Rohmaterialien/ Mengen</b>	<p><b>Bezeichnung des Materials:</b>    <b>Mengenaufnahme:</b></p> <p>diverse Festmiste (Tierstreu    ca. 1.000 m<sup>3</sup> / 6.000 dt</p> <p>Hühnermist    ca. 500-1.000 dt</p>
	<p>diverse Pflanzenabfälle    ca. 100 m<sup>3</sup></p>
<b>Fazit hinsichtlich Kompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, C-/N-Verhältnis: okay</li> <li>• Wasser: weitgehend okay</li> <li>• Struktur: evtl. okay, aufgrund hohem Strohanteil</li> </ul>
<b>Aktuelle Schwachstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derzeit v. a. fehlende Möglichkeit Materialmischungen speziell einzustellen: Material muss vom Sammelplatz genommen werden, wie es kommt.</li> <li>• Punktuell könnte Struktur und/oder auch ein „Anheizer“ in Form von Grünmasse (z. B. Klee gras) fehlen, wenn Material schon zu lange lagert und aufgrund bereits erfolgter Rotte an Struktur und organischer Substanz verloren hat.</li> </ul>
<b>Optimierungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ggf. punktuell Strukturzufuhr Holzhäcksel (betriebsintern, kommunale Sammlung) und Klee gras.</li> <li>• Ggf. engere Umsetzintervalle bzw. Umsetzen mit dem Mietenumsetzer über längeren Zeitraum bei gleichzeitig etwas stärkerer Bewässerung, wenn Struktur nicht verbesserbar.</li> </ul>
<b>Vorgehen/Kompostierungsrezepturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prioritär Prüfung, ob mit der „Materialmischung“ – wie sie eben anfällt – erfolgreich gearbeitet werden kann, ggf. mit etwas höher Umsetzintensität (s. o. „Schwachstellen“).</li> <li>• Möglicherweise kann zusätzliche Holzhäckselstrukturierung entfallen. Muss (auch im Hinblick eines einfachen „Erstversuchs“) bezüglich der Ergebnisse der Versuchsvariante im Vergleich zum „Standard“ (s. 4.2) geprüft werden.</li> <li>• Grünmasse als „Anheizer“ könnten eventuell durch anfängliche Bewässerung mit Gülle ersetzt werden.</li> </ul>
<b>Versuchsvarianten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variante 1: Festmist-Mix „wie er anfällt“ ca. 70 Vol.-%, Klee gras ca. 15 Vol.-% (Bezug von Hof Risser oder Bio Bauern Biedesheim, Holzhäcksel ca. 15 Vol.-% (Bezugsquelle noch klären).</li> <li>• Variante 2 (Standard): 100 Vol.-% Festmist-Mix „wie er anfällt“, beim Ansetzen Bewässerung mit Gülle statt mit Wasser.</li> </ul>

<b>Anmerkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aufgrund der besonderen Situation (arbeitswirtschaftlich, Menschen mit Beeinträchtigungen) ist nur komplette gemeinsame Sammlung aller unterschiedlicher Rohmaterialien zur jeweiligen Anfallszeit auf Mistplatte im Betrieb möglich. Sobald diese voll ist, wird das Material wie es kommt ausgefahren und auf Miete gelegt. Spezielle Rohmaterial-Mischungen sind kaum möglich.</li><li>• Falls zusätzliche Holzhäcksel akquirierbar: ggf. Aufbringung auf die liegenden Mieten und Einmischung mit Umsetzer.</li><li>• Klee gras zum „Anheizen des Rotteprozesses“ aus dem eigenen Betrieb nicht vorhanden, wird komplett verfüttert.</li><li>• Klärung: Möglichkeiten einer Integration der Asche aus der Hackschnitzelheizung.</li></ul>
--------------------	---

Tabelle 3.1.3 Bestandsaufnahme BioBauern Biedesheim (BDH): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung

<b>Name Betrieb:</b>	<b>BioBauern Biedesheim (BDH)</b>																
<b>Rohmaterialien/ Mengen</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Bezeichnung des Materials:</b></td> <td><b>Mengenaufnahme:</b></td> </tr> <tr> <td>Luzerne-Grünmasse</td> <td>4.000-8.000 dt</td> </tr> <tr> <td>Festmiste (Rind, Pferd)</td> <td>0-500 dt</td> </tr> <tr> <td>Champost</td> <td>max. 1.000 dt</td> </tr> <tr> <td>Geflügelmist</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Zuschlagstoff Lein/Hanfstroh</td> <td>200-300 d</td> </tr> <tr> <td>Zuschlagstoff Holzhäcksel</td> <td>unklar</td> </tr> <tr> <td>weitere Zuschlagstoffe:</td> <td>nicht besprochen</td> </tr> </table>	<b>Bezeichnung des Materials:</b>	<b>Mengenaufnahme:</b>	Luzerne-Grünmasse	4.000-8.000 dt	Festmiste (Rind, Pferd)	0-500 dt	Champost	max. 1.000 dt	Geflügelmist	--	Zuschlagstoff Lein/Hanfstroh	200-300 d	Zuschlagstoff Holzhäcksel	unklar	weitere Zuschlagstoffe:	nicht besprochen
<b>Bezeichnung des Materials:</b>	<b>Mengenaufnahme:</b>																
Luzerne-Grünmasse	4.000-8.000 dt																
Festmiste (Rind, Pferd)	0-500 dt																
Champost	max. 1.000 dt																
Geflügelmist	--																
Zuschlagstoff Lein/Hanfstroh	200-300 d																
Zuschlagstoff Holzhäcksel	unklar																
weitere Zuschlagstoffe:	nicht besprochen																
<b>Fazit hinsichtlich Kompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, C-/N-Verhältnis: eng bis okay</li> <li>• Wasser: i. d. R. okay</li> <li>• Struktur: defizitär</li> </ul>																
<b>Aktuelle Schwachstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eindeutige Schwachstelle: fehlende Struktur, v. a. wenn viel Luzerne-Grünmasse eingesetzt wird.</li> </ul>																
<b>Optimierungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dringend Klärung der Möglichkeiten der Holzhäckselzufuhr.</li> <li>• Optimierung Zufuhr Strukturträger/Stroh aus Lein + Hanf.</li> <li>• Abgabe von Luzerne gegen Rinder- oder Pferdefestmist (in Futter-/Mistkooperation oder im Kompostierungs-Betriebsaustausch).</li> <li>• Wenn kompatibel mit Betriebszielen später Luzerneschnitt zwecks stärkerer Strukturierung der Grünmasse.</li> </ul>																
<b>Vorgehen/Kompostierungsrezepturen</b>	<p>Bei den vorliegenden Materialmengen folgende ungefähre Rohmaterialmischungen optimal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ca. 50-60 % Luzerne</li> <li>• ca. 10-20 % Rinder-/Pferdefestmist</li> <li>• ca. 10-20 % Leinstroh/Hanfstroh</li> <li>• ca. 10-20 % Holzhäcksel</li> </ul> <p>Damit ist Verarbeitung von ca. 1.600 – 1.700 dt Material möglich, da Mengen der einzelnen Komponenten dafür voraussichtlich vorhanden - zumindest wenn Futter-/Mistkooperation punktuell weiter geführt wird.</p> <p>Insgesamt sind damit nur ca. 1.000 dt Luzerne verarbeitbar, was weit unter den Anfallmengen liegt. Lösungsmöglichkeiten sind begrenzt, müssen aber weiter diskutiert werden. Angefangen von Intensivierung der Futter-/Mistkooperation über zusätzlichen Einsatz von Getreidestroh aus dem Betrieb bis hin zu Holzhäckselimport. Generell gilt Grundsatz „je geringer die Struktur des Rohmaterials, desto öfter muss eine mecha-</p>																

	nische Bearbeitung mit dem Umsetzer erfolgen“.
<b>Versuchsvarianten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variante 1: je ca. 1/3 Rindermist und Luzerne-Grünmasse (derzeit bereits auf Miete liegendes Material) und ca. 1/3 gemischtes Altmaterial vom Kompostplatz.</li> <li>• Aufsetzen mit Weichelstreuer. Ab Herbst umsetzen mit Portalachsumsetzer. Voraussichtlich frühes Abdecken zur Konservierung des Wassers im Material, Entscheidung nach Bonitur beim Aufsetzen.</li> <li>• Variante 2: „Wie immer“ (Altmaterial wird mit restlichen Luzerne-Grünmasse-Material auf gemeinsame Miete gelegt und abgedeckt). Umsetzen mit Kompostfräse ab September.</li> <li>• Variante 3: Diskussion, ob Champost generell separat kompostiert wird: bringt strukturell wenig für das andere Rohmaterial, könnte ggf. etwas Wasser zusätzlich aufnehmen, ist aber von der Menge her eher weniger relevant. Da bereits hygienisiert, ist Kompostierung nicht unbedingt erforderlich. Ggf. im Hinblick auf „Animpfen“ der Mieten vorteilhaft.</li> </ul>
<b>Anmerkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Schwankungen bei Luzerne-Grünmasse aus Saatgutvermehrung aufgrund aktueller Bodenmüdigkeitsprobleme. Verlauf 2022 abzuwarten.</li> <li>• Rindermist nur, wenn Futtermistkooperation mit Luzerne (Pferdemist unregelmäßig). Sommer/Herbst 2021: ca. 300 dt Rindertiefstallmist in KW 25, nach Ernte weitere 200 dt. Zusätzliche Festmiste ab Frühj. 2022 (Menge noch unklar).</li> <li>• Champost-Menge KW 25-26/2021: 500 dt, nach Getreideernte noch einmal 500 dt.</li> <li>• Der Geflügelmist (HTK) soll nach Wunsch des Betriebsleiters nicht in die Kompostierung integriert werden. In Anbetracht der sonstigen Rohmaterialien wird diese Ansicht seitens der externen Berater geteilt.</li> <li>• Lein-Haferstrohmengen stammen von ca. 7,5 ha LN mit angenommener Erntemenge von 30-50 dt pro ha. Leinstroh fällt bereits im August, Hanfstroh erst im Oktober an.</li> <li>• Holzhäcksels können in geringem Umfang aus dem Betrieb, i. d. R. aber aus der thermischen Verwertung von Schwachholz stammen. Mengen noch unklar, ggf. auch weitere Mengen aus dem Siebdurchgang im Falle der Siebung des Häckselgutes vor der thermischen Verwertung. Klärung im Hinblick auf „Abfallstatus“ erforderlich.</li> <li>• Biomassen aus „Ausgleichsmaßnahmen/Flächenpflegemaßnahme fallen i. d. R. ab Spätsommer und vor allem im Herbst an. Mengen sind unklar. Abfallstatus zu klären.</li> </ul>

Tabelle 3.1.4 Bestandsaufnahme Gerbachhof (GBH), Hof Gallé (GAL): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung

Name Betrieb:	Gerbachhof (GBH), Hof Gallé (GAL)																
<b>Rohmaterialien/ Mengen</b>	<table border="0"> <tr> <td><b>Bezeichnung des Materials:</b></td> <td><b>Mengenaufnahme:</b></td> </tr> <tr> <td>Rindermist (Futter-</td> <td>ca. 120 m<sup>3</sup> / 700 dt</td> </tr> <tr> <td>Schafmist</td> <td>ca. 80 m<sup>3</sup> / 400 dt</td> </tr> <tr> <td>Getreidestroh</td> <td>ca. 30 m<sup>3</sup> / 45 dt</td> </tr> <tr> <td>Ausputz</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Holzhackschnitzel</td> <td>ca. 10 m<sup>3</sup> / 25 dt</td> </tr> <tr> <td>Champost</td> <td>ca. 100 m<sup>3</sup> / 600 dt</td> </tr> <tr> <td>Klee gras (komplett von 3 ha)</td> <td>ca. 100 m<sup>3</sup></td> </tr> </table>	<b>Bezeichnung des Materials:</b>	<b>Mengenaufnahme:</b>	Rindermist (Futter-	ca. 120 m <sup>3</sup> / 700 dt	Schafmist	ca. 80 m <sup>3</sup> / 400 dt	Getreidestroh	ca. 30 m <sup>3</sup> / 45 dt	Ausputz	--	Holzhackschnitzel	ca. 10 m <sup>3</sup> / 25 dt	Champost	ca. 100 m <sup>3</sup> / 600 dt	Klee gras (komplett von 3 ha)	ca. 100 m <sup>3</sup>
<b>Bezeichnung des Materials:</b>	<b>Mengenaufnahme:</b>																
Rindermist (Futter-	ca. 120 m <sup>3</sup> / 700 dt																
Schafmist	ca. 80 m <sup>3</sup> / 400 dt																
Getreidestroh	ca. 30 m <sup>3</sup> / 45 dt																
Ausputz	--																
Holzhackschnitzel	ca. 10 m <sup>3</sup> / 25 dt																
Champost	ca. 100 m <sup>3</sup> / 600 dt																
Klee gras (komplett von 3 ha)	ca. 100 m <sup>3</sup>																
<b>Fazit hinsichtlich Kompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, C-/N-Verhältnis: okay bzw. gut einstellbar</li> <li>• Wasser: okay bzw. bei Klee grasintegration gut einstellbar</li> <li>• Struktur: ungenügend</li> </ul>																
<b>Aktuelle Schwachstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Derzeit im Wesentlichen zu geringe Mengen an Strukturmaterial.</li> </ul>																
<b>Optimierungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klärung stärkerer Strukturzufuhr durch mehr Getreidestroh und v. a. ggf. kommunalen Holzhäcksel (Achtung: Abfallstatus klären).</li> </ul>																
<b>Vorgehen/Kompostierungsrezepturen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Optimal</b> hinsichtlich der Rohmaterialien voraussichtlich Mischung aus ca. <b>40 Vol.-% Festmist (Schaf oder Rind), 40 Vol.-%: Klee gras oder Zwischenfrucht-Grünmasse plus 20 Vol.-% Holzhäcksel</b>. Wenn Schafmist sehr trocken, Anteil etwas reduzieren und Klee gras-Anteil leicht erhöhen.</li> <li>• Integration von Champost möglich (in o. g. Mischung Vol.-Anteil von ca. 20 bis 30 %), jedoch nicht zwingend erforderlich (s.a. Protokoll BioBauern Biedesheim).</li> <li>• Aktuell vorliegendes Material: aufgrund der weitgehenden Verrottung separat verwerten.</li> <li>• Beobachten, inwieweit die Verrottung des Holzhäckselanteils während der Kompostierung ausreichend erfolgt (gehacktes Material).</li> </ul>																
<b>Versuchsvarianten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimal-Variante, wie unter Vorgehen beschrieben, Aufsetzen mit Miststreuer. Gesamtmenge ca. 50 m<sup>3</sup>. Abdecken mit Vlies voraussichtlich eher kurzfristig zur Wasserschonung (in Abhängigkeiten von Boniturergebnissen beim Aufsetzen).</li> <li>• „Versuch 1“: je ca. 1/3 Rinderfestmist, Stroh und Klee gras. Gesamtmenge ca. 60 m<sup>3</sup>.</li> <li>• „Versuch 2“: ca. 50 Vol.-% Stroh plus 50 Vol.-% Klee gras (Mietengröße ca. 60 m<sup>3</sup>). Abdecken ggf. erst etwas später, um Wasser aus dem Klee gras zu verdunsten.</li> </ul>																

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restliche Materialien mit Frontlader zu „Miete“ auf-schieben und sofort mit Vlies abdecken.</li> </ul>
<b>Anmerkungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschiedliche Materialanfalltermine im Hinblick auf Kompostierungslogistik prüfen.</li> <li>• Perspektivisch notwendige Kleegrasmenge und Bereit-stellungsmöglichkeiten prüfen.</li> <li>• Gleiches für perspektivisch nutzbare Zwischenfrüchte und Hühnermist.</li> <li>• Klärungsbedarf bezüglich Holzhäcksels-Strukturmaterial aus der kommunalen Sammlung im Ort (Besichtigung Sammelplatz mit positivem Ergebnis: gutes, vielfach hol-ziges Rohmaterial, minimale Verunreinigungen obwohl Sammelplatz unbewacht.</li> </ul>
<b>Sonstiges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobald Liefertermin Umsetzer klar, Diskussionsbedarf bezüglich der Vorgehensweise mit dem „Restmaterial“ nach Versuchsvarianten. Je nach Zeitpunkt und bis dahin erfolgtem Rotteverlauf Prüfung, wie oft die Versuchs-mieten noch umzusetzen sind.</li> </ul>

Tabelle 3.1.5 Bestandsaufnahme Hof Morgentau (HMT): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung

Name Betrieb:	Hof Morgentau (HMT)
<b>Rohmaterialien/ Mengen</b>	<p><b>Bezeichnung des Materials: Mengenaufnahme:</b></p> <p>Gemüseabfälle (Putzabfälle 50 m<sup>3</sup> /Jahr Kartoffeln ngen Mengen Zwiebelabfälle t/Jahr</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuell lagert ein Klee-Grasgemisch (relativ frisch) auf Miete (1 bis 1,5 m hoch, ca. 100 –bis 120 m lang), welches auf einer Umstellungsfläche angebaut wurde. Material war ursprünglich für ein Mulchprojekt gedacht, das nicht bewilligt wurde. Unklar ist, ob der Klee-Grasanbau weitergeführt wird. Aktuell lagerndes Material wäre aufgrund des hohen Grasanteils relativ gut strukturiert. Im Kern herrschen hohe Temperaturen.</li> <li>• In Kürze: aufgrund Erntezeit ca. 8 t Zwiebelabfälle pro Woche.</li> </ul>
<b>Fazit hinsichtlich Kompostierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, C-/N-Verhältnis: eng, bzw. gut einstellbar</li> <li>• Wasser: okay bzw. bei Kleeegrasintegration gut einstellbar</li> </ul>
<b>Aktuelle Schwachstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur Gemüseabfälle ungenügend</li> </ul>
<b>Optimierungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dringend Klärung Strukturzufuhr durch Leinstroh, Miscanthus und/oder Heckenschnitt von den eigenen Flächen, ggf. kommunalen Holzhäcksler oder benachbartem Landschaftsgärtner (Achtung: Abfallstatus klären), ggf. gut strukturiertes Klee gras</li> </ul>
<b>Vorgehen/Kompostierungsrezepturen</b>	<p>Erste orientierende Arbeitsrezepturen für die Zukunft sind (Volumenanteile):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/3 Holzhäcksler/Shredder material , 1/3 Klee-Gras, 1/3 Gemüseabfälle</li> <li>• 20% Gemüseabfälle, 30 % Klee-Gras, 30% Festmist, 20% Holzhäcksler</li> </ul> <p>Endgültige Rezeptur in Abhängigkeit davon,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ob Klee-Grasanbau fortgesetzt wird und wie dessen Struktur und Feuchtigkeit dann sind,</li> <li>• ob ergänzende Rohstoffe in der näheren Umgebung extern organisiert werden können (z.B. Leinstroh, Miscanthus Stroh, Pferdemit, o.ä..</li> </ul>

Der Betrieb Hof Morgentau zog seine Teilnahme am Projekt bereits kurz nach Projektbeginn zurück. Gründe hierfür waren der unverhältnismäßig hohe Aufwand und die Schwierigkeiten, die mit der externen Beschaffung der unbedingt erforderlichen Strukturmaterialien verbunden waren.

Stattdessen stieß 2022 der anerkannte Biolandbetrieb Hof Risser zum Projekt hinzu. Beim ihm besteht ein mengenmäßiger Überhang an Klee gras sowie Rindermist aus Futter-Mist-Kooperationen für die Kompostierung zur Verfügung (siehe dazu Kap. 2.3). Die Rahmenbedingungen für die Kompostierung, insbesondere was den Schwachpunkt fehlende Struktur angeht, sind ähnlich gelagert wie bei den Betrieben GBH, GAL und BDH.

Nachfolgende Tabelle 3.1.6 gibt eine zusammenfassende Einschätzung der Rohstoffe, die bei den am Projekt beteiligten Betrieben anfallen, hinsichtlich ihrer Eigenschaften als Kompostierungsinput.

Tabelle 3.1.6 Einschätzung der Rohmaterialien hinsichtlich ihrer Eignung als Kompostierungsinput

Betrieb	Rohstoffart	C/N-Verhältnis	Struktur	Feuchtigkeit	Verrottungs-möglichkeit	Vorbehandlung
Betrieb 1 (NHF)	Pferdemist (wenig/viel Stroh)	niedrig - mittel (20 - 30)	gut - mittel	feucht - nass	gut - mittel	-
	Zwischenfrüchte (Klee gras, Luzerne)	niedrig (10 - 20)	schlecht	meist feucht	gut	antrocknen/ zerkleinern vorteilhaft
	Holz hackschnitzel	hoch (ca. 100)	gut	mittel - trocken	schlecht	-
Betrieb 2 (KSM)	Mist-Mix (Rinder, Hühner, Pferde, Kälber), mit Stroh- und Hackschnitzelanteilen	niedrig - mittel (20 - 30)	gut - mittel	feucht	gut - mittel	-
	Rindertiefstallmist	niedrig (15 - 20)	mittel	feucht	gut	-
	Grünabfälle	hoch (60 - 100)	gut	feucht - trocken	schlecht	Zerkleinerung erforderlich
Betrieb 3 (BDH)	Zwischenfrüchte (Luzerne frisch, alt)	niedrig (10 - 20)	schlecht	meist feucht	gut	antrocknen/ zerkleinern vorteilhaft
	Champost	niedrig (15 - 20)	mittel	mittel	mittel	-
	Pferde/ Rindermist	niedrig - mittel (20 - 30)	gut - mittel	feucht - nass	gut - mittel	--
	Landschaftspflegematerial	mittel (ca. 30)	mittel	mittel	mittel	zerkleinern vorteilhaft
	Leinstroh	?				zerkleinern vorteilhaft
	Holz hackschnitzel	hoch (ca. 100)	gut	mittel - trocken	schlecht	-
Betrieb 4 (GBH)	Zwischenfrüchte (Klee gras, Luzerne)	niedrig (10 - 20)	schlecht	feucht	gut	antrocknen/ zerkleinern vorteilhaft
	Holz hackschnitzel	hoch (ca. 100)	gut	mittel - trocken	schlecht	-
	Schafmist	niedrig (10 - 20)	mittel	mittel	gut	-
	Hühnerdung	niedrig (ca. 10)	schlecht	feucht - trocken	gut	-
Betrieb 5 (GAL)	Zwischenfrüchte (Klee gras, Luzerne)	niedrig (10 - 20)	schlecht	feucht	gut	antrocknen/ zerkleinern vorteilhaft
Betrieb 6 (RIS)	Zwischenfrüchte (Klee gras, Luzerne)	niedrig (10 - 20)	schlecht	feucht	gut	antrocknen/ zerkleinern vorteilhaft
	Rindermist	niedrig - mittel (20 - 30)	gut - mittel	feucht - nass	gut - mittel	-

Die begleitenden Dokumentationen zur Kompostierung mit Hilfe der zur Verfügung gestellten „Mietenbegleitkarten“ (siehe Anhang 9.8) wurden seitens der Betriebe unterschiedlich wahrgenommen. Seitens der Betriebe, die zu Projektbeginn bereits über Kompostierungserfahrung verfügten, wurden die Formulare in Anspruch genommen und prozessbegleitend ausgefüllt. Auch die Möglichkeit der

telefonischen Kontaktaufnahme, des Austausches und der Beratung wurde von diesen Betrieben am intensivsten genutzt.

Die Untersuchungsergebnisse zu Input-/Output-Materialien wurden nach Übermittlung durch das externe Labor in betriebspezifische und fortlaufend gepflegte Übersichtstabellen eingetragen und von an die Betriebe verschickt. Ggf. aufgetretene Schwachstellen und Optimierungsbedarf wurden im Rahmen dieses Schriftverkehrs ebenfalls aufgezeigt.

Die angebotenen Schulungen zu den Grundlagen der Kompostierung und der repräsentativen Probenahme sowie die Fachinformationsveranstaltungen, bei denen auch externe Teilnehmer\*innen zugelassen waren, wurden von allen Betriebsleitern wahrgenommen.

Im November 2022 wurden den Betrieben die bis dahin vorliegenden Ergebnisse in Form einzelbetrieblicher Berichte übersandt, Schwachstellen identifiziert und Handlungsempfehlungen für die weitere Vorgehensweise gegeben.

## 3.2 AP 3 - Durchführung der Kompostierung

### 3.2.1 Durchführung der Kompostierung / Temperaturverläufe

Ein wesentlicher Aspekt im VELKO-Projekt war die kontinuierliche Erfassung der Mietentemperatur bei einigen ausgewählten Mieten. Die grundsätzlichen technischen Randbedingungen sind bereits in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Mit dem Quanturi-System wurden die Temperaturen u.a. bei folgenden Kompostierungsdurchläufen erfasst:

- NHF/2022/9/6	- <b>NHF/2023/21/12.3</b>	- <b>KSM/2023/15/5</b>
- <b>NHF/2022/22/7</b>	- NHF/2023/21/13	- BDH/2022/21/5
- <b>NHF/2022/22/8</b>	- <b>NHF/2023/21/14</b>	- <b>BDH/2022/21/6</b>
- NHF/2022/43/10.1	- KSM/2022/9/1	- BDH/2023/23/7
- NHF/2022/43/10.2	- KSM/2022/26/3	- BDH/2023/23/8
- <b>NHF/2023/21/12.2</b>	- KSM/202248/4	- <b>RIS/2022/19/2</b>

Auf die farblich hervorgehobenen Temperaturkurven wird in diesem Kapitel etwas genauer eingegangen. Alle vom Quanturi-System bereitgestellten Berichte sind zusätzlich in kompletter Ausführung im Anhang 9.4.

Bei der Interpretation der Temperaturverläufe ist zu beachten, dass der Datenlogger völlig autonom arbeitete, sobald die Basisstation mit Strom versorgt wird. I.d.R. wird der Messwert alle 50 - 60 Minuten abgerufen und gespeichert. Wenn die Temperaturlanze (Sensor) zu diesem Zeitpunkt aufgrund von Arbeiten an der Miete herausgezogen wurde, führte dies zu prägnanten Einbrüchen in den Temperaturverläufen. Derartige Ausschläge deuten daher nicht auf entsprechende Prozesse in der Miete hin. In den Fällen als Helfer zur Verfügung standen und die Sonde wird nur kurzzeitig, z.B. für die

Durchfahrt mit dem Umsetzer, entnommen werden musste, war dieser Eingriff in der Temperaturverlaufskurve kaum zu erkennen.

Bei einigen in diesem Kapitel dargestellten Temperaturverläufen wurden ergänzend die Zeitpunkte der Einsätze des Kompostwenders mit roten Pfeilen markiert. Der erste Pfeil links ist dabei immer die zweite Überfahrt, da die Temperaturmessungen i.d.R. erst nach dem ersten Umsetzen begannen, wenn die Miete messtechnisch etwas „vorbereitet“ waren (dichter, homogener). Somit befindet sich der erste - nicht durch einen Pfeil markierte - Termin des Kompostwenderseinsatzes links außerhalb des Diagramms bzw. vor Beginn der Temperaturaufzeichnung.

Die Temperaturwerte dienen jedoch nur als mittelbare Informationsquelle für die Prozesse in der Miete. Die jeweils gemessene Temperatur gilt nur für den näheren Bereich um die temperatursensible Sondenspitze und nicht zwingend für die gesamte Miete. Inhomogenität der Miete und das natürliche Isolationsverhalten (aerob) führten dazu, dass bereits wenige 10 cm daneben eine andere Situation festzustellen war (siehe Bsp. in Abb. 3.3.1.). Im konkreten Fall war die digital erfasste Temperatur (im Beispiel Bsp. 59 °C) im Abstand von 20 cm nicht mehr gegeben; 1m weiter lag jedoch ein ähnlicher Wert vor. Somit waren umsetzungsträge Zonen unmittelbar neben aktiveren Bereichen festzustellen.

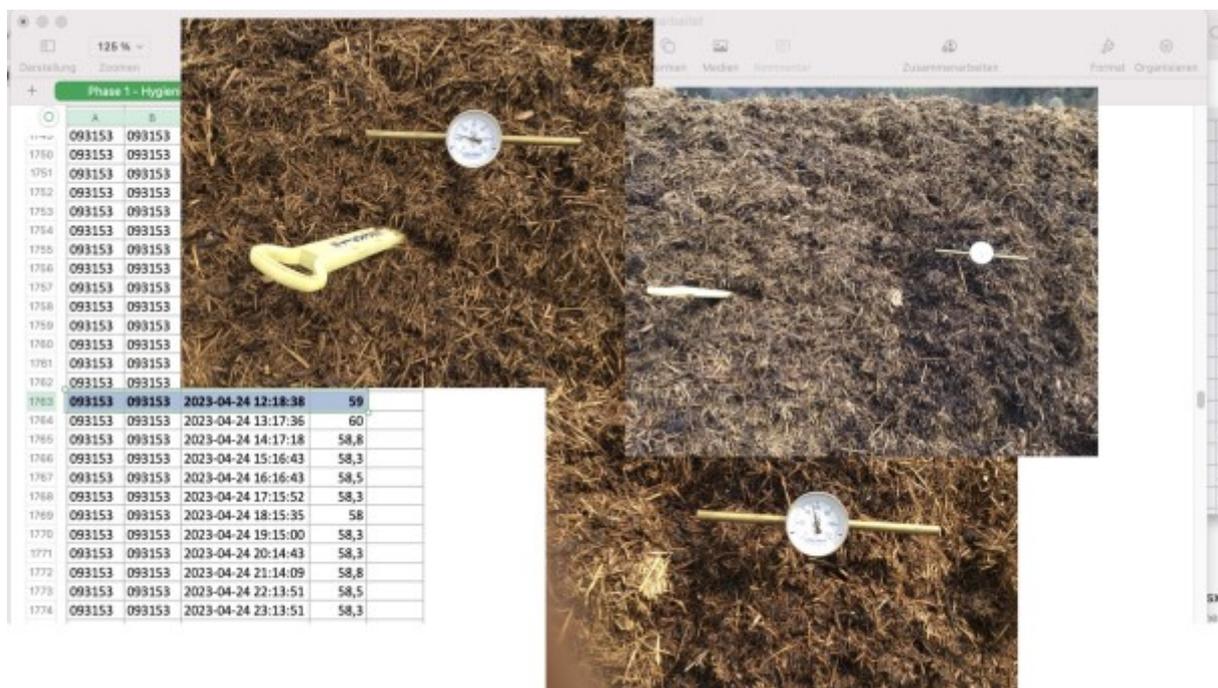


Abbildung 3.2.1 Temperaturmessung mit Datenaufzeichnung (Foto: Hellwig-Büscher)

Bei Positionierung der Temperatursonde(n) war das Ziel, besonders gründlich vorzugehen. Sicherheitshalber wurde mit einem analogen Einstichthermometer an mehreren Stellen gemessen um repräsentative Position(en) zu finden und diese wurden zusätzlich gesondert markiert (inkl. Einstichtiefe und -winkel); insbesondere, wenn nicht genügend Temperatursonden zur Verfügung standen und diese später häufig umgesetzt werden mussten (siehe Abb. 3.3.2). Bei aller Einschränkung bzgl. der Aussagekraft des nominalen Wertes, wurde versucht die Messung nach Möglichkeit immer an der gleichen Stelle platzieren.



Abbildung 3.2.2 Temperaturmessung mit Sonde und Therometer (Foto: Hellwig-Büscher)

Auch wenn die gemessenen Werte eine Hygienisierung der Miete erwarten ließen, war letztlich eine Hygienisierung des gesamten Mietenkörpers nur durch eine ordnungsgemäße Umsetzung bzw. Vermischung von äußeren und inneren Mieten-Zonen zu gewährleisten.

Welche Auswirkungen eine nicht für alle Mietenbereiche gesicherte Hygienisierung im Ackerbau haben kann, zeigt exemplarisch eine Kompostprobe aus den Anfängen des Projektes (BDH/2021/40/2) mit 128 keimfähigen Samen und Pflanzenteilen je Liter Kompost.

### **Teilfrage Vliesqualität**

Die Kompostierungsdurchläufe NHF/2022/22/7 und 8, in beiden Fällen eine Mischung aus 60 % Pferdemist und 40 % frische Luzerne, wurden mit unterschiedlichen Vliesen abgedeckt: Die Miete 7 (Abb. 3.3.3 oben) mit dem etwas dichteren TOPTEx-Vlies (mit gerichteten Fasern) und die Miete 8 (Abb. 3.3.3 unten) mit dem preislich günstigeren AGRIplus-Vlies.

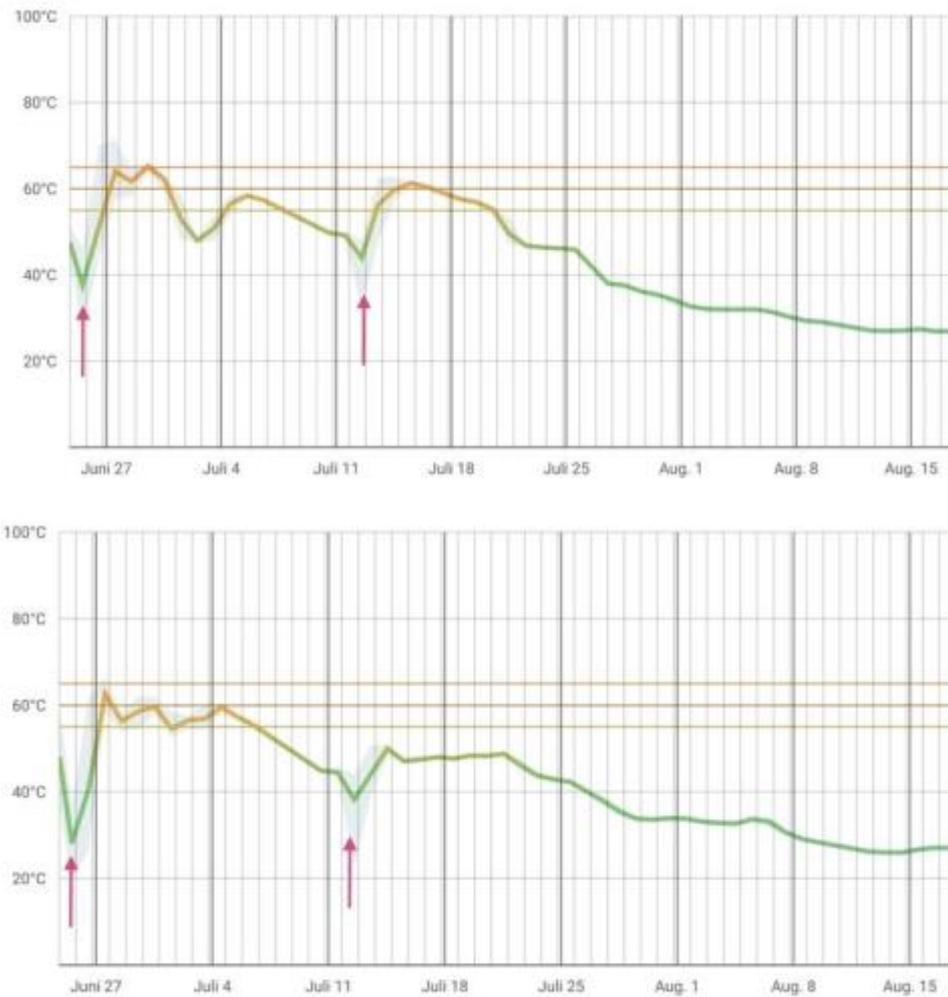


Abbildung 3.2.3 Temperaturverlauf Kompostmieten NHF/2022/22/7 und NHF/2022/22/8 (Quelle: Quanturi)

Die Temperaturverläufe waren weitgehend kongruent und auch die Wirkung (Belebung des Rotteprozesses) des Umsetzungsvorgangs (Pfeile) war vergleichbar. Die tendenziell erkennbaren Temperaturunterschiede waren für einen Praxisversuch, mit nicht vermeidbaren Ausgangs-Varianzen bei Rottematerial, Mischungsverhältnis und Homogenität, vernachlässigbar.

Von weiteren Vergleichen wurde abgesehen. In der Haptik sind bei den Vliesen zwar gewisse Unterschiede - infolge unterschiedlicher Webtechnik - zu erkennen (zu ertasten), doch konnten in der kurzen Projektlaufzeit keine Unterschiede bzgl. Haltbarkeit o.ä. festgestellt werden.

## Dauer der Abdeckung

Wie bereits erwähnt, erwies sich während der Projektdurchführung die manuelle Methode für das Auf- und Abdecken der Mieten als umsetzbar. Bei Umsetzen einer abgedeckten Miete war eine manuelle Unterstützung eh notwendig. Das Unterfahren abgedeckter Mieten mit der fest auf dem Kompostwender montierten Wickelvorrichtung (Abb. 3.3.4) funktionierte bei genauer Betrachtung nicht ausreichend praktikabel:



Abbildung 3.2.4 Vliesaufnahme mittels Wickelvorrichtung auf dem Umsetzer (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.2.5 Sichtbehinderung des Fahrers durch die Wickelvorrichtung (Foto: Hellwig-Büscher)

Obleich das Umsetzen der Miete vom Fahrer des Kompostwenders prinzipiell allein durchgeführt werden konnte, erforderte bei abgedeckten Mieten das Unterfahren des Vlieses mehrere Hilfskräfte:

Am Anfang muss das Vlies längs der Miete etwas eingeschlagen werden, damit der Kompostwender einige Meter in die Miete einfahren kann. Danach muss das eingeschlagene Vliesteil über den Kompostwender gezogen und festgehalten werden, bis der Umsetzer soweit in die Miete eingefahren ist, dass wieder genügend Vlies auf der Miete liegt und ein Mitrutschen verhindert. Rechtzeitig vor dem Ende muss das Vlies abermals über den Kompostwender gezogen (eingeschlagen) werden. Erfolgt das zu spät, wird das Vlies vom Rotor erfasst. Was leider auch passierte, mit dem Ergebnis eines tlw. zerstörten Vlieses und v.a. einer verbogenen Vlieswickelwalze auf dem Kompostwender. Ist die Miete so lang, dass mehrere Vliese benötigt werden, wiederholt sich das Ganze bei jedem einzelnen Vlies. Das manuelle Ziehen der Vliese über den recht hohen Kompostumsetzer ist zudem mit viel „Turnerei“ verbunden und auch nicht ganz ungefährlich. Insbesondere wenn die Vliese durch Nässe noch schwerer oder bei niedrigen Temperaturen steifer werden.

. Zudem verdeckte das Vlies für den Fahrer des Kompostwenders die Sicht auf die Miete (siehe Abb. 3.3.5).

Da sich das manuelle, seitliche Wegziehen der Vliese als insgesamt einfachere und praktikablere sowie arbeitswirtschaftlich günstige Lösung erwies, ergab sich auch die Fragestellung, inwieweit durch häufigeres, gezieltes Auf- oder Abdecken (temporäre Abdeckung) aktiv in den Wasserhaushalt der Miete eingegriffen werden kann.

So gab es mehrere Versuchsreihen, in denen eine durchgehende Vliesabdeckung der Kompostmiete - mit der kurzen Ausnahme der Durchfahrt mit dem Kompostwender - mit einer temporären Vliesabdeckung verglichen wurde. Bei dieser temporären Abdeckung war der Indikator der Wassergehalt der Kompostmiete, der mittels Faustprobe (siehe Kap. 2.4.3.2) ermittelt wurde. Es erfolgten die nachfolgend genannten Maßnahmen:

- bei zu feuchter Miete keine Abdeckung, um Wasserverdunstung nicht zu behindern
- bei zu trockener Miete entgegengesetzte Vorgehensweise
- bzw. bei angekündigten Niederschlägen je nach Wasserbedarf oder -mangel zu- oder aufdecken

Diese „gegensätzlichen“ Kompostierungsdurchläufe waren auch ein Aspekt bei den Gasmessungen. Deshalb wird in Kapitel 3.4.6 darauf genauer eingegangen. Dies betrifft dort die „Paarungen“:

- NHF/2023/21/12.1 vs. NHF/2023/21/12.2
- NHF/2023/21/12.3.1 vs. NHF/2023/21/12.3.2
- bei NHF/2023/21/12.3.3 vs. NHF/2023/21/12.3.4 war der Vergleich noch extremer: nie abgedeckt vs. stets abgedeckt.

Die Kompostierungsdurchläufe NHF/2023/21/12.1 und NHF/2023/21/12.2 wurden auch bei der Sickerwasseruntersuchung herangezogen (siehe Kapitel 2.4.6 bzw. Kapitel 3.4.4).

Da die einzelnen Varianten der Kompostmieten für eine sichere Gasdetektion Mindestabstände zueinander einhalten mussten, waren die Mieten auf der Versuchsfläche allerdings derart weit verteilt, dass die 4, auf der Basisstation aufgeschalteten Temperaturlanzen (Sensoren) nicht mehrere Vergleichssituationen im Kontext Vliesabdeckung abbilden konnten (Entfernungsproblem; siehe Kapitel 2.3.1).

Eine übertragungstechnisch stabile Temperatur-Datenerfassung gab es bei der Paarung:

- NHF/2023/21/12.2 (Abb. 3.3.6, oben), immer abgedeckt
- NHF/2023/21/12.3 (Abb. 3.3.6, unten), temporär abgedeckt

Beide Kompostmieten basierten auf 100 % Pferdemist und erhielten vor dem zweiten und dritten Umsetzen jeweils zusätzlich 1.200 ltr. Wasser. Im ersten Fall entsprach dies einer Wassergabe von ca. 60 ltr./m<sup>3</sup>, im zweiten Fall - aufgrund abnehmender Mietenvolumina - sogar 114 ltr./ m<sup>3</sup>.

Im Gegensatz zu der Teilfrage Vliesqualität weiter oben, sind die Temperaturverläufe in diesem Vergleich differenzierter. So sind die Verläufe nur noch eingeschränkt kongruent und das unterschiedliche Temperaturniveau schlägt sich auch auf die Hygienisierung nieder:

- Miete 12.2: Durchschnittstemperatur 38,8 ° C;  
es wurde keine der 3 Hygienisierungsstufen erreicht
- Miete 12.3: Durchschnittstemperatur 52,1 ° C;  
es wurden alle 3 Hygienisierungsstufen erreicht

Ungeachtet dessen weisen die Outputproben in beiden Fällen Rottegrad 5 und null keimfähige Samen aus. Wobei bzgl. des letzten Aspekts allerdings zu bedenken ist, dass es sich bei Pferdemist normalerweise nicht um ein „samen- und keimlingsbelastetes“ Material handelt.

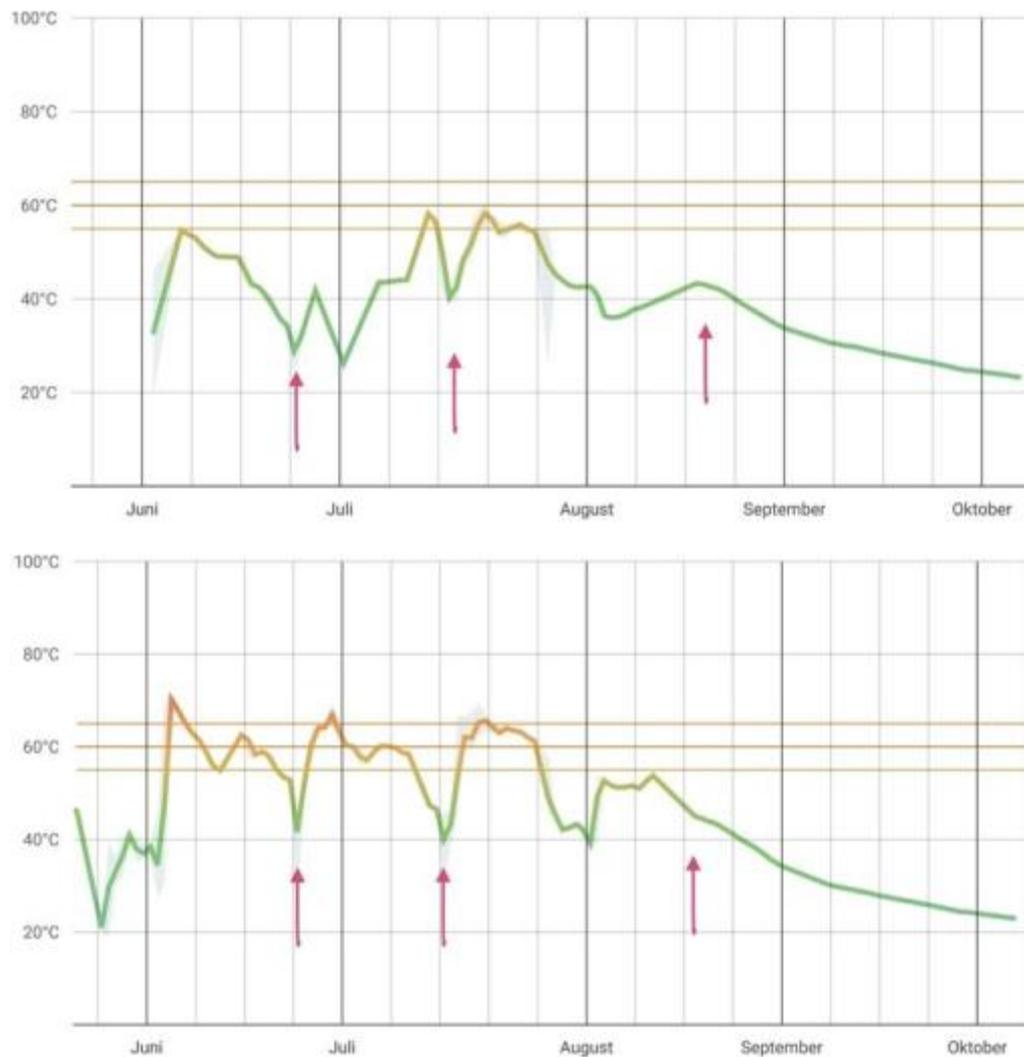


Abbildung 3.2.6 Temperaturverlauf Kompostmieten NHF 2023/21/12/2 und NHF 2023/21/12/3 (Quelle: Quanturi)

Allerdings ist auch die Hygieneprozessprüfung, für die u.a. die hier besprochene Kompostmiete 12.2 herangezogen wurde, positiv verlaufen (nachfolgendes Kapitel 3.3.2).

### Pflanzliches Rottematerial

In mehreren der beteiligten Betriebe fielen mangels Tierhaltung keine Miste an und die Kompostierung war schwerpunktmäßig von pflanzlichen Ausgangsmaterialien bestimmt. Über vereinzelt bestehende Futter-Mist-Kooperationen erhalten diesen Betrieb in unterschiedlichem Umfang Mist zurück. In Kapitel 2.3.1 sind die Übersichten hierzu zu finden.

Mistkompostierung ist zwar der üblichere, etabliertere Vorgang, doch ist in vielen Regionen in Rheinland-Pfalz die Tierhaltung eher rückläufig. Aber gerade bei Bio-Betrieben, die im Ackerbau wesentlich auf den Kleeergrasanbau als tragendes Glied der Fruchtfolge angewiesen sind, wird dadurch die Verwertungsfrage des Grünaufwuchses bedeutsamer.

Nachstehend werden anhand einer exemplarischen Betrachtung einige ausgewählte Kompostierungsdurchläufe mit pflanzlichen Hauptkomponenten dargestellt:

- RIS/2022/19/2
- BDH/2022/21/6

### RIS/2022/19/2

Dieser Kompostierungsdurchlauf (Temperaturverlauf in Abb. 3.3.7) war ein Beispiel für die Kompostierung von Klee gras, welche bei verschiedenen Aspekten durch extreme Werte gekennzeichnet war:

- verhältnismäßig früher Schnitt des Klee gras (Aufsetzdatum der Miete: 09.05.2022)
- sehr großer Mietenquerschnitt (4,6 m<sup>3</sup>/Ifd. m)
- keine Vlies-Abdeckung und keine zusätzliche Wassergabe
- kürzester Kompostierungsdurchlauf im gesamten Projekt (77 Tage)

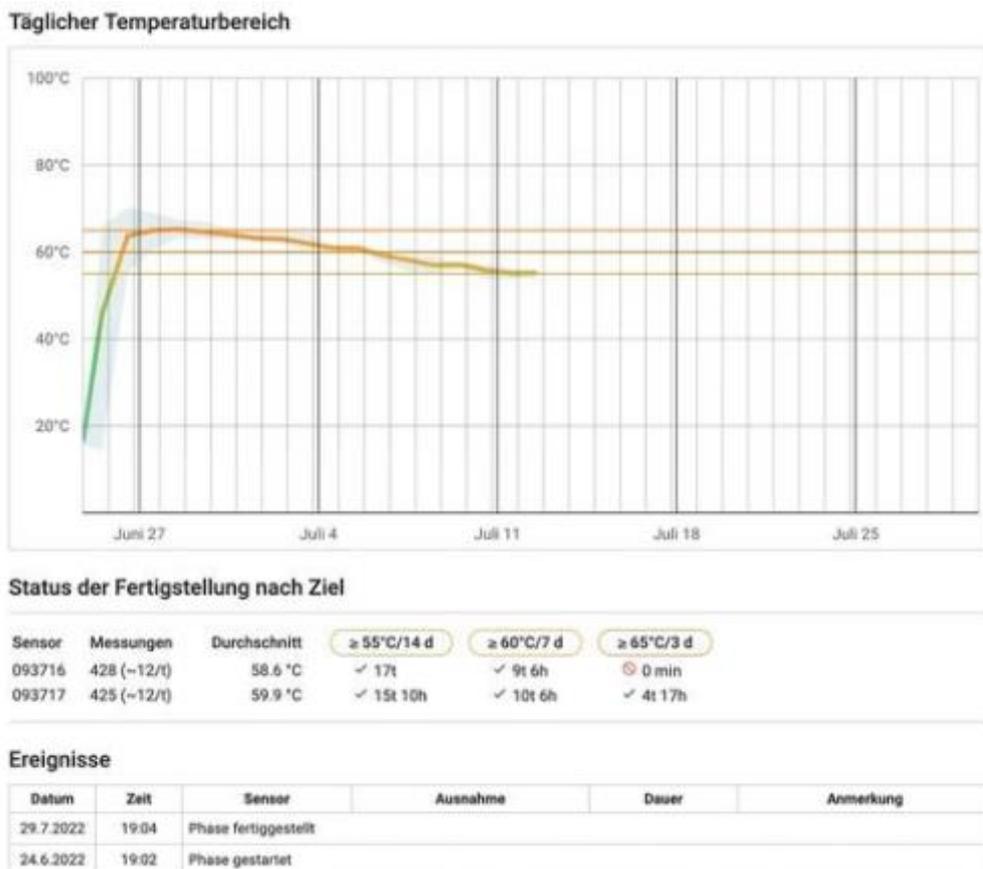


Abbildung 3.2.7 Temperaturverlauf Kompostierung Klee gras (Quelle: Quanturi)

Diese Miete war ein Beispiel für einen sehr arbeitseffektiven Kompostierungsdurchlauf. Die nur knapp 2 Akh bzw. Schlepperstunden für die Mietenformung wurden nur dort unterschritten, wo überhaupt keine Mietenbearbeitung mit dem Frontlader erfolgte. In den 2 Wochen nach dem Aufsetzen der Miete sackte diese ausreichend zusammen und ging soweit in Zersetzung, dass der Umsetzer -trotz des verhältnismäßig großen Mietenquerschnittes - die Miete durchfahren konnte (23.05.2022). Mit dann nur einem weiteren Umsetzereinsatz (25.06.2022) war - vermeintlich - eine ausreichende Rottedynamik gestartet, da die Hygienisierungsziele bereits in kurzer Zeit erreicht wa-

ren. Bei der Kompostanalyse zeigte sich aber, dass die Kompostierung evtl. doch etwas zu kurz angelegt war, da nur Rottegrad II erreicht wurde und die Pflanzenverträglichkeit unter Zielwert liegt.

Eingedenk einer Rohdichte von 420 kg/m<sup>3</sup> bestätigte sich allerdings die gute Streufähigkeit und vergleichsweise hohe C- und N-Gehalte lassen auf eine verlustärmere Kompostierung schließen. Da mit den Komposten im organisch-biologischen Landbau vorrangig der Boden gedüngt werden soll, wären auch die 42,6 kg/m<sup>3</sup> humusreproduktionswirksamen Kohlenstoffs als positives Ergebnis zu werten und dürfen die Schwäche bei der Pflanzenverträglichkeit wettmachen.

### BDH/2022/21/6

Ein deutlich höherer Aufwand wurde bei dem nun beschriebenen Kompostierungsdurchlauf (Temperaturverlauf in Abb. 3.3.1.8) betrieben. Dabei schlugen zu Buche:

- der Aufbau der Basismatte
- das Aufbringen eines Zuschlagsstoffes (Champost)
- eng getaktete Einsätze des Kompostwenders (16 Tage; nur 3 Kompostierungsdurchläufe im gesamten Projekt hatten noch kürzere Umsetzungsintervalle)
- 4- maliges Auf- bzw. Abdecken mit Vlies
- zusätzliche Wassergabe 20 ltr./m<sup>3</sup>

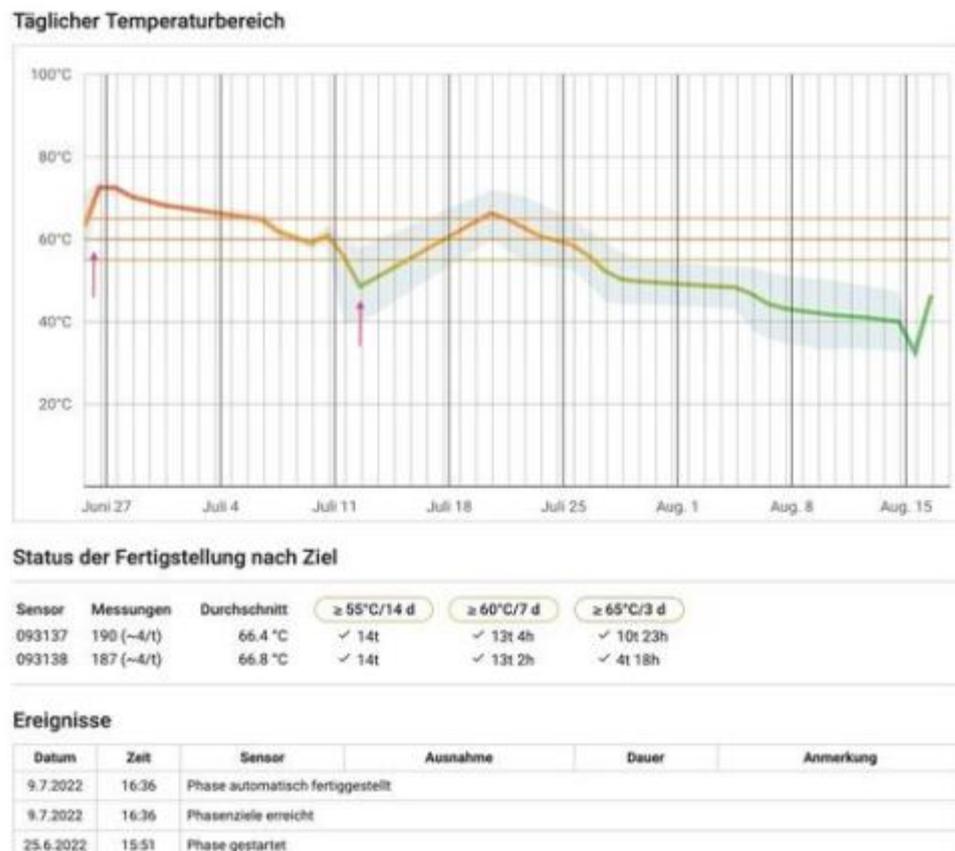


Abbildung 3.2.8 Temperaturverlauf Kompostmiete BDH/2022/21/6 (Quelle: Quanturi)

Auch bei dieser Luzernekompostierung war die Hygienisierung kein Problem, sie war innerhalb von 2 Wochen vollzogen, was sich auch in der Kompostprobe mit null keimfähigen Samen und Pflanzenteilen bestätigte. Bei dieser Kompostmiete wurden zwar keine Reinigungsabfälle eingemischt, wie sonst

am Standort BDH nicht unüblich, doch sind zu dem hier auch etwas späteren Schnitzeitpunkt bereits erste Samenstände (Luzerne, Beikräuter) im Erntegut und. können im Kompost zum Problem werden. Das Ziel „Erreichen der Streufähigkeit“ wurde durch ausreichende Zersetzung (Rottegrad V) auch erreicht, die u.U. etwas zu lange Kompostierungszeit hatte dann aber im Sommer zu viel Wasser verbraucht (Rohdichte nur noch 245 kg/m<sup>3</sup> bzw. Wassergehalt nur noch 24,2 %).

### Teilfrage: Zusatz von holzigem Strukturmaterial

Versuchsweise wurde bei zwei Mist-Kompostierungen holziges Strukturmaterial eingemischt. Bei der Miete KSM/2023/15/5 (siehe Abb. 3.3.1.9) waren es ca. 25 % Beimischung zum betriebsüblichen Mist-Mix, bei der Miete NHF/2023/21/14 (siehe Abb. 3.3.1.10) betrug die Beimischung zu Pferdemit. 33%.

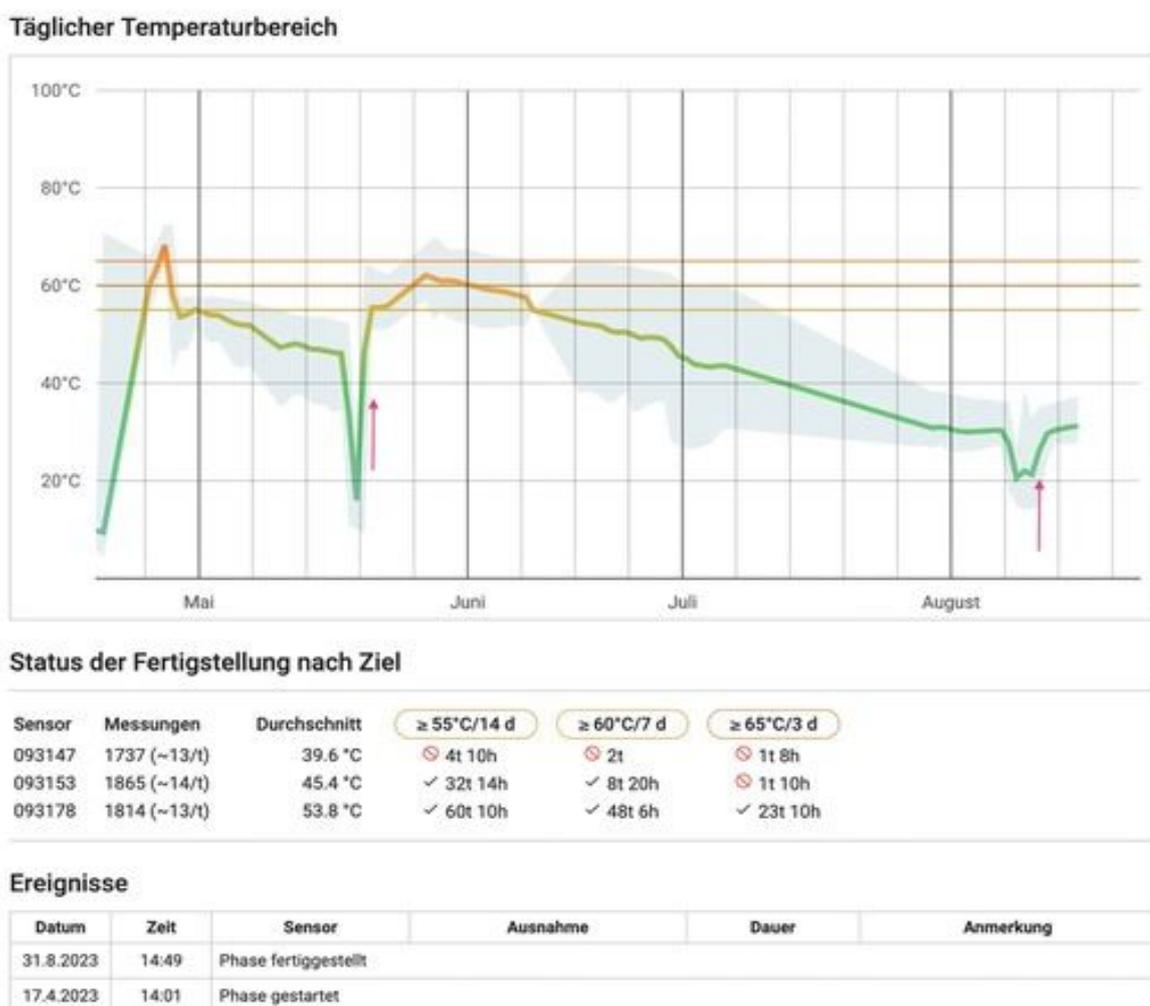


Abbildung 3.2.9 Temperaturverlauf Kompostmiete KSM/2023/15/5 (Quelle: Quanturi)

### Täglicher Temperaturbereich



### Status der Fertigstellung nach Ziel

Sensor	Messungen	Durchschnitt	≥ 55°C/14 d	≥ 60°C/7 d	≥ 65°C/3 d
093711	2166 (~16/t)	46.2 °C	✓ 23t	✓ 13t 17h	⊗ 1h

### Ereignisse

Datum	Zeit	Sensor	Ausnahme	Dauer	Anmerkung
9.10.2023	10:24	Phase fertiggestellt			
26.5.2023	00:00	Phase gestartet			

Abbildung 3.2.10 Temperaturverlauf Kompostmiete NHF/2023/21/14 (Quelle: Quanturi)

Neben der Unterschiede bei der Mistart gab es bei diesen beiden Kompostierungsverläufen noch weitere Abweichungen: Am Standort KSM wurde 3 mal umgesetzt, am Standort NHF 4 mal und dort wurde zusätzlich zu 2 Terminen (blaue Pfeile) eine beträchtliche Wassergabe aufgebracht (65 ltr./m<sup>3</sup> + 134 ltr./m<sup>3</sup>).

Am Standort NHF stand infolge der vielen Varianten im Gasmessungsversuch nur ein Temperatursensor zur Verfügung, bei KSM die Standard-Bestückung mit 3 Temperaturlanzen. Dadurch zeigte sich nicht nur im Hygienisierungsprotokoll, sondern auch im Diagramm die Inhomogenität dieser Miete, wobei diese allerdings auch um den Faktor 8 größer als die Miete am Standort NHF war.

Beide Mieten zeigen einen weitgehend typischen Rotteverlauf, mit anfänglicher thermophiler Phase, die für die Hygienisierung ausreicht und einen, bei KSM gleitenden, bei NHF eher abrupten Übergang in die mesophile Phase. Bei den Laboruntersuchung der Kompostproben traten keine restriktiven Auffälligkeiten auf, allerdings der höhere Mineralisierungsgrad bei NHF und weitere Unterschiede, die vermutlich mit dem deutlich höheren Anteil des Holzigen Strukturmaterials aus der Grünabfallkompostierung einhergingen (KSM links, NHF rechts; Tab. 3.3.1a):

Tabelle 3.2.1 Laborergebnisse Kompostproben KSM und NHF

	KSM	NHF
Rohdichte [g/Liter]:	300	690
Organische Substanz [%]:	58,0	23,6
Wassergehalt [%]:	24,7	27,0
Trockensubstanzgehalt [%]:	75,3	73,0

### Volumenreduktion während des Rotteverlaufs

Aus den vorgenannten Gründen kam es bei den einzelnen Mieten zu unterschiedlichen Rotteverläufen, die letztlich unterschiedliche Reduktionen der Mietenvolumina zur Folge hatten.

Tabelle 3.2.1b Volumenreduktion während des Rotteverlaufs

Volumenreduktion der Mieten		Aufsetz-	Komp.	Rotte-	Output	Komp.	Anzahl	Volumen			Ø
Miete	Zuordnung	datum	ende	grad	Rohdichte [g/Liter]	dauer	Umsetz.	Input [m³]	Output [m³]	Reduktion %	
NHF/2021/46/0	Pferdemist-Mix	19.11.21	12.03.22	V	580	113	2	240	108	55%	
NHF/2021/44/1	Pferdemist-Mix	05.11.21	12.03.22	V	680	127	3	228	111	51%	
NHF/2021/28/2	Pferdemist-Mix	25.09.21	12.03.22	V	650	168	3	206	112	46%	
NHF/2021/15/3	Pferdemist-Mix	13.04.21	12.03.22	V	750	333	3	203	160	21%	
NHF/2022/9/4(+5)	Pferdemist-Mix	25.01.22	31.08.22	---	---	218	4	289	183	37%	
NHF/2022/9/6	Pferdemist-Mix	05.03.22	31.08.22	V	492	179	4	173	115	34%	
NHF/2022/22/7(+8)	Pferdemist-Mix	04.06.22	31.08.22	V	144	88	3	154	116	25%	
NHF/2023/21/12.1	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	430	137	4	45	30	33%	
NHF/2023/21/12.2	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	610	137	4	48	24	51%	
NHF/2023/21/12.3(.1)	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	240	137	4	42	23	46%	
NHF/2023/21/12.3(.2)	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	560	137	4	36	15	58%	
NHF/2023/21/13	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	150	137	4	48	21	56%	
NHF/2023/21/14	Pferdemist-Mix	24.05.23	08.10.23	V	690	137	4	42	18	57%	44%
KSM/2022/9/1=2	Mist-Mix	08.03.22	18.10.22	V	623	224	4	466	95	80%	
KSM/2022/26/3	Mist-Mix	27.06.22	24.10.22	V	240	119	2	376	205	45%	
KSM/2022/48/4	Mist-Mix	26.11.22	13.06.23	---	---	199	3	450	250	44%	
KSM/2023/15/5	Mist-Mix	15.04.23	30.08.23	V	300	137	3	330	220	33%	
RIS/2022/10/1	Mist-Mix	07.03.22	24.07.22	V	590	139	2	225	125	44%	49%
NHF/2023/21/15	Pflanzenaufwuchs-Mix	24.05.23	08.10.23	V	300	137	4	42	6	86%	
RIS/2022/19/2	Pflanzenaufwuchs-Mix	09.05.22	25.07.22		420	77	2	460	230	50%	
RIS/2022/19/3	Pflanzenaufwuchs-Mix	09.05.22	25.07.22	II		77	2	260	118	55%	
RIS/2023/23/4	Pflanzenaufwuchs-Mix	12.05.23	30.08.23	II	110	110	2	300	162	46%	
GBH/2022/17/2	Pflanzenaufwuchs-Mix	28.04.22	22.08.22	III	219	116	4	400	80	80%	
BDH/2021/0/0	Pflanzenaufwuchs-Mix	21.11.21	26.03.22	V	536	125	3	200	140	30%	
BDH/2021/40/1+2	Pflanzenaufwuchs-Mix	13.10.21	26.03.22	V	160	164	3	270	140	48%	
BDH/2021/51/3	Pflanzenaufwuchs-Mix	21.12.21	12.09.22	V	205	265	4	100	90	10%	
BDH/2022/9/4	Pflanzenaufwuchs-Mix	03.03.22	12.09.22	V	308	193	4	85	79	7%	
BDH/2022/21/5+6	Pflanzenaufwuchs-Mix	25.05.22	12.09.22	V	245	110	3	665	460	31%	
BDH/2023/23/8	Pflanzenaufwuchs-Mix	07.06.23	05.10.23	V	92	120	2	173	105	39%	
BDH/2023/24/9	Pflanzenaufwuchs-Mix	12.06.23	05.10.23	V	150	115	2	90	70	22%	42%
					<b>388</b>	<b>149</b>	<b>3,2</b>				

In Tab. 3.3.1b dargestellte Übersicht zeigt die die Volumenreduktion als Ergebnis zwischen dem ermittelten Anfangsvolumen und dem ermittelten Endvolumen einer jeden Miete. Die Ergebnisse wurden den drei Substratklassen zugeordnet und es wurden Durchschnittswerte je Substratklasse errechnet.

Auffällig ist die Tatsache, dass sich die Durchschnittswerte der drei Klassen in der Spanne 42% bis 49% nicht wesentlich unterschieden, obwohl ganz unterschiedliche Substrate zum Einsatz kamen. Insbesondere bei der Gruppe Pflanzenaufwuchs-Mix war eine sehr große Streuung der Einzelwerte festzustellen. Aufgrund dieser großen Streuung stellen die hier dargestellten Ergebnisse keine statistisch abgesicherten Ergebnisse dar, aber die Ergebnisse liefern dennoch eine Grundlage für nachfolgende Betrachtungen.

Abschließend sei noch erwähnt, dass eine Volumenreduktion der Miete nicht mit einer Mengenreduktion der Miete verwechselt werden darf. Zusätzliche Erläuterungen zum Thema Rotteverluste sind in Kap. 3.3.2 dargestellt.

### 3.2.2 Hygieneprozessprüfung

Im Rahmen der direkten Prozessprüfung gemäß § 3 BioAbfV Abschnitt 3.1 für die aerobe hygienisierende Behandlung (thermophile Kompostierung) wurden zwei Prüfgänge mit einem Abstand von mehr als drei Monaten bei der Feldrandkompostierung auf dem Betrieb Nackterhof durchgeführt. Die Prozessprüfung fand unter der dort anlagentypischen Prozessführung statt. Der Prüfungsumfang entsprach den Vorgaben der Bioabfallverordnung.

Als Indikatororganismen kamen *Plasmodiophora brassicae* (Kohlhernieerreger), Tabakmosaikvirus, Tomatensamen und *Salmonella senftenberg* W<sub>775</sub> zur Anwendung. Das Ergebnis kann wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 3.2.2 Ergebnisse Hygieneprozessprüfung

Testorganismen Phytohygiene	Prüfgang 1	Prüfgang 2
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	vollständig inaktiviert	vollständig inaktiviert
Tabakmosaikvirus	ausreichend inaktiviert	ausreichend inaktiviert
Tomatensamen	vollständig inaktiviert	vollständig inaktiviert

Die unbehandelten Kontrollproben zeigten bei beiden Prüfgängen vollständig positive Ergebnisse. Bei den behandelten Proben wurde keine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt. Die Anforderungen an die Phyto- und Seuchenhygiene gemäß BioAbfV Anhang 2 wurden somit erfüllt.

### Temperaturverlauf im Prüfzeitraum

Die Prozesstemperatur während der Kompostierung ist ein relevanter Faktor für eine erfolgreiche Hygienisierung. Die BioAbfV gibt für die hygienisierende Behandlung mittels thermophiler Kompostierung drei mögliche Anforderungen vor. Entweder  $\geq 55\text{ °C}$  über zwei Wochen,  $\geq 60\text{ °C}$  über sechs Tage oder  $\geq 65\text{ °C}$  über drei Tage.

Anhand der Temperaturüberwachung sowohl seitens des Betriebs als auch über die seitens des Prüflabors PLANCO-TEC in den Prüfgefäßen in Basis, Kern und Rand der Versuchsmieten platzierten Temperaturlogger konnte bei beiden Prüfgingen eine Prozesstemperatur von  $\geq 55\text{ °C}$  über zwei Wochen und  $\geq 60\text{ °C}$  über sechs Tage nachgewiesen werden. Die gemäß BioAbfV vorgeschriebene Prozesstemperatur wurde somit für Basis, Kern- und Randbereich der Miete eingehalten und die Anforderungen an die Prozesstemperatur erfüllt (siehe Abb. 3.3.29 bis 3.3.32)

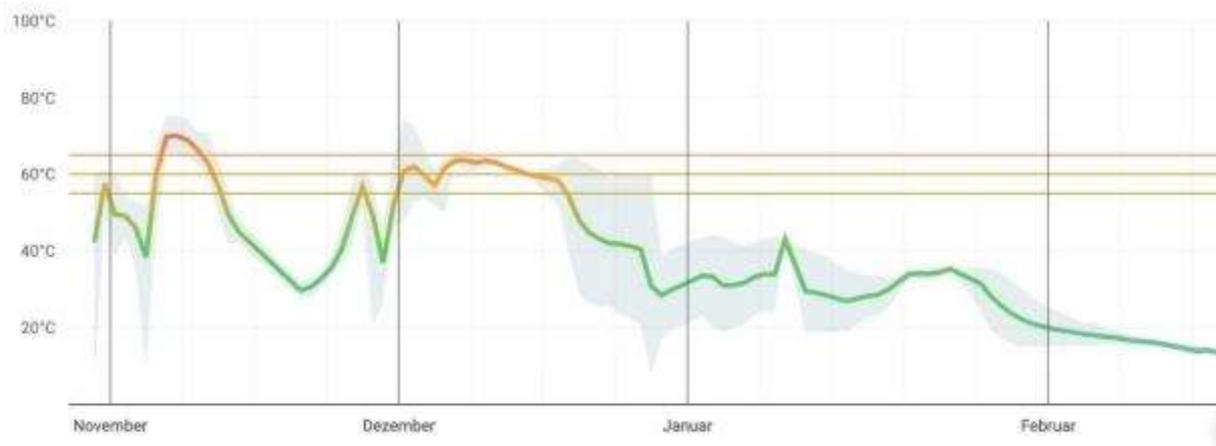


Abbildung 3.2.11 Temperaturüberwachung NHf über den Prüfzeitraum (1. Prüfgang Hygieneprozessprüfung)



Abbildung 3.2.12 Temperaturüberwachung PLANCO-TEC über den Prüfzeitraum (1. Prüfgang Hygieneprozessprüfung)

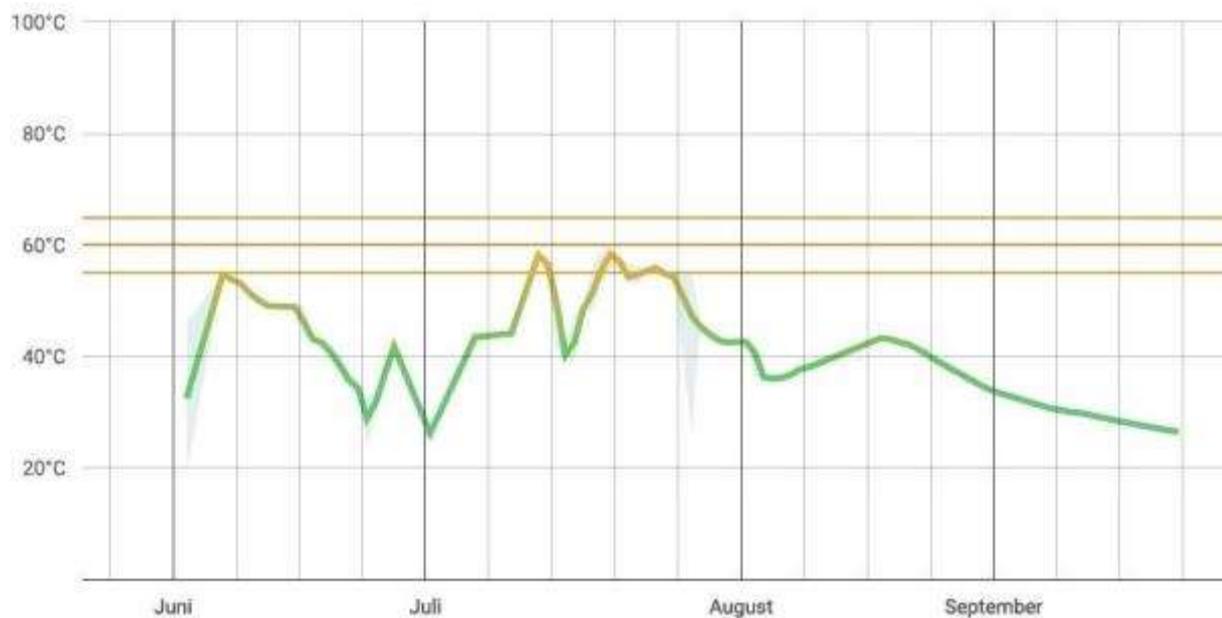


Abbildung 3.2.13 Temperaturüberwachung NHF über den Prüfzeitraum (Prüfgang 2 Hygieneprozessprüfung)



Abbildung 3.2.14 Temperaturüberwachung PLANCO-TEC über den Prüfzeitraum (Prüfgang 2 Hygieneprozessprüfung)

Die erfolgreiche Hygienisierung ist auf gute vorherrschende Rottebedingungen zurückzuführen, die sich unter anderem aus dem guten Mischungsverhältnis der Inputmaterialien ergab. Die ermittelten Rottebegleitparameter wie pH-Wert, Wassergehalt und dem Anteil an organischer Substanz lagen alle in einem für eine aerobe hygienisierende Behandlung optimalen Bereich. Zuträglich für die bestandenen Prüfgänge war auch die bedarfsgerechte und sorgfältige Prozessüberwachung und Prozessführung durch den Betriebsleiter.

Tabelle 3.2.3 Rottebegleitende Parameter zu Beginn und Ende des Prüfzeitraumes bei 1. Prüfgang der Hygieneprüfung

		pH-Wert*	Wassergehalt in % Frischmasse	Organische Substanz in % Trockenmasse
Prüfungsbeginn		5,8	59,4	88,6
Prüfungsende (Entnahme)	Basis	7,5	61,1	49,3
	Rand	7,3	69,7	56,7
Mittelwerte		7,4	64,8	52,7

\*Messung in CaCl<sub>2</sub> nach Methodenbuch BGK Kap. III C 1.1, 5. Auflage 2013-05

Tabelle 3.2.4 Rottebegleitende Parameter zu Beginn und Ende des Prüfzeitraumes beim 2. Prüfgang der Hygieneprozessprüfung

		pH-Wert*	Wassergehalt in % Frischmasse	Organische Substanz in % Trockenmasse
Prüfungsbeginn (Einlage)		8,2	58,0	77,6
Prüfungsende (Entnahme) „abgedeckt“	Basis	8,1	31,3	50,9
	Kern	7,7	44,5	51,3
	Rand	7,9	33,5	46,9
Mittelwerte		7,9	36,4	49,7
Prüfungsende (Entnahme) „offen“	Basis	7,4	34,0	54,9
	Kern	7,4	33,7	54,9
	Rand	7,9	29,9	51,5
Mittelwerte		7,6	32,5	53,7

\*Messung in CaCl<sub>2</sub> nach Methodenbuch BGK Kap. III C 1.1, 5. Auflage 2013-05

Die Prüfergebnisse bestätigen, dass die in der Feldrandkompostierung auf dem Betrieb Nackterhof produzierten Komposte als seuchen- und phytohygienisch unbedenklich einzustufen sind. Die Anforderungen der Bioabfallverordnung (BioAbfV) an eine Prozessprüfung, bestehend aus zwei zeitlich voneinander getrennten Prüfgängen, wurden eingehalten. Die Prozessprüfung gemäß BioAbfV wurde somit bestanden.

Dieses Ergebnis zeigt, dass es im Rahmen der gesteuerten Feldrandmietenkompostierung möglich ist, human- und phytopathogene Erreger während der biologischen Behandlung abzutöten und aus hygienischer Sicht unbedenkliche Komposte herzustellen. Auch wenn bei der landwirtschaftlichen Kompostierung die Stoffe im Kreislauf geführt werden und innerhalb des jeweiligen Einzelbetriebs verwertet werden, ist die Einhaltung dieser Voraussetzungen besonders hervorzuheben. Dadurch wird es für die Betriebe in der Praxis möglich, unerwünschtem Krankheitsbefall und/oder Druck durch auflaufende Beikräuter und Gräser vorzubeugen und auch dauerhaft einzudämmen. Von besonderer Bedeutung ist dies für ökologisch wirtschaftende Betriebe, bei denen der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht zulässig ist.

Voraussetzung für die erfolgreiche Hygienisierung ist eine optimale Rottesteuerung mit Hilfe kontinuierlicher Beobachtung und Erfassung der wesentlichen Prozesssteuerungsparameter.

### 3.3 AP 4 – Kompostierungsverlauf, Kompostqualität und Emissionen

#### 3.3.1 Kompostierungsverlauf

In Fortführung zur Kap. 3.3.1, in dem das Augenmerk sehr stark auf die Ergebnisse mit Bezug zu den jeweiligen Temperaturverläufen gelegt wurde, werden nachfolgend weitere Aspekte angesprochen, die bei der Bewertung der Kompostierungsverläufe Berücksichtigung fanden:

- Rotteergebnis (allgemein gehaltene Betrachtung)
- Teilaspekt Arbeitswirtschaft (Mietenformung, Mischungserstellung)
- Teilaspekt (holziges) Strukturmaterial

#### **Allgemeine Bewertung der Kompostierungsverläufe im Projekt**

In einer Gesamtschau aller Kompostierungsdurchläufe kann, trotz unterschiedlichster Ausgangsstoffe, Mischungen, Mietenausformungen, Umsetzintensitäten usw. im Hinblick auf Rottegrad und Samenfrachten (Hygienisierung) ein positives Ergebnis festgehalten werden.

So wurde - bei den 36 im Projekt durchgehend begleiteten Kompostierungsdurchgängen - nur bei 4 Outputproben (entspricht 11 %) kein Fertigungskompost (Rottegrad IV od. V) dokumentiert.

Als Kompostrohstoff (Rottegrad I) blieb nur eine Variante (Silierung) erwartungsgemäß ohne entsprechende stoffliche Umsetzung. Die Vergleichsvariante mit gleichem Ausgangsmaterial (Kleegrass) und gleicher Rotte-/„Liegezeit“ (97 Tage) erreichte jedoch Rottegrad IV.

Bei den Samenfrachten war das Ergebnis ähnlich positiv; nur 5 Outputproben (15 %) lagen oberhalb des Richtwertes der Gütegemeinschaft Kompost (2 keimfähige Samen od. Pflanzenteile / ltr.).

Bei den Kompostansprüchen (rein optisch und mittels Faustprobe) zeigte sich insbesondere bei den Kompostierungsdurchläufen über Sommer, bei nahezu allen Kompostmieten Wasserknappheit. Die leicht umsetzbaren Bestandteile wurden weitgehend verstoffwechselt, lignocellulose- bzw. ligninhaltige Bestandteile nur begrenzt. So zeigte sich in vielen Proben - ungeachtet des Rottegrades - noch viel intaktes Pflanzengewebe (Abb. 3.4.1.).



Abbildung 3.3.2 Wenig verrottetes Material (Foto: Hellwig-Büscher)

Tendenziell waren die pflanzlichen Komposte etwas „anfälliger“ zu trocken auszufallen; zudem ist hier der Anteil von Fertigkomposten mit zu geringer Rohdichte von unter  $200 \text{ kg/m}^3$  höher als bei den tierischen Komposten.

Wobei zu „leichte“ Komposte kein unmittelbares Problem darstellen, doch führten diese Komposte indirekt zu Zusatzaufwand bei der Ausbringung (geringere Streubreite, mehr Spuren, geringere Schlagkraft beim Streuen). Bei den Komposten mit vorrangig pflanzlichen Ausgangsmaterialien wiesen 7 von 15 Proben (fast 50 %) eine Rohdichte  $\leq 200 \text{ kg/m}^3$  auf, bei den Mistkomposten nur 4 Proben. Wovon 2 dieser Proben von der Variante „Wilde Miete“ im Gasmessungsversuch stammten, d.h. im engeren Sinn nicht aus einer ordnungsgemäßen Kompostierung waren. Nur auf die „echten“ Kompostierungsdurchläufe mit Kompostwendereinsatz bezogen, reduzierte sich der Anteil auf ca. 10 % (2 von 19)

Auch wenn die im Labor bestimmten Rohdichtewerte mit Einschränkung zu bewerten sind, bestätigten sie sehr oft das Erscheinungsbild einer ausgetrockneten Kompostmiete; insbesondere mit einem dann auch sehr ausgeprägten Randbereich. Dieser Parameter ist tlw. sogar etwas aussagekräftiger als der Wassergehalt der Outputproben, da diese jeweils aus der (isolierten) Kernzone genommen wurden (s.a. Kapitel 2.4.3.1).

### Teilaspekt Arbeitswirtschaft

Unter der Maßgabe, dass Betriebe mit Tierhaltung die Rückstände (z.B. Mist u.ä.) transportieren und ausbringen müssen, lässt sich der Zusatzaufwand der Kompostierung an den zusätzlichen Arbeitsschritten „Umsetzen der Miete“ und vorangehende „Mietenformung“ festmachen. Die weiterführende, quantifizierende Betrachtung (betriebswirtschaftliche Untersuchung) dieser Thematik ist Kapitel 3.6.2 zu entnehmen. Nachfolgend v.a. die qualitativen Ergebnisse:

In vielen Betrieben ist, sofern die Miste überhaupt umgesetzt werden, die Umsetzung mit dem Frontlader am häufigsten anzutreffen und stellt zugleich auch den größten Zusatzaufwand dar. Deshalb war der Einsatz eines Kompostwenders auch ein zentraler Aspekt im VELKO-Projekt. Neben dem Punkt Arbeitszeit (Akh + Sh) hatte der Kompostwender weitere Vorteile sowohl hinsichtlich der Arbeitsqualität (wirksamere Belüftung, zumindest vertikale Mischung), der Wasserersparnis und der geringeren Verdichtung des Bodens im Fahrbereich.

Hinweis: Um einen Zeitvergleich mit den KTBL-Faustzahlen zu ermöglichen, wird die im Projekt gewählte Bezugsgröße je 100 lfd. m Miete auf je 10 m<sup>3</sup> umgerechnet. Das gewichtete Mittel von 30 aufgemessenen Mieten ergab ein Querschnittsmaß von ca. 4,22 m<sup>2</sup> (entsprechend 4,22 m<sup>3</sup> je lfd. m Miete).

Die Zeitersparnis beim Umsetzen mit dem Kompostwender war beträchtlich. Selbst bei der ungünstigsten Situation im Projekt mit nur 50 m/h Vorfahrtsgeschwindigkeit, und folglich 2 Akh (bzw. Sh) je 100 lfd. m Miete, ergab sich mit rechnerisch 2,9 AKmin/10 m<sup>3</sup> ein deutlicher Vorteil gegenüber dem Verfahren Umsetzen mit Frontlader und Miststreuer, das laut KTBL 13,9 AKmin/10 m<sup>3</sup> beträgt.

Die insbesondere beim ersten Umsetzen reduzierte Vorfahrtsgeschwindigkeit wurde wesentlich von der Mietengröße und der Materialzusammensetzung bestimmt. Leider musste verschiedentlich ein Teil der Miete wieder abgetragen oder im Extremfall der Kompostwender sogar freigegeben werden, da der Rotor aufgrund seiner Größe zur Seite wegschwenken muss und nicht nach oben geklappt werden kann. Das Festfahren zog einen beträchtlichen Zusatzaufwand nach sich.

Um dies zu vermeiden, wurde auch die „Mietenformung“ als separater Arbeitsgang definiert und erfasst. Im Projekt betrug der Zeitaufwand hierfür im Mittel ca. 3 AK- bzw. Sh je 100 lfd.m Miete (entsprechend ca. 4,3 AKmin/10 m<sup>3</sup>).

Bei der Kompostierung pflanzlicher Materialien gab es ähnlich systemintegrierte Aufwendungen wie bei den Mistkomposten. Dort der unvermeidliche Transport zum Feldrand, hier die Beerntung der Aufwüchse als Grünguternte mit Ziel Kompostierung. Im Projekt wurde kein Vergleich unterschiedlicher Ernteketten durchgeführt. Dennoch darf davon ausgegangen werden, dass ein aufwandstechnischer Nachteil einer Erntekette für eine spätere Kompostierung sich nicht begründet festmachen lässt. Eingedenk des für eine Kompostierung geringeren Anspruchs an die Erntequalität (Futtermittelschmutzung, Einhaltung von Welkegrad und Schnittlängen) wäre sogar ein Grenznutzen darstellbar, wurde im Projekt aber nicht bearbeitet.

Unabhängig vom Vergleich unterschiedlicher Ernteketten spielte auch bei den Komposten aus pflanzlichen Materialien die Mietenformung eine Rolle. So waren gerade Kompostmieten mit pflanzlichen Materialien Problemieten (Festfahren des Kompostwenders). Bei GBH/2022/17/2 musste der Kompostwender bei der ersten Durchfahrt mehrfach freigegeben bzw. mit o.a. minimaler Geschwindigkeit gefahren werden. Die Ursache hierfür war in der Struktur des Weidelgrasaufwuchses begründet.

Selbst bei vermeintlich etablierten Verfahrensketten muss die entsprechende Sorgfalt und Voraussetzung bei der Mietenerstellung gewahrt bleiben. Bei BDH/2022/23/7 wurde der kurzfristige Maschinen-Wechsel in der Erntekette nicht ausreichend beachtet und es mussten im Nachgang - trotz nachträglicher Verkleinerung der Miete und zusätzlicher Wartezeit für fortschreitende Zersetzung - gleich mehrere Versuche mit dem Umsetzer abgebrochen werden. Jede dieser Unterbrechungen war verbunden mit dem Freigraben des Kompostwenders.

Die Überlastung des Kompostwenders offenbarte sich nicht nur durch Abwürgen des Traktors oder Ansprechen der Überlastsicherung (Abscherschraube im Antriebsstrang), sondern auch durch Verstopfen auf der Auswurfseite. Bedingt durch die auflockernde Wirkung des Wenderotors nahm das Querschnittsvolumen der Miete beim Umsetzen auf der Auswurfseite zu, konnte dann aber nicht mehr weit genug „weggeschleudert“ werden, so dass das Material rückseitig abermals von dem Wenderotor erfasst wurde. Begrenzend für den Mietenquerschnitt, insbesondere bei Beginn der Kompostierung war nicht das Einhalten der Rahmenmaße des Kompostwenders auf der Eintritts-, sondern auf der Austrittsseite. Mit fort-

schreitender Zersetzung und wiederholter Überfahrt mit dem Kompostwender nahmen hierbei die Freiheitsgrade zu (siehe Abb. 3.4.2), d.h. es konnte der Mietenquerschnitt durch nachträgliches Aufbringen von Material fast bis zum Rahmenmaß des Kompostwenders ausgereizt werden.



Abbildung 3.3.3 Maximale Mietenformung bis zum Rahmenmaß des Umsetzers (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.3.4 Verstopfung durch Pflanzenfasern (Foto: Hellwig-Büscher)

Führte bei den Mistkomposten v.a. ein hoher Anteil dichtlagernden Tiefstallmistes und/oder ein zu großer Mietenquerschnitt zur Überlastung des Kompostwenders, offenbarte sich bei den Komposten mit pflanzlichen Ausgangsmaterialien auch die Erntetechnik als Einflussgröße. Im Projekt kamen bei der Grünguternte (Klee gras, Luzerne) vorrangig Ernteketten mit Ladewagen zum Einsatz. Bei frühen Schnittterminen, wie z.B. am Standort Kerzenheim (RIS), mit physiologisch weicherem Material, reichte eine 10- bis 14-tägige „Liegezeit“ und beginnende Materialzersetzung aus, um die Miete mit dem Kompostwender weitgehend problemfrei erstmals durchfahren zu können. Eine gesonderte Mietenformung war nur zur Egalisierung der Mietenoberfläche notwendig.

Am Standort Biedesheim (BDH), mit zeitlich später geschnittener Luzerne (höhere Stängelanteile), zeigte sich der Vorteil des Kurzschnittladewagens (KSL) mit Dosierwalzenaustrag, gegenüber einfachen KSL bei denen das Erntegut nur mit dem Kratzboden „rausgedrückt“ wurde (siehe Abb. 3.3.5). Die Dosierwalzen schufen nicht nur „finale“ Mieten, die keine Nacharbeit mehr erforderten, sondern auch von Beginn an homogenere Mieten (siehe Abb. 3.3.6 und Abb. 3.3.7).



Abbildung 3.3.5 Landschaftspflegematerial mit Dosierwalze abgeladen  
(Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.3.6 Luzerne mit Dosierwalze auf Basismatte abgeladen  
(Foto: Hellwig-Büscher)

Eingedenk der Erfordernis stabilisierender Strukturanteile in der Miete, war allerdings keine Kurzgutkette, d.h. Ernteketten mit extrem kurz schneidenden KSL oder Feldhäckslern notwendig. Inwieweit Langgutketten - als anderes Extrem - möglich sind, konnte im Projekt nicht bearbeitet werden

Neben dem Bsp. mit frisch geernteten Material zuvor, zeigten sich die technischen Vorteile der Dosierwalzen auch beim Heu aus der Landespflege (siehe Abb. 3.3.7 und Abb. 3.3.8).



Abbildung 3.3.7 Landschaftspflegeheu mit Dosierwalze abgeladen  
(Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.3.8 Landschaftspflegeheu ohne Dosierwalze abgeladen  
(Foto: Hellwig-Büscher)

Ein Sonderfall der Mietenformung, als vorbereitende Maßnahme für die spätere Kompostierung, ist die Erstellung von Mischungen. In den Versuchen zeigten sich bzgl. der Machbarkeit die erwartbaren Unterschiede zwischen schütffähigen, d.h. ansatzweise dosierfähigen Zuschlagsstoffen (Holzhackschnittel, Champost) und sperrigeren Materialien (Grüngut, holziges Strukturmaterial). Genaugenommen gehört hier auch der Mist dazu. Wie bei den Versuchen mit Zuschlag von Grüngut zum Pferdemit, zeigte sich auch umgekehrt beim Zuschlag von Mist in Grüngutmieten die Grenzen der Mischungserstellung über den Frontlader (bzgl. Inhomogenität siehe Kapitel 3.3.1). Diesem Problem

kann mit einer separaten Mischungserstellung z.B. über einen Miststreuer (siehe Abb.2.4.5) begegnet werden. Wobei zwischen Zusatzaufwand und tolerierbarer Inhomogenität abzuwägen bleibt.

Lein- bzw. Hanfstroh, welche zu Projektbeginn als perspektivische Struktur-Ersatzstoffe für Holzhackschnitzel diskutiert wurden, erwiesen sich als noch „widerspenstiger“. Eine Mischung ließ sich auch über den Weichel-Umsetzer (siehe Abb. 3.3.4) nicht zuverlässig erstellen, sondern führte zu Verstopfung und Materialschäden (siehe Abb. 3.3.4).

In den nachfolgenden Mieten wurde Lein- und Hanfstroh nur noch als Basismatte vorbereitet bzw. eingemischt, was mit dem Frontlader allerdings auch nur sehr zeitintensiv möglich war, wie bereits die Materialbergung mit dem KSL (selbst mit Heuaufbau war nur ein Bruchteil der Zuladung möglich).

Überraschenderweise konnte der Kompostwender die Mieten ohne nennenswerte Probleme umsetzen. Dennoch wurden die Versuche in 2022 aufgrund der technisch ungeklärten Ernte nicht fortgeführt. Auch die Versuche mit einer Rundballenpresse mit dem Ziel einer transportwürdigeren Materialbergung und einfachem Ausrollen zur Basismatte, endeten ebenfalls mit einem Maschinendefekt.

### **Teilaspekt Strukturmaterial**

Die Auswirkung fehlenden Strukturmaterials zeigte sich z.B. sehr deutlich bei der Kompostierung sehr jungen Kleeegrases (RIS/2022/19/2). Die Miete war mit 6 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche beim Aufsetzen, auch im Vergleich mit den anderen Pflanzenkomposten, überdurchschnittlich groß. Das Volumen (analog auch der Querschnitt, da nur unwesentliche Veränderung der Mietenlänge beim Einsatz des Kompostwenders) reduzierte sich - in vorliegendem Fall - in 77 Rottetagen um 50 %, erreichte aber nur Rottegrad II.

Welches Potential mit dem Zusatz von Strukturmaterial einhergeht zeigen zwei weitere Kompostierungsversuche mit vorrangig pflanzlichen Materialien: BDH/2022/9/4 mit 50 % Heu aus der Landespflanzpflege als Strukturmaterial bzw. BDH/2022/21/6 mit 7 % Holzhackschnitzel. Diese beiden Kompostierungsdurchläufe endeten mit Rottegrad V, unterschieden sich aber deutlich im erkennbaren Abbau (Materialverlust): bei Miete Nr. 4 - trotz 6 Monaten Rotterdauer - unter 10 %, bei Miete Nr. 6 nach 110 Rottetagen 30 %. Miete Nr. 4 trocknete allerdings auch stark aus, Miete Nr. 6 erhielt zumindest eine kleinere zusätzliche Wassergabe (zusätzlich zum Regen). Diese war allerdings vernachlässigbar, so dass der geringe Materialabbau (bei Nr. 4) vorrangig mit der Menge und der Art des Strukturmaterials einhergehen dürfte.

Zu Veranschaulichung des Materialabbaus nachfolgend einige Fotos (Aufnahmedatum: 25. Juni 2022). Der bereits o.a. „Materialschwund“ zeigt sich dabei nicht nur in der Abnahme der Mietenhöhe, sondern auch in der Breite (Abb. 3.3.9 und Abb. 3.3.10). In besagtem Beispiel konnte infolge eines festen und ebenen Bodens der Rotor des Kompostwenders sehr bodennah geführt werden, wodurch die Mietenbasis deutlich verjüngt wurde.



Abbildung 3.3.9 Reduktion des Mietenvolumens bei zunehmender Rottedauer (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.3.10 Reduktion der Mietenbreite bei zunehmender Rottedauer (Foto: Hellwig-Büscher)

Im Gegensatz dazu blieb bei der Miete mit dem Landespflegeheu die Breite der Mietenbasis gleich und die Höhe reduzierte sich nur unwesentlich. Links der Versuch mit Landespflegeheu (siehe Abb. 3.4.10), rechts mit nur geringem Anteil Strukturmaterial (siehe Abb. 3.3.11). Zur Orientierung: die Durchgangshöhe des Kompostwenders beträgt ca. 1,7 - 1,8 m. Interessanterweise wiesen die beiden unterschiedlich intensiv abgebauten Komposte zum Abschluss vergleichbare TS-Gehalte (80 % bzw. 76 %) und C/N-Verhältnisse (17,0 bzw. 17,9) auf.

Der Zuschlag von Strukturmaterialien ist aber nicht nur bei vorrangig pflanzlichen Mieten vorteilhaft. Auch bei Mieten auf Basis von Mist lassen sich diese im späteren Rotteverlauf oder bei langen Rotte-/Liegezeiten stabilisieren. So ist theoretisch ein Zusammenlegen von Mieten möglich, wodurch Fläche frei wird, der Zeit- und Energiebedarf für den Einsatz des Kompostwenders sinkt und - infolge größerer Mietenquerschnitte - ein günstigeres Volumen- Oberflächenverhältnis erhalten bleibt. Gleiches gilt auch bei ungeplant langen Liegezeiten, wie z.B. bei KSM/2023/15/5 und massiven Verzögerungen beim Ausbringen infolge anhaltender Niederschläge. Trotz deutlich verlängerter Lagerungszeit wurden negative Auswirkungen vermieden, das Nitrat-N war letztlich unter der Miete (mit Vliesabdeckung) sogar niedriger konzentriert, als in der offenen Fläche daneben (s.a. Kapitel 3.4.3).



Abbildung 3.3.11 Kompostmiete BDH aus Landschaftspflegeheu (Foto: Hellwig-Büscher)



Abbildung 3.3.12 Kompostmiete mit geringem Strukturmaterialanteil (Foto: Hellwig-Büscher)

### 3.3.2 Qualitäten Input-/Outputmaterial

#### 3.3.2.1 Rotterrelevante Parameter der Inputmaterialien

Während der Projektlaufzeit wurden 30 Inputmaterialmischungen hinsichtlich der Rotteparameter Wassergehalt, pH-Wert, organische Substanz, Gesamtstickstoffgehalt sowie C/N-Verhältnis untersucht.

Aufgrund der Art und Eigenschaften der auf den beteiligten Betrieben anfallenden Rohstoffe wurden bei der nachfolgenden Datenauswertung drei Kategorien unterschieden:

- **Pferdemist-Mix** (Nackterhof, NHF),
- **Mist-Mix** (Kleinsägmühlerhof, KSM)
- **Pflanzenaufwuchs-Mix** (BioBauern Biedesheim (BDH), Gerbachhof (GBH), Hof Risser (RIS), Hof Gallé (GAL))

In der Tabelle 3.3.1 sind die statistischen Kennzahlen Mittelwert, Median, Minimum und Maximum für die drei untersuchten Inputmaterialkategorien dargestellt. Die mit Hinblick auf einen optimalen Rotteverlauf zu Beginn des Kompostierungsprozesses einzuhaltenden Zielbereiche sind unterhalb der Tabelle benannt. Diese Ergebnisse werden auf den nachfolgenden Seiten ausführlich betrachtet. Die Einzelergebnisse können im Anhang (siehe Tab. 9.5.1) eingesehen werden.

Angemerkt sei, dass aufgrund der verhältnismäßig kleinen Stichprobeneinheiten die Ergebnisse teilweise mit großen Schwankungsbreiten behaftet sind. Dennoch sind die nachfolgenden Boxplot-Abbildungen hilfreich, um tendenzielle Unterschiede zwischen den drei Materialkategorien visuell aufzuzeigen.



## pH-Werte

Die Mittelwerte der pH-Wert-Messungen (in H<sub>2</sub>O) waren beim Pferdemist/-Mix und Mist-Mix mit pH 8,6 identisch, die Mediane lagen auf vergleichbarem Niveau (Abbildung 3.3.13). Beim Zwischenfurcht-Mix lagen sowohl Mittelwert als auch Median deutlich niedriger. Allerdings war die Schwankungsbreite bei letztgenannten mit Werten zwischen pH 5,8 und pH 9,6 deutlich höher als bei den anderen beiden Inputkategorien.

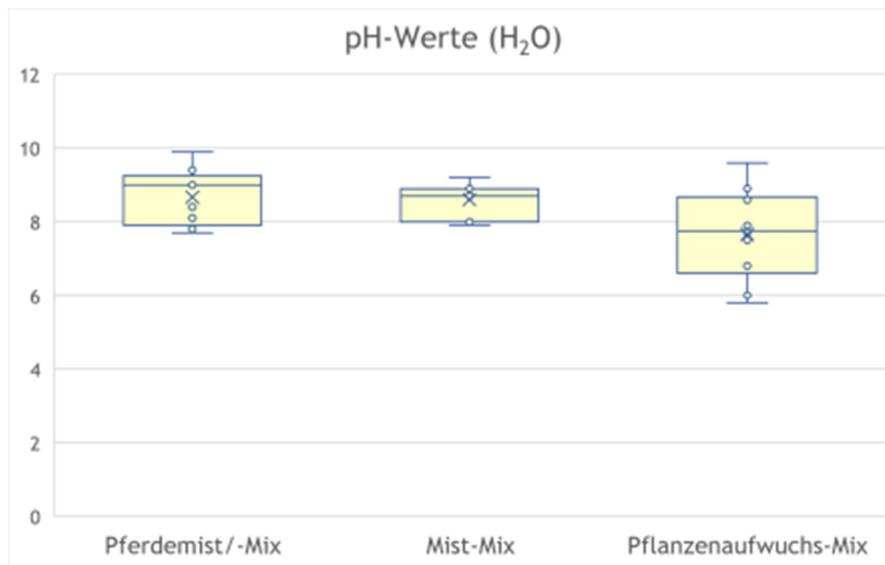


Abbildung 3.3.13 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H<sub>2</sub>O) der drei Inputkategorien ;(x= Mittelwerte)

Generell liegt der methodische Unterschied zwischen der pH-Wert-Messung in H<sub>2</sub>O und der Messung in CaCl<sub>2</sub> darin, dass erstgenannte in der Regel um 0,5 bis 1 pH-Wert-Einheit höher liegen, teilweise sogar noch deutlich höher. Im Bereich der Inputmaterialien für die Kompostierung spielen diese Unterschiede eine untergeordnete Rolle. Anders sieht es bei der Beurteilung von fertigen Komposten im Hinblick auf ihre Eignung in verschiedenen gartenbaulichen Bereichen aus, wo der pH-Wert eine große Rolle spielt (Herstellung von Kultursubstraten). In diesem Bereich werden pH-Wert-Messungen hierzulande in der Regel in CaCl<sub>2</sub> durchgeführt, da auch die entsprechenden Regelwerke dies fordern.

Dementsprechend ergaben auch bei den Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes die pH-Wert-Messungen in CaCl<sub>2</sub> durchweg niedrigere Werte als die Messungen in H<sub>2</sub>O (Abbildung 3.3.14). Bei allen drei Materialkategorien war die Schwankungsbreite insgesamt niedriger als bei der pH-Wert-Messung in H<sub>2</sub>O. Die Schwankungsbreite war auch hier innerhalb der Pflanzenaufwuchs-Mix-Chargen am größten. Mittelwert und Medianwert innerhalb der einzelnen Varianten lagen auf gleichem Niveau bzw. waren identisch. Da für den Mist-Mix allerdings nur zwei Einzelwerte vorliegen, ist das Ergebnis für diesen Materialmix nur von sehr eingeschränkter Aussagekraft.

Fast alle Materialmischungen lagen hinsichtlich des pH-Wertes im angestrebten Zielbereich für den Rottebeginn. Ausnahmen gab es nur bei zwei Pflanzenaufwuchs-Mix-Chargen. Mangels Verfügbarkeit von strukturreichen Materialien mit weitem C/N-Verhältnis bestanden sie in dem einen Fall zu 100 % aus Klee gras, in dem anderen zu 80 % aus Feldfutter gras. Die pH-Werte lagen mit pH 5,8 und 6,0 (in H<sub>2</sub>O) eindeutig im zu sauren Bereich. In diesem niedrigen pH-Wertbereich ist davon auszugehen, dass es zur Bildung organischer Säuren kommt. Diese haben einen negativen Einfluss auf die Mikroorganismen-tätigkeit, was wiederum Rottehemmungen nach sich zieht.

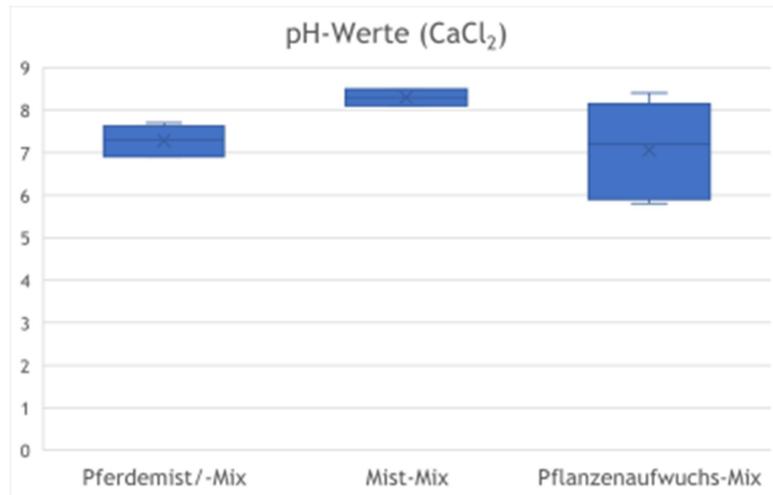


Abbildung 3.3.14 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (CaCl<sub>2</sub>) der drei Inputkategorien;(x= Mittelwerte)

### Wassergehalte

Für die Mehrzahl der Materialmischungen konnten die Wassergehalte gleich zu Beginn der Kompostierung in dem gewünschten Zielbereich zwischen 50 bis 70 % eingestellt werden (Abbildung 3.3.15). Werte außerhalb des Zielbereichs, sowohl nach oben als auch nach unten - konnten bei allen Materialkategorien festgestellt werden. Die Mittelwerte lagen dicht beieinander, beim Pflanzenaufwuchs-Mix lag der Median deutlich niedriger als bei den anderen beiden Kategorien.

Eine Kontrolle der Wassergehalte über die Faustprobe und der gegebenenfalls erforderliche Ausgleich von Wasserdefiziten erfolgte über Bewässerung in zeitnaheem Zusammenhang mit den Umsetzungsvorgängen.

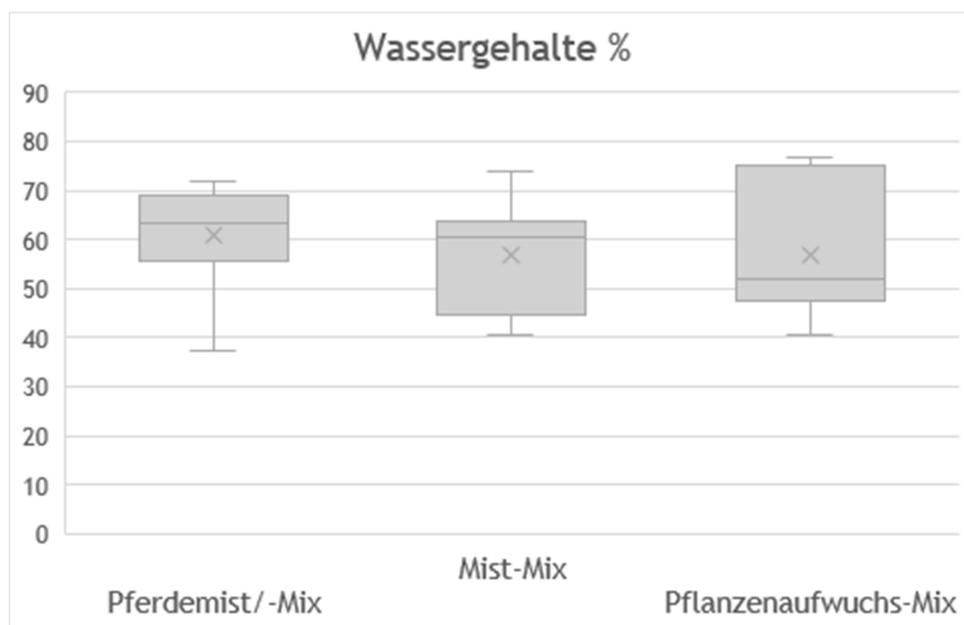


Abbildung 3.3.15 Statistische Kenngrößen der Wassergehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in %; (x= Mittelwerte)

## Stickstoffgehalte

Die Stickstoffgehalte der verschiedenen Materialmischungen zu Kompostierungsbeginn stieg in der Reihenfolge Pferdemist/-Mix < Mist-Mix < Pflanzenaufwuchs-Mix – sowohl in der Trockenmasse als auch bezogen auf die Frischmasse (Abbildung 3.3.16 und Abbildung 3.3.17).

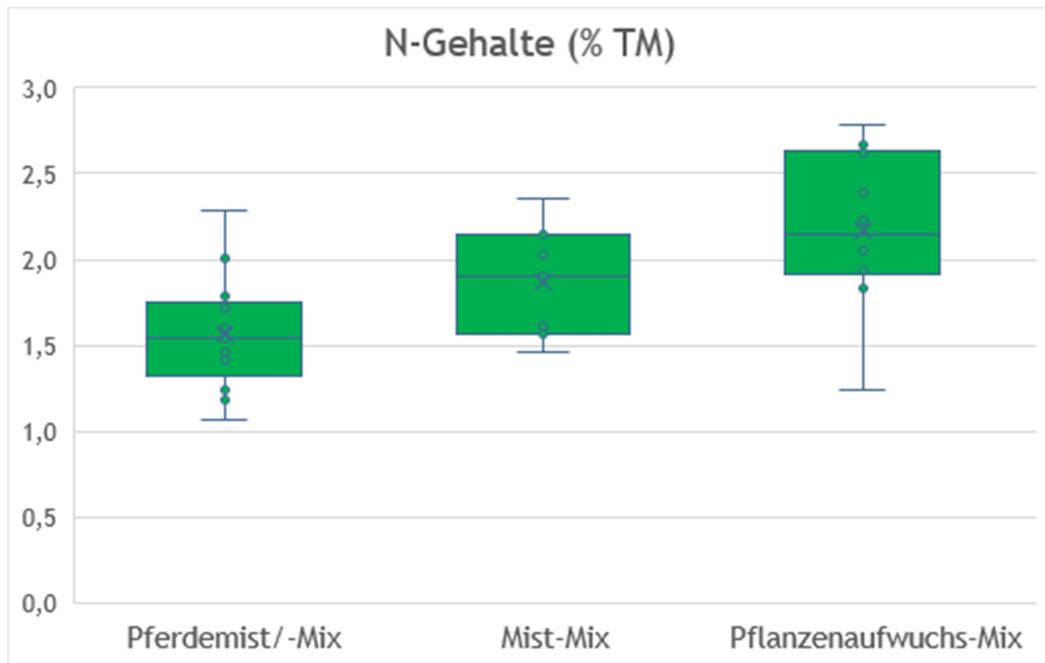


Abbildung 3.3.16 Statistische Kenngrößen der Stickstoff-(N)-Gehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in % TM; (x= Mittelwerte)

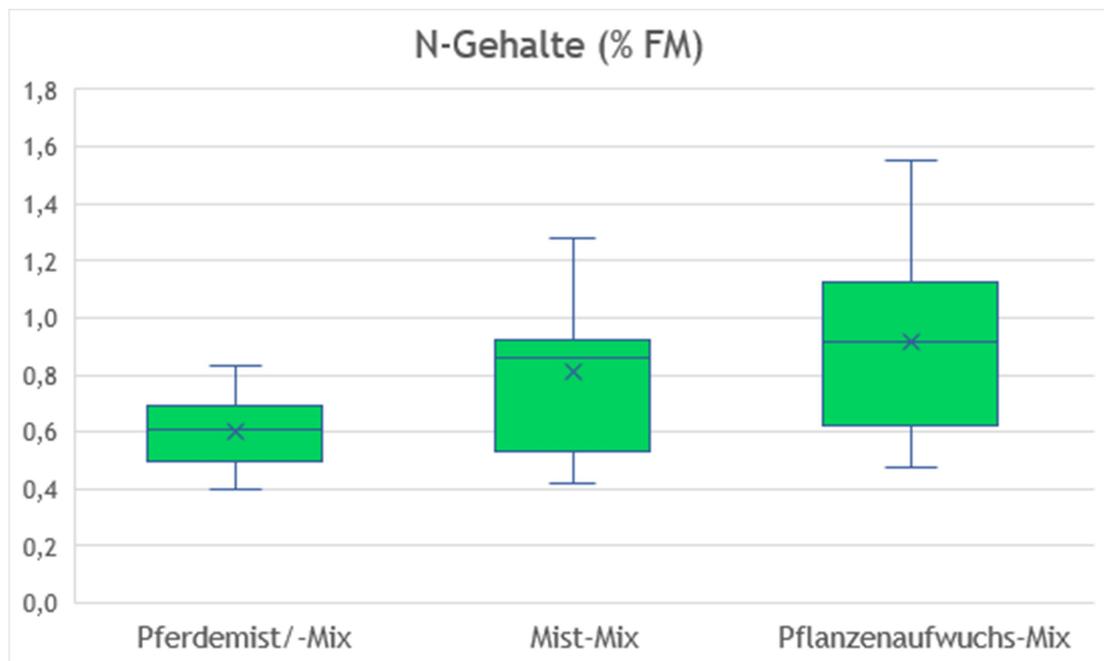


Abbildung. 3.3.17 Statistische Kenngrößen der Stickstoff-(N)-Gehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in % FM (x= Mittelwerte)

Im Mittel lagen sie

- bei ca. 1,55 % in der Trockenmasse bzw. ca. 0,6 % in der Frischmasse in der Pferdemist-/Mix-Kategorie,
- bei etwa 1,9 % in der Trockenmasse bzw. ca. 0,85 % in der Frischmasse in der Kategorie Mist-Mix
- bei 2,15 % in der Trockenmasse bzw. 0,92 % in der Frischmasse in der Zwischenfruchtmix-Kategorie

Zwischen den beiden letztgenannten Kategorien besteht somit ein vergleichsweise geringer Unterschied. Die Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Werten innerhalb einer Kategorie ist allerdings recht hoch.

### Gehalte an organischer Substanz

Die durchschnittlichen Gehalte an organischer Substanz lagen

- in der Pferdemist-/Mix-Kategorie bei etwa 68 % in der Trockenmasse bzw. 26 % in der Frischmasse,
- in der Kategorie Mist-Mix auf dem Niveau von etwa 60 % in der Trockenmasse bzw. ca. 27 % in der Frischmasse.

Bei der Pflanzenaufwuchs-Mix-Kategorie lagen Mittelwert und Median mit 71,9 bzw. 85,3 % in der Trockenmasse und 29,8 % bzw. 23,7 % in der Frischmasse weit auseinander. Die Mittelwerte wurden in dem Fall durch einen Ausreißer (27,1 % organische Substanz i.d. TM) nach unten verlagert. Auch beim Mist-Mix gab es einen deutlichen Ausreißer (28,2% i.d. TM).

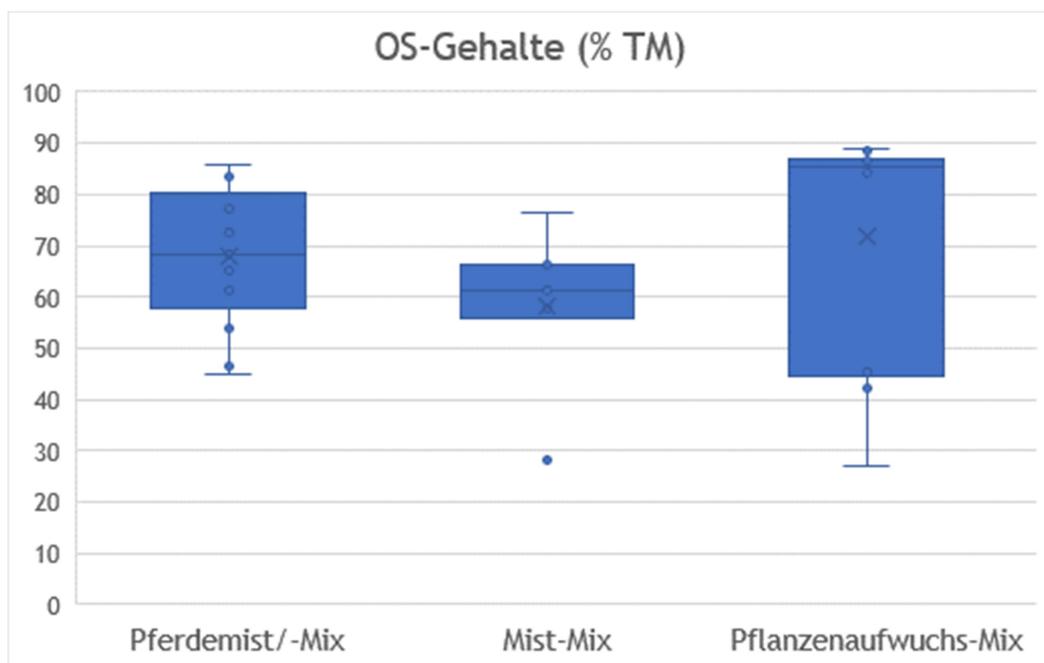


Abbildung 3.3.18 Statistische Kenngrößen der Gehalte an organischer Substanz bei den unterschiedlichen Inputkategorien in % TM; (x= Mittelwerte)

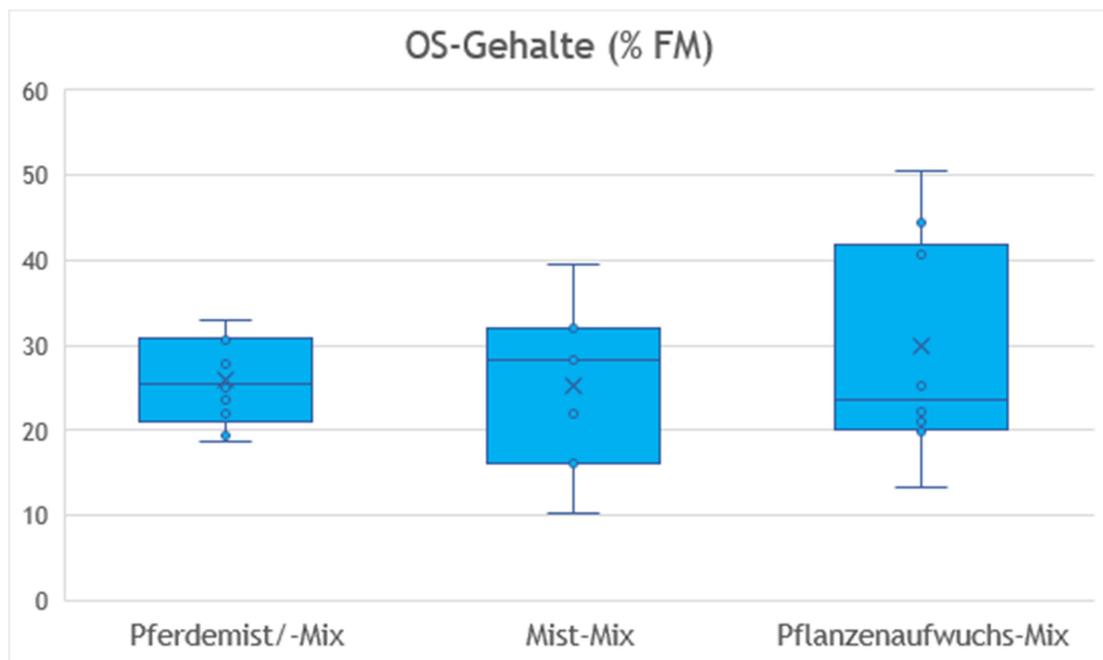


Abbildung 3.3.19 Statistische Kenngrößen der Gehalte an organischer Substanz bei den unterschiedlichen Inputkategorien in % FM; (x= Mittelwerte)

Wie schon bei einigen der zuvor besprochenen Parameter war auch bei den Gehalten an organischer Substanz die Schwankungsbreite der Werte beim Pflanzenaufwuchs-Mix am größten.

### C/N-Verhältnisse

Bei den C/N-Verhältnissen sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Materialmischen zu erkennen (s. Abbildung 3.3.20).

Erwartungsgemäß liegen die C/N-Verhältnisse bei der Pflanzenaufwuchs-Mix-Kategorie am niedrigsten. Mehr als die Hälfte der 10 Chargen wies ein C/N-Verhältnis im Bereich unter 20/1 auf. Bei Chargen mit derart niedrigen C/N-Verhältnissen ist davon auszugehen, dass unerwünschte gasförmige Stickstoffverluste während des Rotteprozesses auftreten.

Bei der Kategorie Mist-Mix lagen drei von sieben untersuchten Chargen mit einem C/N-Verhältnis zwischen 20/1 und 25/1 im akzeptablen Bereich, weitere drei Chargen wiesen ein suboptimales C/N-Verhältnis von unter 20/1 auf. Ein optimales C/N-Verhältnis wies die Charge auf, bei der 25 Vol.-% Holziges Strukturmaterial zugegeben wurden.

Am besten schnitt die Kategorie Pferdemit/-Mix ab, bei der zwei Drittel der Werte auf optimalem bzw. akzeptablem Startniveau lagen. Nur drei Ergebnisse unterschritten den Zielbereich und wiesen sehr niedrige Werte unter 20/1 auf. Dabei handelte es sich um Chargen, denen Klee gras bzw. Luzerne in unterschiedlichen Volumenanteilen (25 % / 50% / 75%) zugemischt wurde.

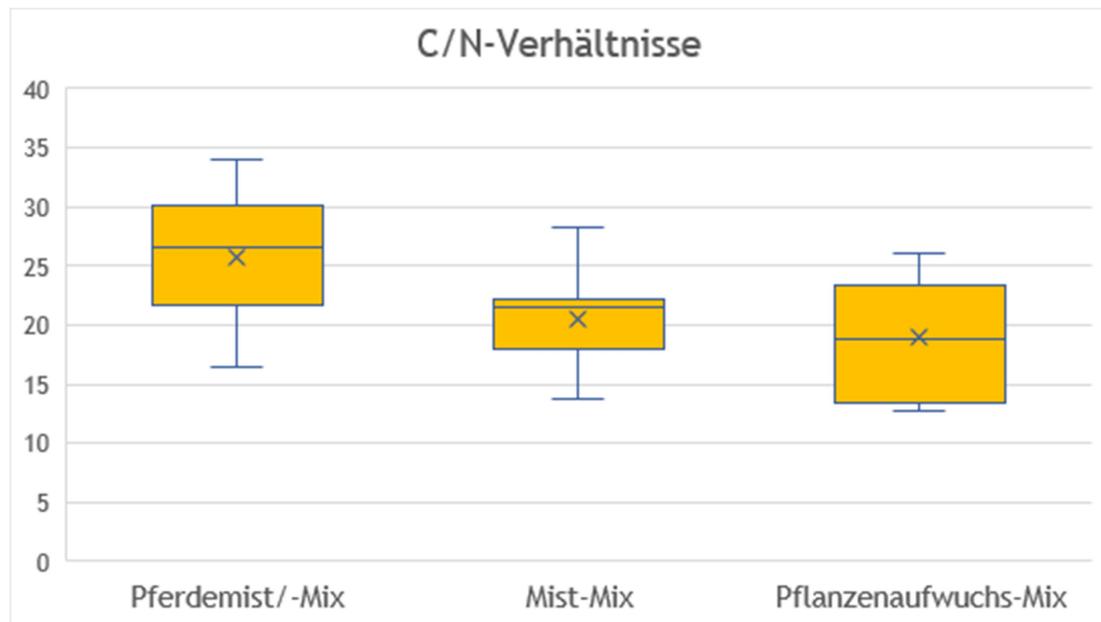


Abbildung 3.3.20 Statistische Kenngrößen C/N-Verhältnisse der unterschiedlichen Inputkategorien; (x= Mittelwerte)

## Fazit: Qualität der Inputmaterialmischungen

### Pferdemist/-Mix:

Der Einsatz des strohreichen Pferdemitest vom Nackterhof ist von den Eigenschaften her als alleiniger Rohstoff für die Kompostierung tauglich. Die Zugabe von holzreichem Strukturmaterial (z.B. Holzhäcksel) kann, vor allem bei sehr nassen Pferdemitestchargen, zur Feuchtigkeitsregulierung sinnvoll sein. Auch für eine Anhebung des C/N-Verhältnisses der Inputmaterialmischung in den Bereich zwischen 25/1 und 35/1 kann diese Maßnahme hilfreich sein. Bei zu geringer Feuchte der Inputmischung ist eine Bewässerung erforderlich, die ggf. beim Aufsetzen und der ersten Durchmischung der Mieten erfolgen kann.

### Mist-Mix:

Der Einsatz des Mist-Mixes des Betriebs Kleinsägmüherhof ist von den Eigenschaften her als alleiniger Rohstoff für den Kompostierungsprozess tauglich. Allerdings sollte aufgrund der C/N-Verhältnisse, die sich im vergleichsweise niedrigen Bereich von um die 20/1 bewegen, die Zugabe von ca. 25 bis ca. 30 Vol.-% holzreichem Strukturmaterial (z.B. Baum- und Strauchschnitt oder Holzhäcksel) zur Anhebung des C/N-Verhältnisses erfolgen. Bei zu geringer Feuchte der Inputmischung ist eine Bewässerung erforderlich, die ggf. beim Aufsetzen und der ersten Durchmischung der Mieten erfolgen kann.

Eine Bewässerung mit Gülle ist mit Blick auf die zuvor beschriebenen Zusammenhänge nicht zu empfehlen. Dadurch würde noch mehr Stickstoff in das Material eingetragen, das C/N-Verhältnis weiter eingengt und die Gefahr von Stickstoffausgasungen erhöht.

**Pflanzenaufwuchs-Mix:** Vom Einsatz von Klee gras und/oder Luzerne als alleiniger Rohstoff für die Kompostierung ist dringend abzuraten, da vor allem in Bezug auf das C/N-Verhältnis keine günstigen Rotteausgangsmischungen hergestellt werden können. In der Folge ist mit erheblichen Stickstoffverlusten in Form gasförmiger Emissionen sowohl aus den lagernden Kompostmieten als auch bei den Umsetzungsvorgängen zu rechnen. Geeignete Materialmischungen können aus Klee gras in Kombination mit holzigen und/oder strohreichen Reststoffen hergestellt werden, z.B.

- 1/3 Klee gras, 1/3 Stroh, 1/3 Holzhäcksel oder Grünschnitt
- 50 % Klee gras, 50 % Holzhäcksel oder Grünschnitt
- 1/4 Klee gras, 3/4 Holzhäcksel oder Grünschnitt

(vgl. dazu auch Lintzen, 2019, Bruns et al. 2023).

Eine Versuchsvariante, bestehend aus einer Mischung von 2/3 Luzerne mit 1/3 Champost, zeigte ebenfalls positive Effekte im Hinblick auf die Anhebung des C/N-Verhältnisses.

### 3.3.2.2 Kompostqualität

Während des Kompostierungsprozesses unterliegt die Rottematerialmischung umfangreichen Ab- und Umbauprozessen. Die Eigenschaften, z.B. Farbe, Struktur, pH-Wert, organische Substanz, Nährstoffgehalte und Stabilität verändern sich in Abhängigkeit von

- der Zusammensetzung der Ausgangsstoffe,
- der Dauer, den Rahmenbedingungen und der Intensität des Kompostierungsprozesses,
- den Bedingungen des mikrobiologischen Abbaus.

Insgesamt wurden 41 fertige Komposte (=Output) innerhalb der Projektlaufzeit untersucht. Dabei handelte es sich um

- 18 Chargen Pferdemit-/Mix
- 6 Proben Mist-Mix
- 17 Proben Pflanzenaufwuchs-Mix

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse für die einzelnen Qualitätsparameter in zusammengefasster Form vorgestellt und die Materialkategorien im Hinblick auf ihre pflanzenbaulichen Eigenschaften, Stabilität und Schwermetallgehalte gegenübergestellt. Zum Vergleich werden die Qualitätskriterien und die Eigenschaften von Bio- und Grüngutkomposten aus der RAL-Gütesicherung der Bundesgütegemeinschaft Kompost ev. herangezogen. Für Komposte, die der RAL-Gütesicherung unterliegen, gelten folgende Basisanforderungen:

- Die Grenzwerte für Schwermetalle und Fremdstoffe werden eingehalten.
- Das Produkt ist aus seuchen- und phytohygienischer Sicht einwandfrei (Einhaltung der Grenzwerte an Salmonellen, Unkrautsamen und austriebsfähige Pflanzenteile).
- Das Material ist pflanzenverträglich für den vorgesehenen Anwendungsbereich.
- Folgende Parameter werden untersucht und im Prüfzeugnis aufgeführt:  
Trockensubstanz/ Wassergehalt, Rohdichte, pH-Wert, Salzgehalt, organische Substanz, Pflanzennährstoffe gesamt und löslich, basisch wirksame Stoffe, C/N-Verhältnis.

Für die Vermarktung in den ökologischen Landbau gelten bei den Kriterien Schwermetalle, Fremdstoffe, Hygiene (keimfähige Unkrautsamen) und der Kompostreife höhere Anforderungen als beim regulären RAL Gütezeichen Kompost.

In Anhang 9.5 dieses Berichts ist eine Zusammenstellung aller Analysenergebnisse der untersuchten Komposte zu finden. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse besprochen.

### 3.3.2.3 Wassergehalt, Rohdichte, pH-Wert und Salzgehalt

Wie bereits im Zusammenhang mit den Eigenschaften der Inputmaterialien beschrieben, kann Wasser zu einem begrenzenden Faktor werden für den Rotteprozess und damit auch für die Qualität der erzeugten Komposte. Überschüssiges Wasser behindert den Zugang zu Sauerstoff und kann zu anaeroben Bedingungen und fauligen Gerüchen führen. Gleichzeitig wird dabei klimaschädliches Methan ( $\text{CH}_4$ ) gebildet und der Rotteprozess wird aufgrund eingeschränkter mikrobieller Aktivität gehemmt. Umkehr kann auch ein zu geringer Feuchtigkeitsgehalt zu einer eingeschränkten mikrobiellen Aktivität und einer langsameren Zersetzung führen.

Je nach der Wasserkapazität des Ausgangsmaterials liegt der optimale Feuchtigkeitsgehalt zu Beginn des Kompostierungsprozesses zwischen 55 und 65 %. Im Laufe des Kompostierungsprozesses wird der Wassergehalt mit zunehmender Zersetzung langsam reduziert. Mit Blick auf Transport und Streufähigkeit des Materials ist es förderlich, wenn der Feuchtigkeitsgehalt eines Frischkompostes für die landwirtschaftliche Nutzung zwischen 40 und 45 % liegt, der eines reifen Kompostes für höherwertige Anwendungen zwischen 30 und 40 %. Der Grenzwert des RAL-Gütezeichens für Kompost liegt bei einem Wassergehalt von maximal 45 %. Bei Komposten mit einem Anteil an organischer Substanz von mehr als 40 % sind höhere Wassergehalte zulässig.

Landwirte, die Kompost als Düngemittel auf ihren Flächen ausbringen, müssen die Menge der enthaltenen Nährstoffe in Gewicht pro Flächeneinheit berechnen. Daher ist es erforderlich, die Menge der einzelnen Parameter in Gewichtseinheit pro Trockenmasse in % sowie den Wassergehalt in % des fertigen Kompostes zu kennen.

In der Praxis ist es im Zusammenhang mit Wirtschaftsdüngern zudem verbreitet, aufgrund fehlender Infrastruktur zur Erfassung der Gewichte die Aufwandmenge auf den Kubikmeter bezogen zu berechnen. Für diese Umrechnung ist die Kenntnis des jeweiligen Volumengewichtes (Schüttdichte, Rohdichte) erforderlich. Auch vor dem Hintergrund der Berechnung von Transportgewichten sollte dieser Parameter bekannt sein.

Der durchschnittliche Wassergehalt der Pferdemit-/Mix-Komposte lag im Vergleich zu gütegesicherten Grün- und Biogutkomposten hoch. Die beiden anderen Kategorien lagen diesbezüglich auf vergleichbarem Niveau (siehe Tab. 3.3.2 sowie Abb. 3.3.11 und 3.3.12). Die hohen Wassergehalte traten durchweg bei den Chargen auf, die während der Wintermonate kompostierten. Sie sind auf den Einfluss der winterlichen Niederschläge und Defizite bei der Mietenabdeckung zurückzuführen. Bei stürmischen Wetterlagen wurden die Vliese mehrfach von den Mieten heruntergeweht. Solange eine ausreichende Streufähigkeit des Materials vorliegt, ist dieser Wassergehalt nicht einschränkend auf die Verwertung.

Die Sommerchargen beim Pferdemit-/Mix weisen typischerweise einen deutlich niedrigeren Wassergehalt von auf dem Niveau um die 45% auf. Der Schwerpunkt der gefundenen Werte lag im Bereich zwischen ca. 45 bis 60 % Wassergehalt. Bei den beiden anderen Materialkategorien lagen die Wassergehalte im Schnitt etwas niedriger, sehr nasse und sehr trockene Chargen gab es aber auch da. Die größte Schwankungsbreite gab es bei den Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposten.

Sowohl beim Pferdemist/-Mix als auch beim Mist-Mix-Kompost ist erkennbar, dass die Zugabe des holzigen Strukturanteils zur Reduzierung des Wassergehaltes beigetragen hat. Die beiden Chargen wiesen am Ende des Kompostierungsprozesses vergleichsweise niedrige Wassergehalte von 25 bzw. 27 % auf.

Tabelle 3.3.2 Statistische Kenngrößen für Trockensubstanz/ Wassergehalte und Rohdichte, der verschiedenen Projektkomposte im Vergleich zu RAL-gütesicherten Komposten

Bezeichnung		TS (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Rohdichte (g/l FM)
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	48,3	52,3	454
Pferdemist/-Mix	Median	45,0	55,8	501
Pferdemist/-Mix	Min	34,9	27,0	51
Pferdemist/-Mix	Max	73,0	65,1	750
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	56,4	43,6	466
Mist-Mix	Median	59,7	40,3	467
Mist-Mix	Min	34,9	24,7	240
Mist-Mix	Max	75,3	65,1	680
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	58,9	41,1	334
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	63,3	36,7	230
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	29,3	19,5	92
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	80,5	70,7	1250
Grüngutkomposte <sup>1)</sup> <i>n=2011</i>	Mittelwert	60,1	39,9	618
	Median	60,5	39,5	620
Biogutkomposte <sup>2)</sup> <i>n=1908</i>	Mittelwert	62,7	37,3	643
	Median	62,9	37,1	645

<sup>1)2)</sup> = Medianwerte RAL-Gütesicherung BGK, 2021, persönliche Mitteilung Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

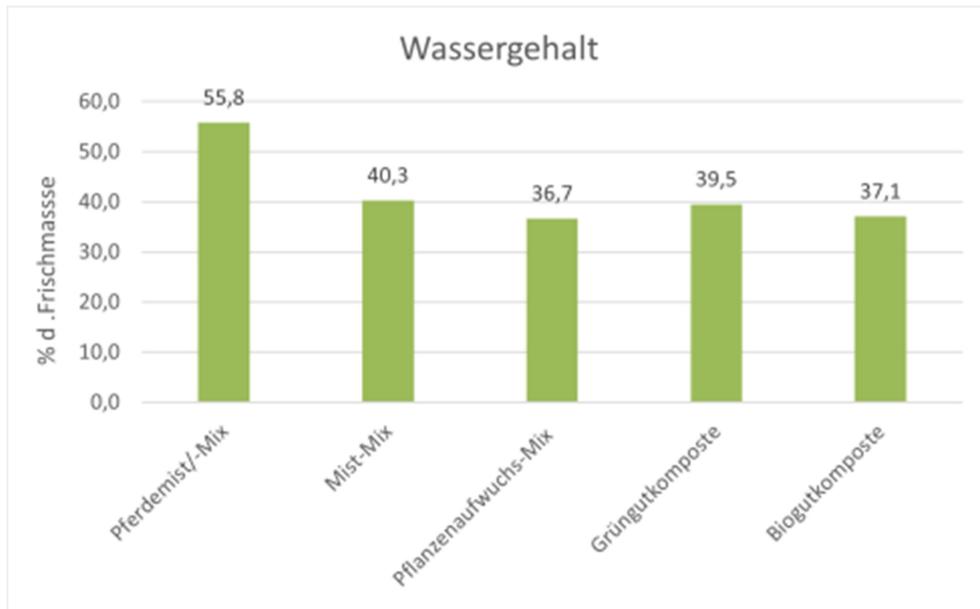


Abbildung 3.3.21 Wassergehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % der Frischmasse

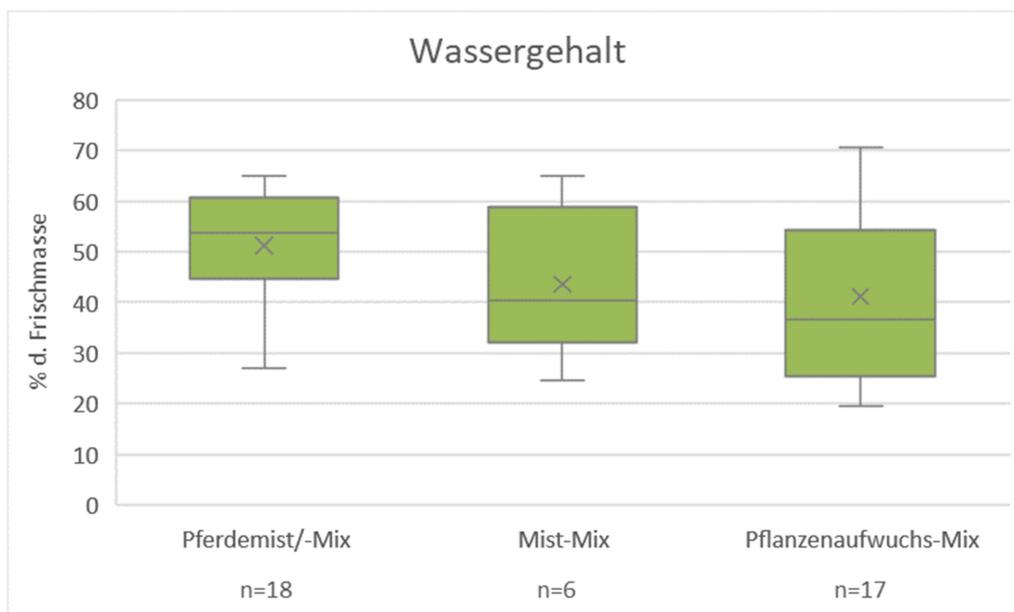


Abbildung 3.3.22 Statistische Kenngrößen der Wassergehalte der verschiedenen Projektkomposte in % FM (x=Mittelwerte)

Die **Schüttdichte** (hier synonym für Rohdichte) von Kompost nimmt im Allgemeinen mit dem Abbau der organischen Substanz und zunehmender Reife zu. Sie hängt aber auch mit dem Wassergehalt zusammen und – im Falle einer Absiebung – von der Größe der gewählten Sieblochung ab. Komposte mit auffallend niedrigen Schüttdichten können einen Hinweis darauf geben, dass das Material möglicherweise zu trocken, nicht ausreichend gereift und in der Folge nicht stabil ist.

Die durchschnittlichen Schüttdichten der Projektkomposte liegen auf niedrigerem Niveau als die Durchschnittswerte der gütegesicherten Bio- und Grüngutkomposte (siehe Tab. 3.3.2). Das ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass es sich bei den Produkten aus der RAL-Gütesicherung um abge-

siebte Materialien mit Korngrößen im Bereich von 0/10 mm bis etwa 0/20 mm handelt. Der höhere Feinanteil schlägt sich in höheren Schüttdichten nieder.

Innerhalb der Projektkomposte weisen die Pferdemit/-Mix-Chargen die höchsten Werte auf, bei einem sehr weiten Schwankungsbereich von 51 bis 750 g/l Frischmasse. Der hohe Wert ist eindeutig durch den hohen Wassergehalt der Probe bedingt. Bei den Sommerchargen erkennt man den Einfluss der niedrigeren Wassergehalte. Der sehr niedrige Wert stammt von der Variante „Wilde Miete, abgedeckt“. Hier kam der Rotteprozess von Beginn an nicht in Gang. Zum Ende der Kompostierung sah das Material aus wie zu Beginn des Prozesses (hoher Strohanteil erkennbar).

Im Vergleich dazu ist die Schwankungsbreite der Schüttgewichte bei den Mist-Mix-Komposten deutlich geringer. Der Durchschnitt liegt geringfügig unter dem Wert der Pferdemit/-Mix-Komposte. Die Rohdichten der beiden anderen Kategorien. Auch innerhalb dieser Kategorie gibt es eine große Schwankungsbreite der Werte. Nur zum Teil ist dies auf die jeweiligen Wassergehalte zurückzuführen. Einige Chargen befanden sich zum Ende des Kompostierungsprozesses in einem sehr rudimentär zersetzten Zustand, in dem die Ausgangsmaterialien noch gut zu erkennen waren und es keinen nennenswerten Freianteil gab.

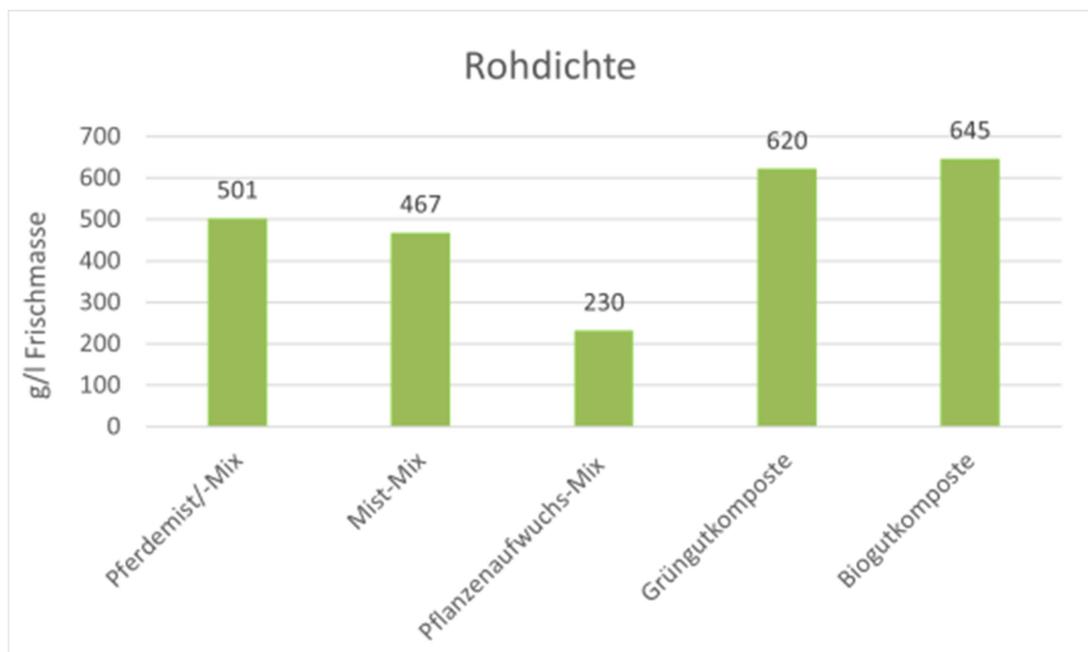


Abbildung 3.3.23 Rohdichten (Meridiane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte

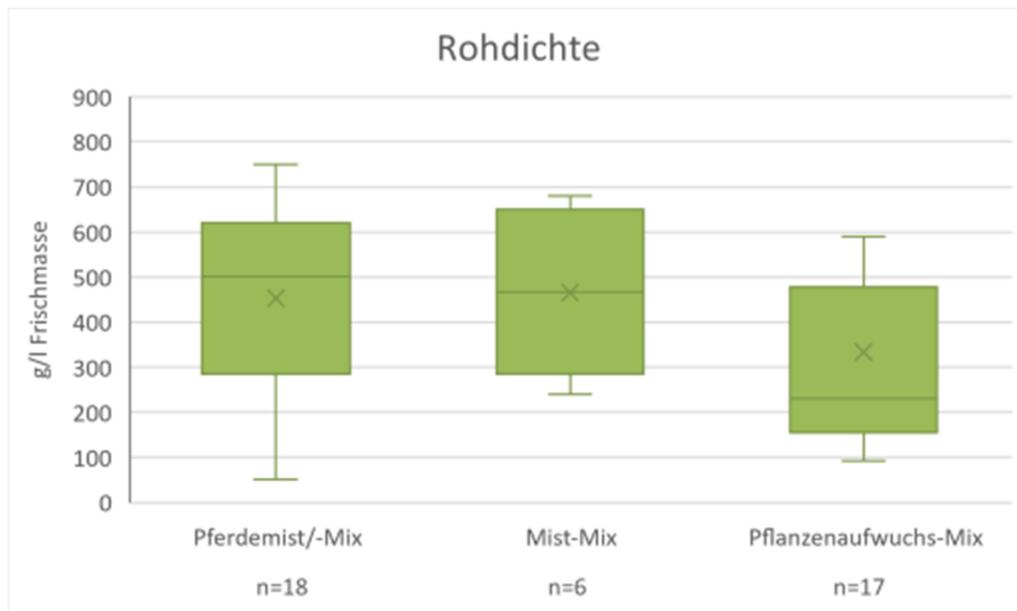


Abbildung 3.3.24 Statistische Kenngrößen der Rohdichten der verschiedenen Projektkomposte in g/l Frischmasse (x=Mittelwerte)

Die **pH-Werte** von fertigen Komposten liegen typischerweise meist zwischen 7 und 8,5. Die meisten Komposte sind nach der intensiven Abbauphase leicht alkalisch, einige können jedoch aufgrund der Eigenschaften ihres Ausgangsmaterials auch leicht sauer sein. Zu Beginn der Kompostierung steigt der pH-Wert durch die Bildung von Ammonium aus dem Proteinabbau (Ammonium wirkt basisch und demnach pH-Wert erhöhend) auf über 8 oder sogar 9 (bei der Messung in Wasser). Während der Reifung wird durch Nitrifikation aus Ammonium Nitrat gebildet und der pH-Wert sinkt wieder in den Bereich von 8,5 und schließlich unter 8.

Hohe pH-Werte schränken die Verwendung von Kompost in Spezialkulturen aus zwei Hauptgründen ein:

- viele Pflanzen vertragen keine alkalischen Bedingungen
- ein hoher pH-Wert führt zu Problemen bei der Verfügbarkeit verschiedener Pflanzennährstoffe

Komposte mit sauren pH-Werten sind in vielen Fällen unvollständig ausgereift und können daher erhöhte Konzentrationen an organischen Säuren enthalten. Organische Säuren sind ein normales Nebenprodukt der Zersetzung in den ersten Phasen des Kompostierungsprozesses, sollten aber in späteren Phasen nicht mehr vorhanden sein. Relativ hohe pH-Werte am Ende der Kompostierungsphase können - meist in Verbindung mit gleichzeitig hohen Ammoniumgehalten - einen Hinweis auf eine unzureichende Reife geben (s.o.).

Die Outputanalysen im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden, wie bereits zuvor erwähnt, analog zu den Methoden der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. durchgeführt. Diese Methodik umfasst die pH-Wert-Analytik in wässrigem Milieu, analog zu den Anforderungen der Bioabfallverordnung. Im Gartenbau ist die Bestimmung in einer  $\text{CaCl}_2$ -Suspension gebräuchlicher, in der Landwirtschaft häufig die Bestimmung in  $\text{KCl}$ -Lösung. Die in wässrigem Medium ermittelten pH-Werte liegen in Abhängigkeit u.a. vom Anteil an basisch wirksamen Stoffen in einer Größenordnung von mindestens 0,5 bis ca. 1 pH-Werteinheit über dem pH-Wert in  $\text{CaCl}_2$  bzw.  $\text{KCl}$ . Stichprobenartig bei einzelnen der Projektkomposte durchgeführte pH-Wert-Messungen im  $\text{CaCl}_2$ -Extrakt lieferten Werte, die um

1,1 bis 1,4 pH-Wert-Einheiten unter den in destilliertem Wasser gemessenen Ergebnissen lagen. Dies ist bei der Einordnung der pH-Werte der im Folgenden beschriebenen Projektkomposte zu berücksichtigen. Für Anwendungszwecke im Garten- und Landschaftsbau sowie im Bereich der Herstellung von Substraten (Oberbodenmaterial, Blumenerden), wo der pH-Wert eine besondere Rolle spielt, sind diese Unterschiede zu beachten. Vor dem Hintergrund der landwirtschaftlichen Anwendung spielen sie eine untergeordnete Rolle.

Die pH-Werte (H<sub>2</sub>O) der Projektkomposte liegen im Vergleich zu den durchschnittlichen Werten von Bio- und Grüngutkomposten aus der RAL-Gütesicherung um ca. 0,7 bis 1 pH-Wert-Einheit höher (s. Tab. 3.3.2 sowie Abb. 3.3.15 und Abb. 3.3.16). Aufgrund der doch sehr fortgeschrittenen Reife des Materials war hier ein niedrigeres pH-Wert-Niveau erwartet worden. Ein Vergleich der stichprobenartig bei einigen der Projektkomposte in CaCl<sub>2</sub> gemessenen pH-Werte mit dem von anderen Autoren bei Mistkomposten ermittelten Ergebnissen zeigt, dass sie etwa in demselben Schwankungsbereich von pH 7,6 bis 8,8 liegen (Fuchs et al., 2022).

Beim Pferdemist/-Mix könnte die Zugabe von holzigem Strukturmaterial einen senkenden Einfluss auf den pH-Wert gehabt haben. Die Schwankungsbreite der pH-Werte ist bei den Mist-Mix-Komposten nur sehr gering. Am höchsten ist diese bei den Pflanzenaufwuchs Mix-Komposten. Das Wertenniveau liegt bei den Mist-Mix-Komposten tendenziell etwas höher als bei den beiden anderen Kategorien.

Für den vorgesehenen landwirtschaftlichen Anwendungsbereich im Ackerbau spielt der pH-Wert jedoch eine untergeordnete Rolle und es gibt diesbezüglich keine Anwendungseinschränkungen.

Tabelle 3.3.2 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H<sub>2</sub>O) und Salzgehalte der verschiedenen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütesicherten Komposten

Bezeichnung		pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	Salzgehalt (1:5) (g KCl/l FM)
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	9,0	6,0
Pferdemist/-Mix	Median	9,2	5,7
Pferdemist/-Mix	Min	8,0	3,0
Pferdemist/-Mix	Max	9,4	9,3
Mist-Mix	Anzahl	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	9,4	7,3
Mist-Mix	Median	9,4	6,6
Mist-Mix	Min	9,0	4,9
Mist-Mix	Max	9,8	12,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	9,0	5,7
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	9,1	5,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	7,4	2,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	10,0	11,5
Grüngutkomposte <sup>1)</sup> n=2011	Mittelwert	8,1	2,5
	Median	8,3	2,3
Biogutkomposte <sup>2)</sup> n=1908	Mittelwert	8,3	5,9
	Median	8,5	5,6

<sup>1)2)</sup> = Medianwerte RAL-Gütesicherung BGK, 2021, persönliche Mitteilung Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

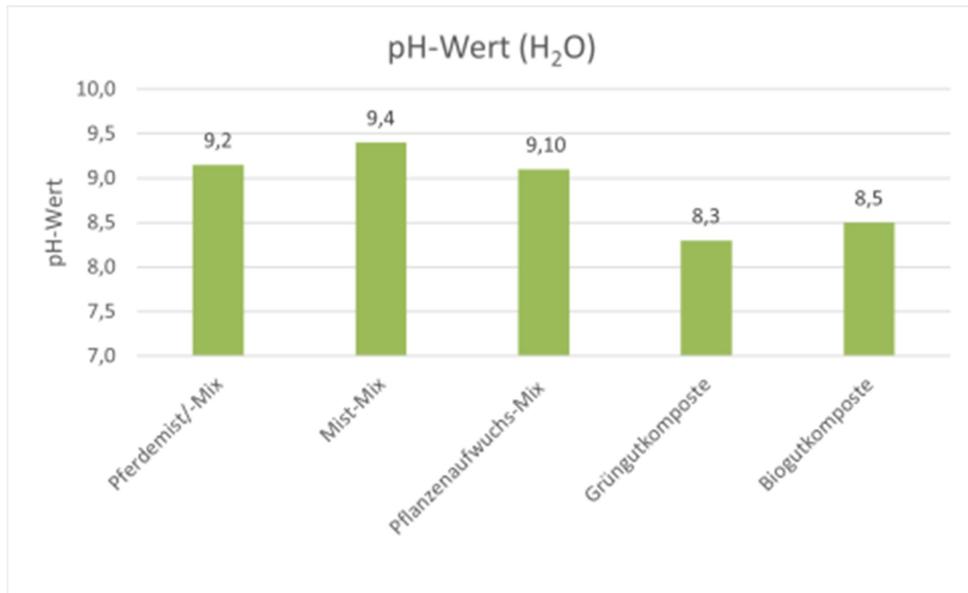


Abbildung 3.3.25 pH-Werte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Grün- und Biogutkomposten

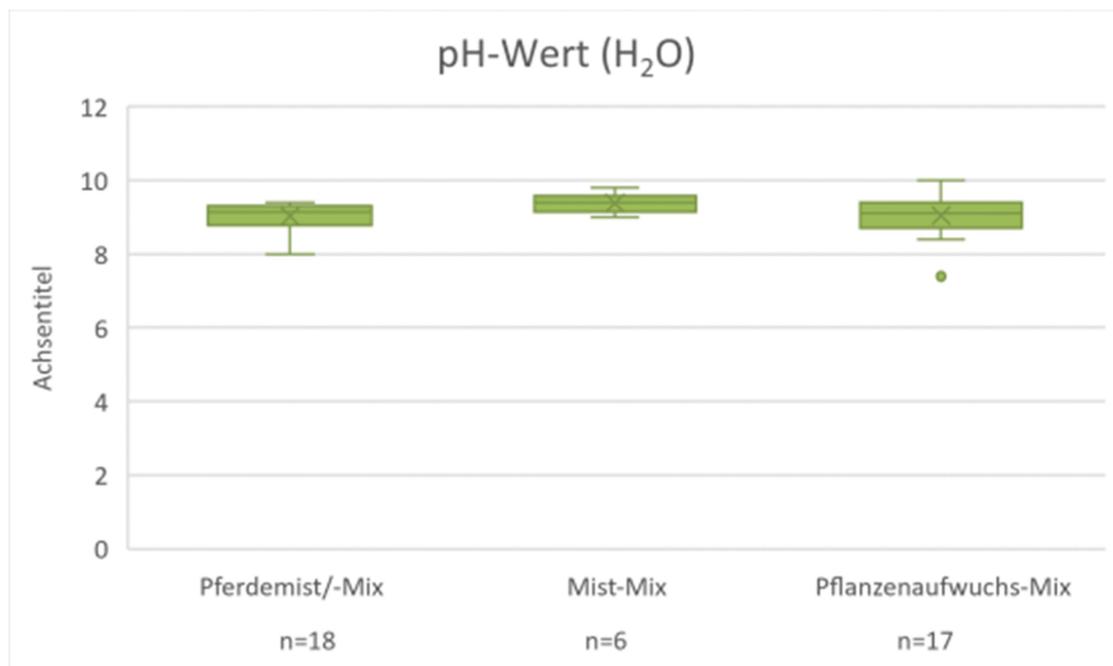


Abbildung 3.3.26 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H<sub>2</sub>O) der unterschiedlichen Projektkomposte (x=Mittelwerte)

Kompost enthält **Salze** in Form mineralischer Ionen. Die in den Pflanzenteilen enthaltenen Mineralien werden während des Kompostierungsprozesses durch den Abbau von organischer Substanz aufkonzentriert. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der bei der Kompostierung zum Einsatz kommenden Inputmaterialien unterliegen die erzeugten Komposte einer großen Schwankungsbreite hinsichtlich des Salzgehaltes. Komposte mit hohen Salzgehalten sind in der Regel nährstoffreich, da

die Nährstoffe bzw. Nährsalze - neben einigen pflanzenschädlichen Salzen - für den überwiegenden Anteil des gemessenen Salzgehalts verantwortlich sind.

Der Salzgehalt errechnet sich über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit. Der Nachteil dieser Methode ist, dass der Messwert keine Auskunft über die Art der vorhandenen Anionen oder Kationen gibt. Neben den rein düngenden, die sich günstig auf das Pflanzenwachstum auswirken, werden auch solche erfasst, die bei empfindlichen Einsatzzwecken, wie z.B. Gefäßkulturen, als unerwünscht eingestuft werden (z.B. Cl und Na).

Unerwünschte Wirkungen treten auf, wenn die Salze in zu hohen Konzentrationen auf die Pflanzen einwirken, d.h. von ihnen aufgenommen werden. Die verschiedenen Pflanzenarten reagieren sehr unterschiedlich auf die Salzkonzentration in dem Medium, in dem sie wachsen. Je nach Wachstumsstadium, ob Sämling, Jungpflanze oder ausgewachsene Pflanze, ist die Empfindlichkeit der Pflanzen unterschiedlich.

Bei einer landwirtschaftlichen Anwendung im Ackerbau und auf Grünland nach guter fachlicher Praxis und den damit einhergehenden Ausbringungsmengen spielt der Salzgehalt eine untergeordnete Rolle, während er bei der Anwendung von Komposten als Mischkomponente in Kultursubstraten von ausschlaggebender Bedeutung ist. Diese Art der Anwendung von landwirtschaftlichen Komposten war allerdings nicht Bestandteil der Untersuchungen im Rahmen des VELKO-Projektes und bedarf einer gesonderten Betrachtung.

Die ermittelten durchschnittlichen Salzgehalte der in vorliegendem Projekt produzierten Komposte lagen alle deutlich höher als der Durchschnitt der Grüngutkomposte (siehe Tab. 3.3.4 sowie Abb. 3.3.17 und 3.3.18). Sie lagen in dem Bereich, wie er auch bei Biogutkomposten üblich ist. Bei einer flächigen Anwendung in der Landwirtschaft mit Aufwandmengen nach guter fachlicher Praxis sind die Salzgehalte in einer Größenordnung, bei der in keiner Weise Pflanzenschäden oder Ertragsdepressionen zu erwarten sind.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass sich die pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte im Salzgehalt niederschlagen und damit hohe Salzgehalte in der Regel einhergehen mit hohen verfügbaren Kaliumgehalten.

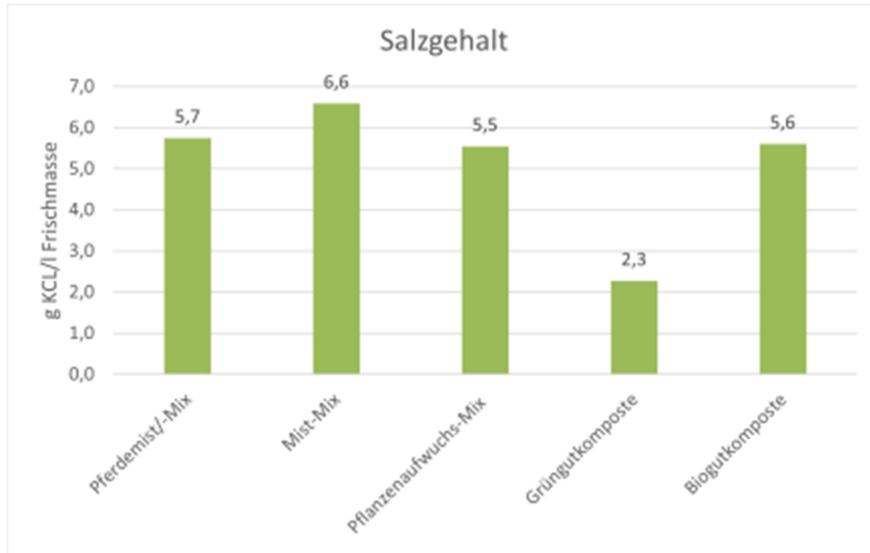


Abbildung 3.3.27 Salzgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Grün- und Biogutkomposten in g KCl/l Frischmasse

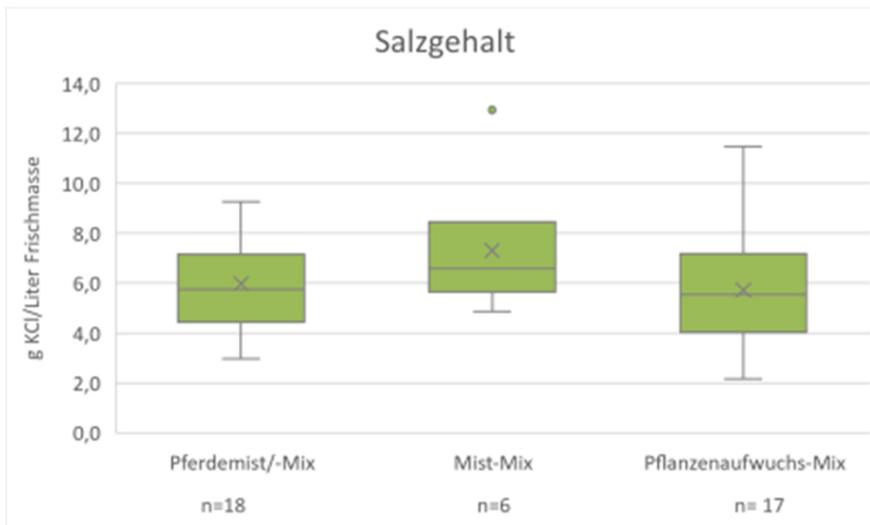


Abbildung 3.3.28 Boxplot: Statistische Kenngrößen der Salzgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in g KCl/l Frischmasse (x=Mittelwerte)

### Pflanzennährstoffe und Düngewirkung

Mit regelmäßigen Kompostgaben können den Böden beträchtliche Mengen an Haupt- und Spurennährstoffen zugeführt werden. Phosphor, Kalium und Magnesium liegen in Komposten überwiegend in relativ schnell pflanzenverfügbarer Form vor. Bei diesen Parametern kann Kompost Mineraldünger vollständig ersetzen.

Anders ist es beim Stickstoff. Mehr als 95 % des Stickstoffs im Boden liegt in organisch gebundener Form vor. Dieser Stickstoff ist damit von der Pflanze vorerst nicht nutzbar. Er muss zunächst zu einfachen und löslichen Formen, v.a. Ammonium und Nitrat zersetzt und mineralisiert werden, bevor er von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Sowohl Ammonium als auch Nitrat sind für das Pflanzenwachstum direkt verfügbar, liegen allerdings im Kompost nur in sehr geringen Mengen vor. Der Gehalt an löslichem Stickstoff ist von besonderer Bedeutung, da die jeweiligen Anteile von Nit-

rat-N und Ammonium-N am löslichen Stickstoff den Nitrifikationsprozess während der Kompostierung widerspiegeln:

Im ersten Abbauschritt von Eiweiß entsteht Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Bei hoher Temperatur und gleichzeitig hohen pH-Werten kann dadurch eine erhebliche Menge an Stickstoff gasförmig entweichen. Besonders hohe Stickstoffverluste sind zu befürchten, wenn gleichzeitig das C/N-Verhältnis niedrig, die Temperatur hoch und die Belüftungsrate ebenfalls hoch ist.

Im weiteren Rotteverlauf werden Bakterien aktiv, die Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) zu Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) oxidieren, mit dem Ergebnis, dass der Ammoniumgehalt sinkt. Im frühen Rottestadium ist kaum oder gar kein Nitrat nachzuweisen. Ein Anstieg der Nitratgehalte ist meist erst dann zu verzeichnen, wenn die Temperaturen in der Kompostmiete sich dauerhaft in den Bereich unter  $45^\circ\text{C}$  bewegen. Dabei wird die Höhe der Ammonium- und Nitratwerte auch wesentlich von der Zusammensetzung des Rotteguts bestimmt. Für den Kompostierungsprozess ist es wichtig, dass auf die thermophile Hygienisierungsphase mit hohen Temperaturen eine mesophile Phase folgt, in der die Mientemperatur von  $40$  bis  $45^\circ\text{C}$  nicht überschritten wird, da der biologische Prozess der Nitrifikation bei zu hohen Temperaturen gehemmt wird.

Zu hohe Ammoniumgehalte bei fortgeschrittener Rottezeit können einen Hinweis auf einen geringen Rottegrad geben. Hohe Ammoniumgehalte können bedingt durch die  $\text{NH}_3$ -Ausgasung in sensiblen Anwendungsbereichen phytotoxisch sein, insbesondere für Keimlinge, wobei die Anfälligkeit je nach Pflanzenart unterschiedlich ist.

Bei sehr reifen Komposten liegen mehr als  $80\%$  des löslichen Stickstoffs in Nitratform vor (Verhältnis Nitrat-N/ $\text{N}_{\text{lös}}$   $> 0,8$ , s. dazu Baier et al., 2022, Fuchs, 2023). Die organische Substanz ist dann bereits zu erheblichen Anteilen in schwer abbaubare Humusverbindungen umgewandelt worden und eine Stickstofffixierung ist kaum zu erwarten. Diese Art von Komposten sind besonders geeignete für anspruchsvolle Anwendungsbereiche, z.B. als Bestandteil von Erden und Kultursubstraten.

Für die landwirtschaftliche Anwendung im Acker- und Gemüsebau sowie auf Grünlandflächen ist es nicht zwingend erforderlich, die Komposte so weit ausreifen zu lassen, sofern die direkte Düngewirkung des Materials und weniger der Humusaufbau im Boden im Vordergrund steht. Liegt der Anteil des Nitrat-N am löslichen Stickstoff unter  $40\%$ , so ist von einer Stickstofffixierung auszugehen (Verhältnis Nitrat-N/ $\text{N}_{\text{lös}}$   $< 0,4$ ). Die Aussagefähigkeit des Verhältnisses von Nitrat-N : löslichem Stickstoff ist allerdings nur dann gegeben, wenn verfügbarer Stickstoff in nennenswerter Menge vorhanden ist (s. dazu Baier et al., 2022, Fuchs 2023, Van der Wurff et al, 2023).

Tabelle 3.3.3 sowie Tabelle 9.5.3 im Anhang verdeutlichen, dass bei den im Projekt untersuchten Komposten bis auf wenige Ausnahmen deutliche lösliche Stickstoffgehalte gemessen werden konnten, dass sich ihre Anteile am Gesamtstickstoffgehalt allerdings auf sehr niedrigem Niveau bewegen, und zwar überwiegend zwischen  $0,1$  und  $0,5\%$  des Gesamtstickstoffgehaltes. Dieses deckt sich mit den Ergebnissen von Fuchs et al. (2022) und ist generell auch von und Grüngutkomposten bekannt.

Bei der Mehrzahl der Komposte lag der Nitratanteil am löslichen Stickstoff über  $40\%$  (siehe Abb. 3.3.19). Dies weist auf einen fortgeschrittenen Reifezustand hin und lässt auf eine Eignung der Produkte für die Anwendung in der Landwirtschaft und teilweise auch in sensibleren Anwendungsbereichen schließen. Im Durchschnitt erreichten die Pferdemit/-Mix- sowie Mist-Mix-Komposte danach den ausgereiftesten Zustand. Eine Stickstofffixierung kann weitgehend ausgeschlossen werden. Betrachtet man die durchschnittlichen löslichen Stickstoffgehalte (gesamt), so weisen die Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposte die höchsten Gehalte auf, der Pferdemit/-Mix-Komposte die niedrigsten.

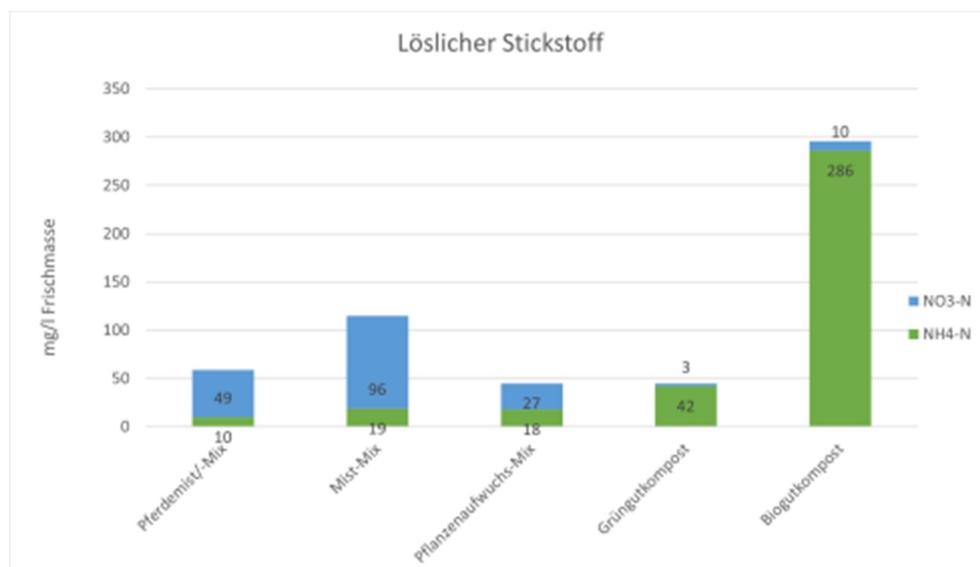


Abbildung 3.3.29 Lösliche Stickstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten von RAL gütegesicherten Komposten in mg/l FM

Tabelle 3.3.3 Statistische Kenngrößen für die unterschiedlichen Stickstofffraktionen der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Komposten

Bezeichnung		N <sub>lös.</sub> (CaCl <sub>2</sub> ) (mg/l FM)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l FM)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l FM)	N <sub>lös.</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	N ges. (% TM)	N ges. (% FM)	N ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18	18	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	104	14	90	0,10	1,67	0,80	3,47
Pferdemist/-Mix	Median	71	10	49	0,07	1,67	0,72	3,46
Pferdemist/-Mix	Min	3	2	1	0,00	0,95	0,53	0,36
Pferdemist/-Mix	Max	301	53	286	0,30	2,12	1,17	5,47
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6	6	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	122	18	104	0,12	1,75	0,96	4,12
Mist-Mix	Median	112	19	96	0,11	1,86	1,00	4,22
Mist-Mix	Min	32	5	1	0,03	1,14	0,67	2,59
Mist-Mix	Max	217	31	212	0,22	2,18	1,33	5,89
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17	17	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	123	53	70	0,12	2,19	1,26	3,39
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	118	18	27	0,12	2,14	1,23	3,69
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	10	1	1	0,01	0,52	0,30	1,17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	321	315	248	0,32	3,28	2,22	6,34
Grüngutkomposte <sup>1)</sup>	Mittelwert	116	88	28	0,12	1,19	0,72	4,42
<i>n=2011</i>	Median	73	42	3	0,07	1,16	0,70	4,35
Biogutkompost <sup>2)</sup>	Mittelwert	436	363	73	0,44	1,55	0,97	6,25
<i>n=1908</i>	Median	367	286	10	0,37	1,51	0,95	6,13

<sup>1)2)</sup> = Medianwerte RAL-Gütesicherung BGK, 2021, persönliche Mitteilung Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Biogutkomposte weisen im Schnitt einen deutlich höheren löslichen Stickstoffanteil auf. Die Projektkomposte sind diesbezüglich vergleichbar mit Grüngutkomposten. Im Vergleich zu den Projektkomposten sind durchschnittliche RAL-gütegesicherte Komposte deutlich weniger reif (s. Verteilung Nitrat-/Ammonium-N).

In Tab. 3.3.4 sind die Gesamtstickstoffgehalte zu Kompostierungsbeginn („Input“) den Werten am Ende des Kompostierungsprozesses („Output“) gegenübergestellt. Danach lag die Konzentration an Gesamtstickstoff bei 62 % der Proben (18 von 29) am Ende höher als zu Beginn. Die relative Aufkonzentrierung betrug dabei zwischen +1 bis +43 % (im Mittel +18,7 %) und ist v.a. eine Folge des mit dem Abbau der organischen Substanz einhergehenden Rotteverlustes an Trockenmasse (TM).

Tabelle 3.3.4b Stickstoffgehalte der unterschiedlichen Materialmischungen zu Kompostierungsbeginn und -ende

Bezeichnung	Art der Inputmaterialien	N <sub>ges.</sub> Input (% TM)	N <sub>ges.</sub> Output (% TM)	Differenz N <sub>Out</sub> : N <sub>In</sub>	Differenz %
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,6	1,52	-0,08	-5,0%
Pferdemist/-Mix	2/3 Pferdemist + 1/3 Luzernegras	1,18	1,69	0,51	43,2%
Pferdemist/-Mix	50 % Pferdemist, 50 % Klee gras	1,64	1,65	0,01	0,6%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,42	1,92	0,5	35,2%
Pferdemist/-Mix	75 % Pferdemist, 25 Klee gras	2,01	2,1	0,09	4,5%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,71	1,87	0,16	9,4%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,78	1,62	-0,16	-9,0%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,41	1,68	0,27	19,1%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,46	1,87	0,41	28,1%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,46	1,33	-0,13	-8,9%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,46	1,58	0,12	8,2%
Pferdemist/-Mix	100 % Pferdemist	1,46	1,31	-0,15	-10,3%
Pferdemist/-Mix	2/3 Pferdemist + 1/3 Luzernegras	1,54	1,81	0,27	17,5%
Pferdemist/-Mix	2/3Pferdemist, 1/3 Struktur (holz ig)	1,06	0,95	-0,11	-10,4%
Pferdemist/-Mix	1/3 Pferdemist + 2/3 Luzernegras	2,28	2,12	-0,16	-7,0%
Mist Mix	100 % Mist-Mix mit Gülle bewässert	1,56	1,93	0,37	23,7%
Mist Mix	100 % Mist-Mix mit Gülle bewässert	1,90	1,93	0,03	1,6%
Mist Mix	100 % Mist-Mix mit Gülle bewässert	1,61	2,18	0,57	35,4%
Mist-Mix	100 % Mist-Mix mit Gülle bewässert	2,15	2,03	-0,12	-5,6%
Mist-Mix	100 % Mist- Mix	2,35	1,14	-1,21	-51,5%
Mist-Mix	75 % Mist-Mix, 25 % Struktur (holz ig)	1,46	1,41	-0,05	-3,4%
Pflanzenaufwuchs-Mix	60 % Luzerne (alt), 40 % Pferdemist	2,05	2,14	0,09	4,4%
Pflanzenaufwuchs-Mix	70 % Luzerne, 30 % Champost	1,83	2,43	0,60	32,8%
Pflanzenaufwuchs-Mix	50 % Klee gras, 25 % Wiesengras, 25 % Rindermist	2,62	1,94	-0,68	-26,0%
Pflanzenaufwuchs-Mix	78 % Weidelgras, 18 % Schafsmist, 4 % Sonstiges	2,67	2,16	-0,51	-19,1%
Pflanzenaufwuchs-Mix	70 % Klee gras, 30 % Rindermist	1,34	1,85	0,51	38,1%
Pflanzenaufwuchs-Mix	100 % Klee gras	2,23	2,42	0,19	8,5%
Pflanzenaufwuchs-Mix	100 % Klee gras (Silage)	2,79	2,89	0,1	3,6%
Pflanzenaufwuchs-Mix	100 % Klee gras (Kompost)	2,79	3,03	0,24	8,6%

Eine relative Abreicherung der Gesamtstickstoffgehaltes von -3 bis -51 % (im Mittel -14,2 %) hat bei 11 von 29 (= 38 %) der Proben stattgefunden. Zwei Proben mit sehr hoher Abreicherung (-19 bzw. -26 %) wurden bei den Pflanzenbau-Mix-Komposten mit einem sehr hohen Anteil (75-78 %) an jungem Grün-/Gras-/Klee-/Pflanzenmaterial gefunden, während die Varianten aus weitgehend bzw. vollständig Festmist überwiegend bei -3 bis -10 % lagen (im Mittel ca. (-8,5 %).

Zu beachten ist, dass es sich bei den aufgeführten Daten lediglich um die Darstellung der relativen Unterschiede der N-Gehalte in Input und Output handelt. Diese geben eine grobe Orientierung zu möglichen Bereichen der N-Verluste, lassen aber **keine** exakte Aussage zu den **tatsächlichen N-Verlusten** zu, die aufgrund von N-Ausgasungen und N-Auswaschung zustande kommen (siehe Kap. 3.4).

Konkret ergeben sich die TM-bezogenen N-Konzentrationen im Material zum Abschluß der Kompostierung als Saldo aus dem Wechselspiel zweier „gegenläufiger“ Effekte während des Kompostierungsprozesses:

- der **relativen** Aufkonzentrierung von Nährstoffgehalten aufgrund der Rotteverluste an Trockenmasse und
- dem o.g. **tatsächlichen** Verlust von N über Sickerwasser und Gasphase.

Sind die Trockenmasseverluste höher als die N-Verluste führt das zu steigenden **N-Konzentrationen** in Bezug auf die Trockenmasse nach Rotteabschluss. Dies bedeutet jedoch nicht, dass **mengenmäßig** mehr N im fertigen Kompost als im Inputmaterial enthalten ist, vielmehr handelt es sich hier um eine **relative Aufkonzentrierung**. Und umgekehrt: Sind die N-Verluste höher als die Trockenmasseverluste sinken die N-Konzentrationen im Kompost zum Rotteende.

Daher sind weder die o.g. N-Abreicherungen beim Vergleich der N-Konzentrationswerte von Input und Output direkt mit den N-Verlusten über Auswaschung und Freisetzung gasförmiger Emissionen gleichzusetzen, noch gar die aufgeführten Aufkonzentrierungen mit einer „Anreicherung“ des Materials mit N. Zur tatsächlichen Bestimmung der N-Verluste hätte neben der Bestimmung der N-Konzentrationen zusätzlich eine komplette Verwiegung der chargenbezogenen Input- und Outputmaterialien durchgeführt werden müssen. Dies war aber weder methodisch noch wiegetechnisch umsetzbar und lag nicht im primären Fokus des vorliegenden Projektes.

Auch konnte im Rahmen vorliegenden Praxisversuche methodisch und Aufwand-bedingt keine exakte Ermittlung von Rotteverlusten an TM, OM und Asche erfolgen, die zu einer weiteren Einordnung von Nährstoffverlusten bei N und anderen Nährstoffen hätte beitragen können. Gleichwohl geben die ermittelten Differenzen der N-Konzentrationswerte von Input und Output einen Hinweis auf mögliche Bereiche der N-Verluste während dieser Praxisversuche, sofern man aus der Literatur bekannte, übliche TM-Verluste auch bei den VELKO-Komposten unterstellt (Vogtmann et. al., 1989; Gottschall, 1995; ITADA, 2001; Raup und Oltmanns, 2006).

So zeigen die hohen Raten der relativen N-Aufkonzentrierung während des Rotteprozesses zwischen ca. 20-43 % bei einer Reihe von Komposten an, dass die N-Verluste hier aller Wahrscheinlichkeit eher niedrig lagen, d.h. unter 20 %, z.T. ggf. sogar unter 10 %, unterstellt man, dass bei diesen Varianten auch übliche TM-Verluste zwischen ca. 35-50 % während der Kompostierung stattfanden. Bei etlichen anderen Komposten mit einer relativen N-Aufkonzentrierung von lediglich 0-10 % zum Rotteende dürften die N-Verluste hingegen über 20 % bis ca. 35 % gelegen haben. Dies wiederum sind Werte, die vielfach als „üblicher mittlerer Bereich“ für die N-Verluste bei der Festmistkompostierung angenommen werden (Gottschall, 1995; ITADA, 2001; Raup und Oltmanns, 2006).

Weiterhin kann aus dem starken Abfall der N-Konzentration in den beiden vorgenannten Komposten aus jungen pflanzlichen Inputmaterialien zum Kompostierungsende hin geschlossen werden, dass hier sehr hohe N-Verluste auftraten, vermutlich im Bereich über 40 %. Dies ist für solche Materialien, wenn sie ohne wesentliche Strukturträgeranteile mit weitem C/N-Verhältnis oder andere (v.a. schnell verfügbare) C-Quellen kompostiert werden, ebenfalls ein inzwischen bekanntes Phänomen. So stell-

ten Bruns et. al. (2022) fest, dass die N-Verluste bei der reinen Kleegraskompostierung ohne vorgenannte Zuschlagstoffe bis über 50 % erreichen können.

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf die die Gesamtnährstoffgehalte Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium lassen sich wie folgt zusammenfassen):

- Es handelt sich um Komposte mit vergleichsweise hohen Nährstoffgehalten. Dies begründet sich in der Art der eingesetzten Rohstoffe mit hohen Nährstoffgehalten. Im Verlauf des Kompostierungsprozesses konzentrieren sich diese aufgrund des mit der Mineralisierung der organischen Substanz einhergehenden Materialschwundes auf. Die prozentualen Anteile von Stickstoff, Phosphor und Kalium (bezogen auf die Trockenmasse) liegen bei allen Projektkomposten im Mittel über dem Durchschnittsniveau von Bio- und Grüngutkomposten aus der RAL-Gütesicherung (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Tab. 3.3.5). Die Gesamtmagnesiumgehalte liegen beim Pferdemit/-Mix auf vergleichbarem Niveau wie gütegesicherte Komposte, die Mist-Mix-Komposte und die Pflanzenanbau-Mix-Komposte schneiden diesbezüglich geringfügig höher ab.

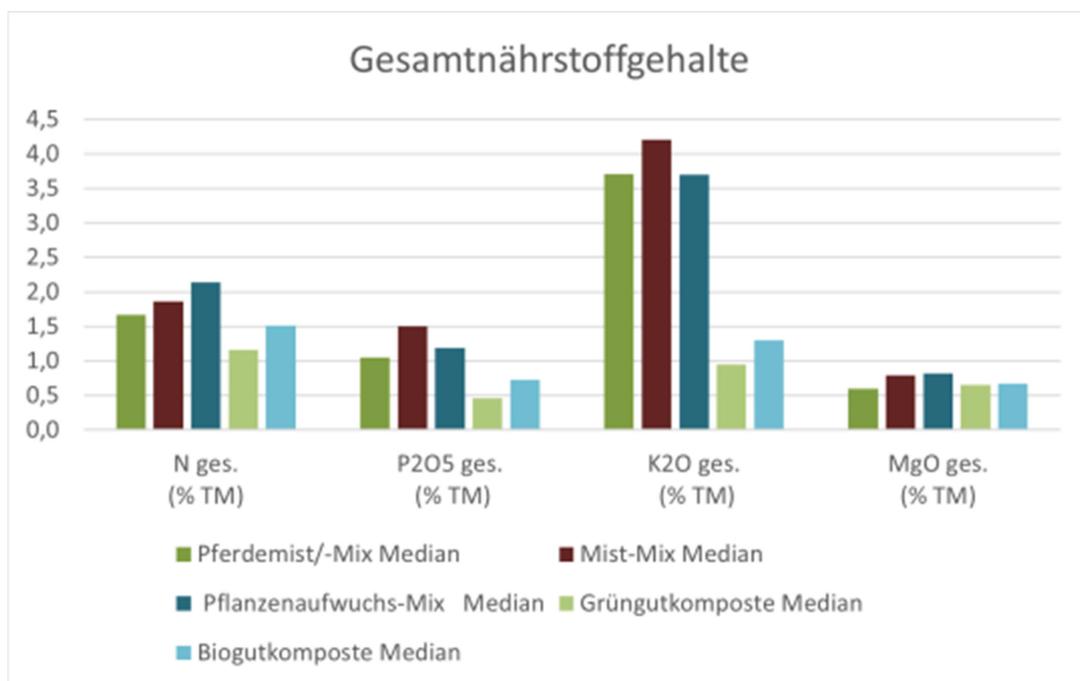


Abbildung 3.3.30 Gesamtnährstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL-gütesicherter Komposte in % d. Trockenmasse

Tabelle 3.3.5 Statistische Kenngrößen für die Hauptnährstoffgehalte P, K, Mg der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Komposten

Bezeichnung		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (% TM)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (% FM)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)	K <sub>2</sub> O ges. (% TM)	K <sub>2</sub> O ges. (% FM)	K <sub>2</sub> O ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)	MgO ges. (% TM)	MgO ges. (% FM)	MgO ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	1,0	0,45	2,06	3,55	1,69	7,31	0,63	0,30	1,40
Pferdemist/-Mix	Median	1,1	0,43	2,19	3,71	1,69	7,47	0,60	0,27	1,27
Pferdemist/-Mix	Min	0,1	0,07	0,13	1,48	1,08	0,90	0,29	0,16	0,08
Pferdemist/-Mix	Max	1,3	0,70	3,36	4,71	2,57	11,05	0,83	0,56	3,88
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	1,35	0,73	3,19	4,05	2,20	9,36	0,77	0,42	1,82
Mist-Mix	Median	1,50	0,69	3,30	4,21	2,31	8,46	0,79	0,45	1,80
Mist-Mix	Min	0,73	0,52	1,65	2,06	1,22	5,65	0,54	0,29	1,13
Mist-Mix	Max	1,90	1,00	5,14	6,31	3,00	17,06	1,00	0,52	2,70
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	1,16	0,68	1,98	4,10	2,40	6,61	0,89	0,52	1,93
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	1,19	0,71	1,44	3,70	2,21	5,64	0,82	0,57	1,16
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	0,38	0,22	0,47	1,60	0,92	1,68	0,50	0,16	0,35
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	1,93	1,11	4,52	6,71	4,74	14,71	1,40	0,86	8,22
Grüngutkomposte <sup>1)</sup> (n=2011)	Mittelwert	0,50	0,40	2,49	1,04	0,63	3,86	0,73	0,44	2,71
	Median	0,46	0,28	1,71	0,95	0,57	3,56	0,65	0,39	2,44
Biogutkomposte <sup>2)</sup> (n=1908)	Mittelwert	0,77	0,47	2,99	1,32	0,83	5,32	0,75	0,47	3,02
	Median	0,73	0,46	2,95	1,30	0,82	5,27	0,67	0,42	2,72

<sup>1)2)</sup> = Medianwerte RAL-Gütesicherung BGK, 2021, persönliche Mitteilung Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

- Bei den Gesamtstickstoff- und Magnesiumgehalten weisen die Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposte durchschnittlich die höchsten Werte innerhalb der untersuchten Mischungen auf, bei Phosphor und Kalium die Mist-Mix-Komposte ( Abb. 3.3.31).
- Die Schwankungsbreiten sind teilweise sehr hoch. Am höchsten war sie bei den Kaliumgehalten. Bei den Pferdemist-/Mix-Komposten gibt es bei allen Nährstoffen Ausreißer in den niedrigen Bereich. Auch bei den Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposten sind Ausreißer zu erkennen. Beim Stickstoff sind diese im niedrigen Bereich, beim Phosphor sowohl im hohen als auch in niedrigen Bereich zu finden.
- Die von Fuchs et al. (2022) untersuchten Mist-Komposte lagen hinsichtlich der Nährstoffgehalte unter dem Niveau der Projektkomposte. Sie ermittelten Gesamtgehalte für Stickstoff im Bereich ca. 1,4 bis 1,5 %, Phosphor von ca. 0,20 bis 0,24 %, Kalium von ca. 1,48 bis 1,77 % und Magnesium von ca. 0,38 – 0,44 %.

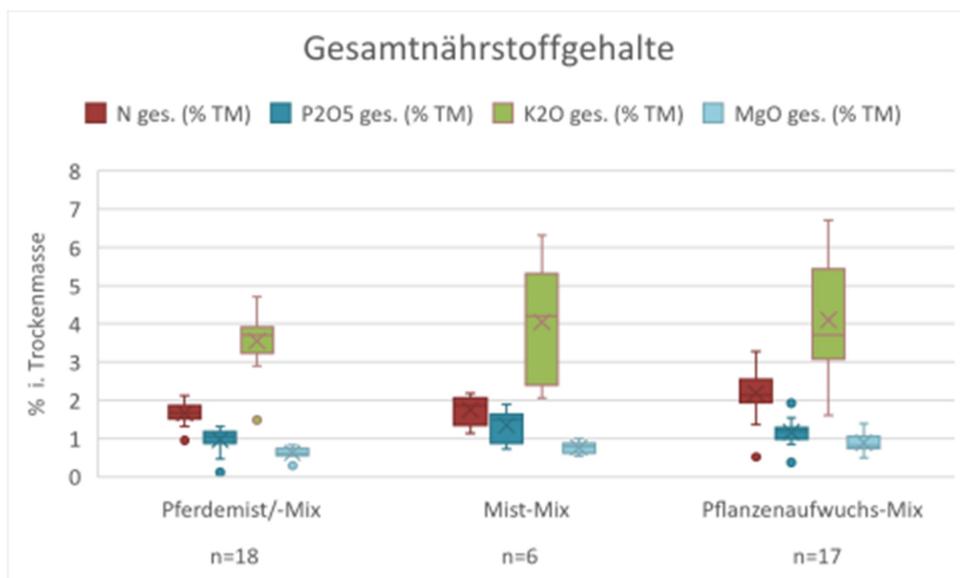


Abb. 3.3.31 Statistische Kenngrößen der Gesamtnährstoffgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in % d. Trockenmasse (x= Mittelwerte)

Bezogen auf die pro Kubikmeter Frischmasse ausgebrachte Nährstoffmenge stellt sich das Ergebnis folgendermaßen dar (siehe Abb. 3.3.21). Aufgrund der zuvor bereits erwähnten höheren Rohdichte sowie der niedrigeren durchschnittlichen Wassergehalte werden mit Biogutkomposten im Mittel deutlich höhere Stickstoffmengen ausgebracht werden als mit den Projektkomposten. Grüngutkomposte enthalten aufgrund ihres holzigen Anteils in der Regel deutlich weniger Nährstoffe als Biogutkomposte.

Innerhalb der Projektkomposte werden bezogen auf den Kubikmeter Frischmasse mit den Mist-Mix-Komposten durchschnittlich die höchsten Nährstoffmengen ausgebracht, gefolgt von den Pferdemist-Mixkomposten. Einzig bei Stickstoff liegt der Pflanzenaufwuchs-Mix an zweiter Stelle.

Aufgrund der großen Schwankungsbreiten innerhalb der einzelnen Materialmischungskategorien kann die Situation auf den Einzelfall betrachtet anders aussehen.

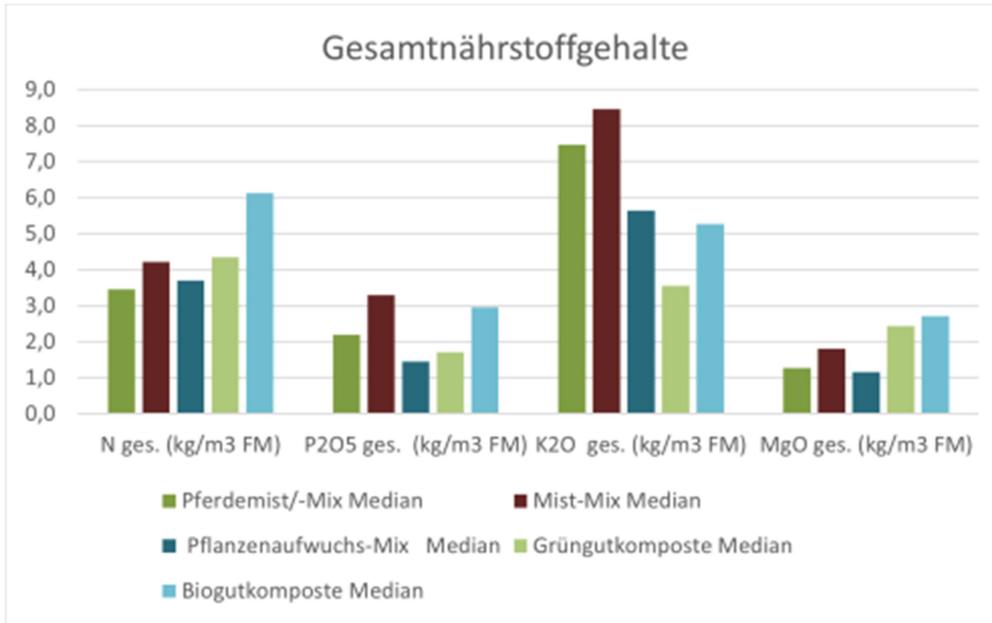


Abbildung 3.3.32 Gesamtnährstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in kg/m<sup>3</sup> Frischmasse

Die Betrachtung der Untersuchungsergebnisse der löslichen Nährstoffgehalte zeigt, dass die Projektkomposte erhebliche Mengen an löslichen Phosphor und Kalium enthalten (siehe Abb. 3.3.22). Die Pferdemit- und Mist-Mix-Komposte heben sich hier deutlich vom Pflanzenanbaumasse-Mix nach oben ab. Letzterer liegt beim löslichen Kalium auf dem Niveau von Biogutkomposten, beim Phosphor auf dem Niveau der nährstoffärmeren Grüngutkomposte. Vergleicht man die löslichen Kaliumgehalte mit den ermittelten Salzgehalten, so ist festzustellen, dass hohe Salzgehalte in der Regel auch mit hohen Kaliumgehalten korrespondieren (siehe Tab. 9.5.5 mit Einzelergebnissen im Anhang).

Ein Blick auf Abb. 3.3.23 und auf Tab. 3.3.5 verdeutlicht, dass die löslichen Gehalte einen sehr großen Schwankungsbereich aufweisen. Dies trifft für Kalium in besonderem Maße zu, auf niedrigerem Niveau gilt das aber auch für Phosphor.

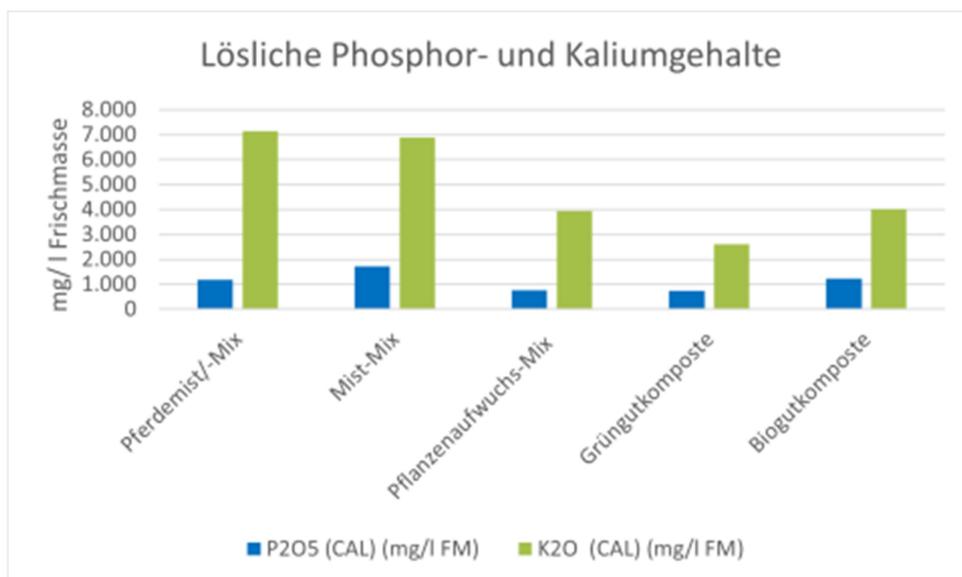


Abbildung 3.3.33 Lösliche Phosphor- und Kaliumgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in mg/l Frischmasse

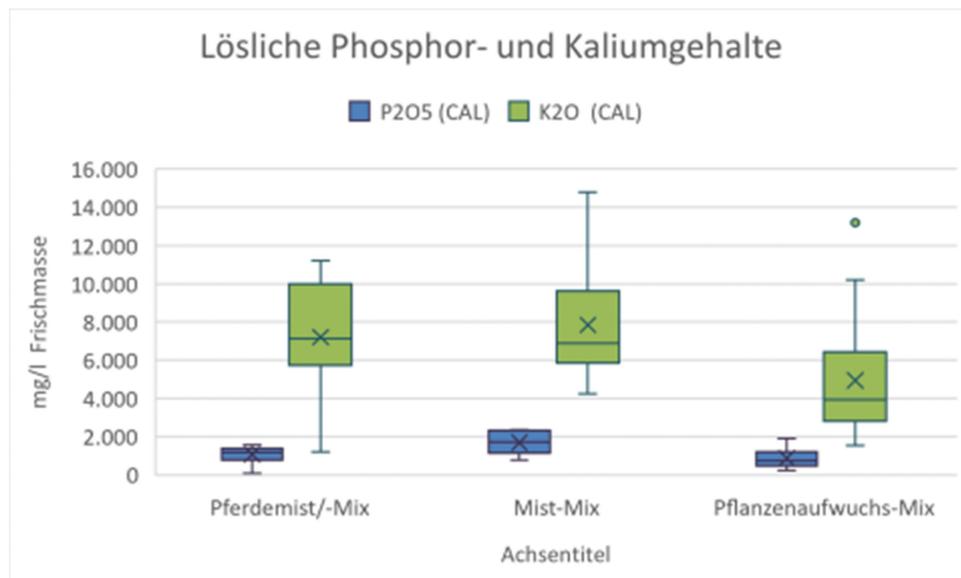


Abbildung 3.3.34 Statistische Kenngrößen der löslichen Phosphor- und Kaliumgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in mg/l Frischmasse (x=Mittelwert)

### 3.3.2.4 Bodenverbessernde Eigenschaften

Neben der Düngewirkung hat Kompost auch eine starke bodenverbessernde Wirkung. Durch regelmäßige Kompostgaben kann der Anteil der organischen Substanz und die biologische Aktivität im Boden erhöht, sowie die Bodenstruktur und die Wasserspeicherkapazität verbessert werden.

Die **organische Substanz (OS)** ist entscheidend für die biologischen und physikalischen Wirkungen von Kompost im Boden, wie z. B. die Stabilisierung der Bodenstruktur durch die Bildung von Ton-Humus-Komplexen. Sie ist die Basis für die Ernährung der Bodenlebewesen und fördert dadurch die biologische Aktivität des jeweiligen Bodens. Ermittelt wurde sie im Rahmen des Projektes über die Bestimmung des Glühverlustes. Über Multiplikation des Glühverlustes mit dem Faktor 0,58 errechnet man den Kohlenstoff-(C)-gehalt des Kompostes. Der im organischen Dünger für die Humusreproduktion im Boden anrechenbare Kohlenstoff (C) ist der sogenannte Humus-C. Bei Fertigungskomposten sind das 51 %. So erhält man über eine weitere Multiplikation des C-Gehaltes mit dem Faktor 0,51 den Anteil des humusreproduktionswirksamen Kohlenstoff-(C)-gehaltes für die Humusbilanz (0,51=Faktor für Fertigungskompost).

Die Gehalte an organischer Substanz in den Projektkomposten liegen – bezogen auf die Trockenmasse - über den durchschnittlichen Gehalten der RAL-gütesicherten Komposte (siehe Abb. 3.3.24)). Sie erfüllen deutlich die Anforderungen des RAL-Gütezeichens für Kompost von mindestens 15 % organischer Substanz bei Fertigungskomposten bzw. 30 % bei Frischkomposten. Dies begründet sich vermutlich auf der Inputzusammensetzung der Komposte (hohe Strohanteile der Miste, pflanzlichen Materialien, wenig Bodenanteile). Die Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposte machten am Ende visuell einen wenig zersetzten Eindruck mit sehr geringem Feinanteil, was die Vermutung nahelegt, dass während des Kompostierungsprozesses zeitweise suboptimale Rahmenbedingungen vorlagen, die zu Verzögerungen des mikrobiellen Abbaus geführt haben. Dieses wiederum kann ursächlich seine für den deutlich höheren Anteil an organischer Substanz in den Pflanzenbau-Mix-Komposten in Verbindung mit dem Aussehen dieser Komposte am Ende des Kompostierungsprozesses.

Vergleicht man die OS-Gehalte der fertigen Komposte mit den durchschnittlichen Gehalten an organischer Substanz der Inputmaterialien, so wurden bei den Pferdemistkomposten im Durchschnitt ca. 28%, bei den Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposten knapp 24 %, trotz der teilweise suboptimalen Rottebedingungen (vgl. Tabelle 3.3.1) abgebaut. In der Kategorie der Mist-Mix-Komposte betrug der durchschnittliche Abbau an organischer Substanz etwa 14,5 %.

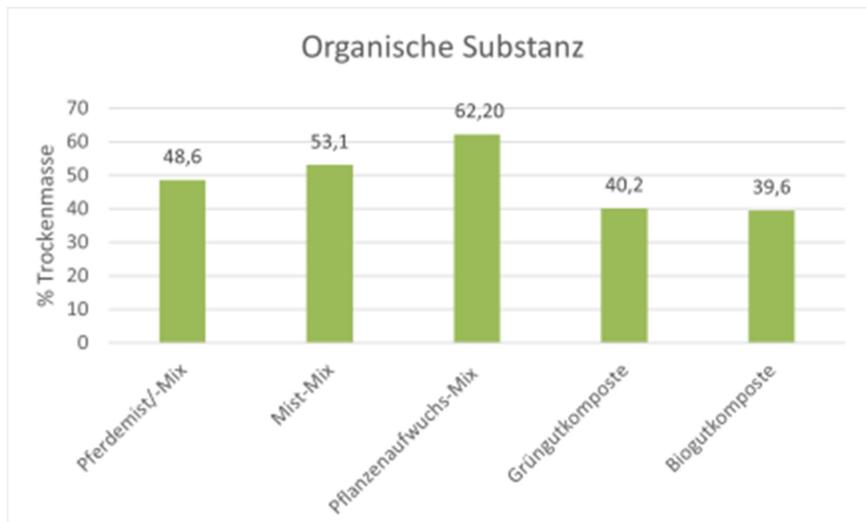


Abbildung 3.3.35 Durchschnittliche Gehalte an organischer Substanz bei den Projektkomposten im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % der Trockenmasse

In Abb. 3.3.25 sind die Gehalte an organischer Substanz den errechneten Werten für den humusproduktionswirksamen C-Anteil (Humus-C) dargestellt. Durch die Aufbringung von Bio- und Grüngutkomposten wird danach im Durchschnitt mehr Humus-C auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht als durch die im Rahmen des Projektes produzierten Komposte. Dies liegt darin begründet, dass die hier erzeugten landwirtschaftlichen Komposte mehrheitlich einen höheren Wassergehalt und eine niedrigere Rohdichte ausweisen als Erstgenannte, was sich in der Berechnung auf den Kubikmeter Frischsubstanz niederschlägt.

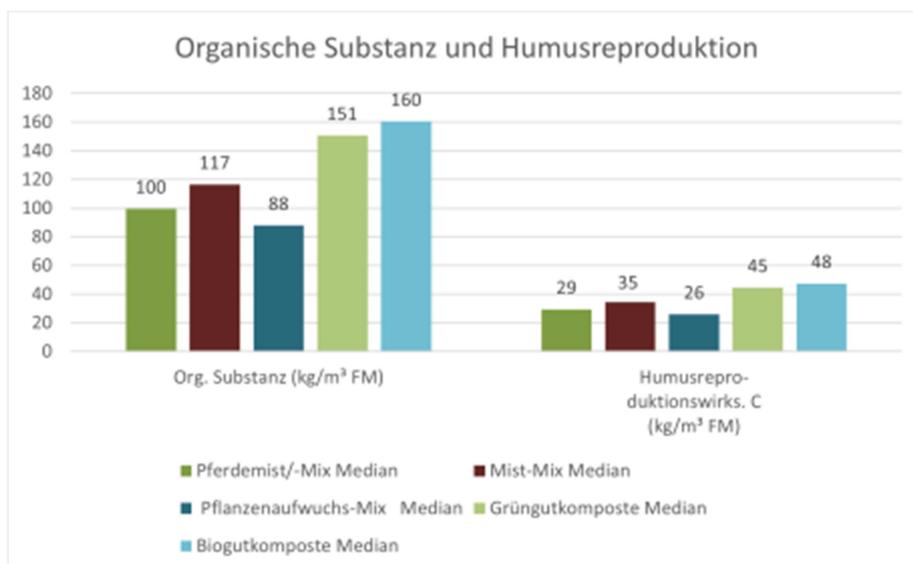


Abbildung 3.3.36 Durchschnittliche Gehalte an organischer Substanz und Humus C bei den Projektkomposten im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in kg/m³ Frischmasse

Tabelle 3.3.6 Statistische Kenngrößen für die bodenverbessernden Parameter der verschiedenen Projektkomposte

Bezeichnung		Org. Substanz (% TM)	Org. Substanz (% FM)	Org. Substanz (kg/m <sup>3</sup> FM)	C-Gehalt (kg/m <sup>3</sup> FM)	Humus-C (kg/m <sup>3</sup> FM)	C/N-Verhältnis	basisch wirks. Stoffe (CaO % TM)	basisch wirks. Stoffe (CaO % FM)	basisch wirks. Stoffe (CaO, kg/m <sup>3</sup> FM)
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	50,2	24,6	95	55,1	28,1	17,8	2,86	1,40	6,37
Pferdemist/-Mix	Median	48,6	20,7	100	57,7	29,4	17,0	2,90	1,33	5,69
Pferdemist/-Mix	Min	23,6	15,6	25	14,4	7,3	12,4	1,21	0,66	0,34
Pferdemist/-Mix	Max	89,0	48,6	128	74,0	37,8	39,4	4,52	2,52	17,38
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	50,1	28,6	115	66,6	34,0	17,0	3,43	1,91	7,87
Mist-Mix	Median	53,1	28,3	117	67,6	34,5	15,5	3,60	2,11	7,35
Mist-Mix	Min	29,3	17,3	87	50,4	25,7	12,5	1,76	1,04	6,11
Mist-Mix	Max	60,2	43,7	131	76,0	38,8	23,9	4,27	2,55	11,55
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	64,3	37,7	89	51,5	26,3	15,1	4,12	2,37	9,12
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	66,4	39,0	88	51,0	26,0	15,2	3,62	2,27	4,72
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	27,4	19,8	41	24,0	12,2	5,0	0,51	0,15	0,52
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	83,8	59,0	144	83,5	42,6	25,4	11,62	5,28	43,11
Grüngutkomposte <sup>1)</sup> <i>n=2011</i>	Mittelwert	40,9	24,6	152	88,1	44,9	21,17	4,13	2,48	15,34
	Median	40,2	24,3	151	87,4	44,6	19,74	3,50	2,12	13,12
Biogutkomposte <sup>2)</sup> <i>n=1908</i>	Mittelwert	40,5	25,4	163	94,6	48,3	15,78	5,03	3,15	20,28
	Median	39,6	24,9	160	93,0	47,5	14,97	4,60	2,89	18,66

<sup>1)2)</sup> = Medianwerte RAL-Gütesicherung BGK, 2021, persönliche Mitteilung Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Das **C/N-Verhältnis** gibt Aufschluss über die langfristige Verfügbarkeit von Stickstoff. Zur Berechnung des C/N-Verhältnisses wird der mit Hilfe des Glühverlustes berechnete Kohlenstoffgehalt ins Verhältnis zum Gesamtstickstoffgehalt gesetzt.

Das anfängliche C/N-Verhältnis bei den Inputmaterialien ist eine der wichtigsten Eigenschaften, die für eine ordnungsgemäße Kompostierung erforderlich sind. Mikroorganismen nutzen Kohlenstoff als Energiequelle und Stickstoff als Baustein für Proteine. Sie benötigen mehr Kohlenstoff als Stickstoff, wobei das ideale C/N-Verhältnis zu Beginn bei ca. 25:1 und 30:1 liegt. Ein C/N-Verhältnis von mehr als 35:1 kann zu einer langsamen Zersetzung und einer längeren Kompostierungszeit führen, da möglicherweise nicht genügend Stickstoff für das Wachstum der Mikroorganismen vorhanden ist.

Ein C/N-Verhältnis von weniger als 20 zu Beginn des Kompostierungsprozesses kann bedeuten, dass überschüssiger Stickstoff während der Kompostierung als Ammoniak in die Atmosphäre entweicht. Die Entstehung von Ammoniak schlägt sich auch in einer negativen Beeinflussung des Kompostgeruchs nieder. Während des Kompostierungsprozesses verringert sich das C/N-Verhältnis.

Kompost, die mit einem hohen Anteil an frischem, feuchten Grünmaterial produziert wurden, haben unter der Voraussetzung annähernd gleicher Rottebedingungen in der Regel ein niedrigeres C/N-Verhältnis gegenüber solchen, die mit einem hohen Anteil an holzigem, trockenem Material produziert werden.

Durch die Zugabe eines Fertigkomposts mit niedrigem C/N-Verhältnis (ca. 15:1 bis < 20:1) in den Boden wird den Pflanzen auch verfügbarer Stickstoff – wenn auch in geringem Maß - zugeführt. Ackerböden haben ein C/N-Verhältnis von etwa 10:1.

Wird ein nicht stabilisierter Frischkompost mit einem hohen C/N-Verhältnis von über 20 dem Boden zugeführt, müssen die Bodenmikroorganismen zusätzliche Stickstoffquellen finden, um das kompostierte Material zu verwerten. Dies kann zu einer Stickstoffimmobilisierung führen, so dass weniger Stickstoff für die Pflanzen zur Verfügung steht und eine höhere zusätzliche Stickstoffdüngung erforderlich sein kann.

Die meisten der Projektkomposte wiesen am Ende des Kompostierungsprozesses C/N-Verhältnisse unter 20:1 auf (siehe Tab. 3.3.6). Dies lässt den Schluss zu, dass sie bezüglich des Stickstoffhaushaltes stabil sind und von keiner nennenswerten Stickstofffixierung auszugehen ist. Als alleiniger Parameter ist die Aussage allerdings nur eingeschränkt aussagekräftig und muss in Kombination mit z.B. den biologischen Parametern, der Höhe der löslichen Stickstoffgehalte und dem optischen Eindruck des Abbauzustandes der Materialien bewertet werden. Die durchschnittlichen C/N-Verhältnisse von Grüngutkomposten liegen aufgrund ihres höheren Anteils an holzigen Bestandteilen geringfügig über dem der Projektkomposte und Biogutkomposte.

Angemerkt sei, dass die durchschnittlichen C/N-Verhältnisse der Pflanzenbau-Mix- sowie der Mist-Mix-Chargen bereits zu Rottebeginn auf niedrigem Niveau von um die 20:1 lagen. Daraus können, wie bereits zuvor beschreiben, negative Konsequenzen im Hinblick auf Stickstoffverluste durch gasförmige Ammoniakemissionen während des Kompostierungsprozesses resultieren.

Hervorgehoben ist darüber hinaus, dass das weiteste C/N-Verhältnis bei einer Pferdemit/-Mix-Charge ermittelt wurde, die zu Rottebeginn zu einer so genannten „Wilden Miete mit Vliesabdeckung“ aufgesetzt wurde. Die Vermutung liegt nahe, dass in dem Fall aufgrund fehlender Belüftung und Durchmischung beim Umsetzen sowie generell fehlenden Luftaustausches („Kaminzugeffekt“) der Rotteprozess bereits kurz nach dem Aufsetzen der Kompostmiete zum Erliegen kam. Die Variante „Wilden Miete ohne Abdeckung“ wies im Vergleich zu den anderen Pferdemit/-Mix-Komposten

nur ein leicht höheres C/N-Verhältnis auf. Demzufolge scheint die Abdeckung die hauptsächliche Ursache für den Stillstand des Rotteprozesses gewesen zu sein.

Der Parameter **basisch wirksame Stoffe** gibt einen Wert dafür, inwieweit Kompost eine Kalkung ersetzen oder ergänzen kann. Der Gehalt hängt vom Carbonatgehalt des geogenen Ausgangsgesteins in der jeweiligen Region ab, in der der Kompost hergestellt wird. Durch die Aufnahme der Pflanzenwurzeln gelangen basisch wirksame Stoffe in die Pflanze, und unterliegen dann bei der Kompostierung von pflanzlichen Abfällen dem Kompostierungsprozess. Zusätzlich hat hierbei auch der meist in mehr oder minder großem Umfang erfasste (bzw. auch bewusst zugegebene) Erdanteil bei der Kompostierung einen Einfluss.

Der Anteil basisch wirksamer Stoffe in den Projektkomposten liegt unterhalb des durchschnittlichen Bereichs für Biogutkomposte (siehe Abb. 3.3.24). Sie liegen eher im auf dem bei Grüngutkomposten im Mittel gefundenen Werte von ca. 3,5 % CaO in der Trockenmasse. Am niedrigsten liegen die durchschnittlichen Werte beim Pferdemit/-Mix, was sich mit der geologischen Lage des Betriebs in Verbindung bringen lässt (basenarmer geologischer Untergrund). In Deutschland können in Komposten in Abhängigkeit vom geologischen Untergrund basisch wirksame Stoffe in einem Anteil von > 10 % auftreten.

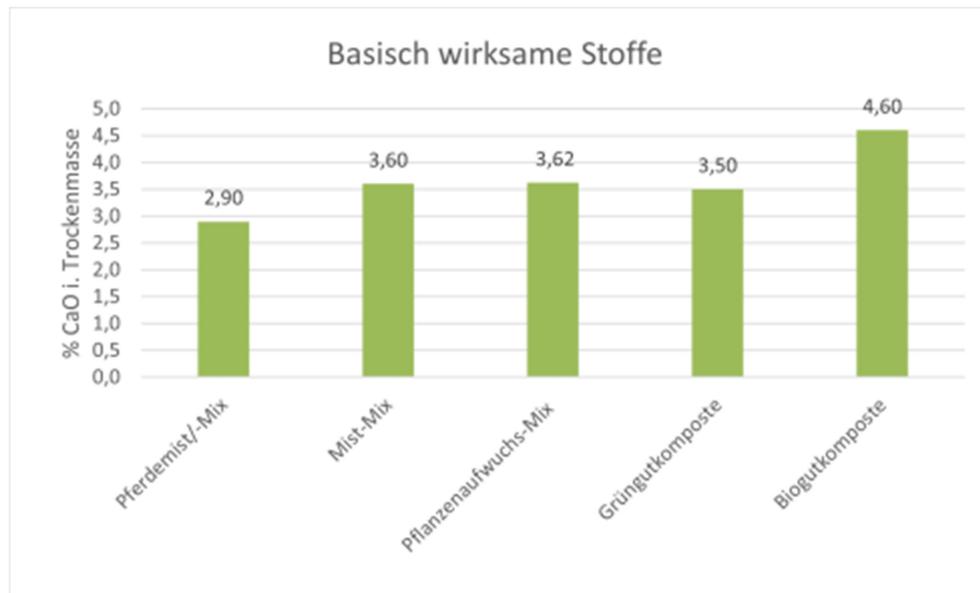


Abbildung 3.3.37 Gehalt an basisch wirksamen Stoffen (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % CaO in der Trockenmasse

Aufgrund ihres im Vergleich zu Bio- und Grüngutkomposten im Durchschnitt höheren Wassergehaltes und niedrigen Rohdichten der Projektkomposte, gestaltet sich das Bild bei der Betrachtung der pro Kubikmeter Frischmasse ausgebrachten Menge an basisch wirksamen Stoffen anders. Sämtliche Projektkomposte liegen diesbezüglich auf deutlich niedrigerem Niveau als durchschnittliche gütegesicherte Bio- und Grüngutkomposte (siehe Abb. 3.3.27). Innerhalb der im Projekt erzeugten Materialkategorien hat der Mist-Mix die größte Kalkwirkung, der Pflanzenaufwuchs-Mix die geringste.

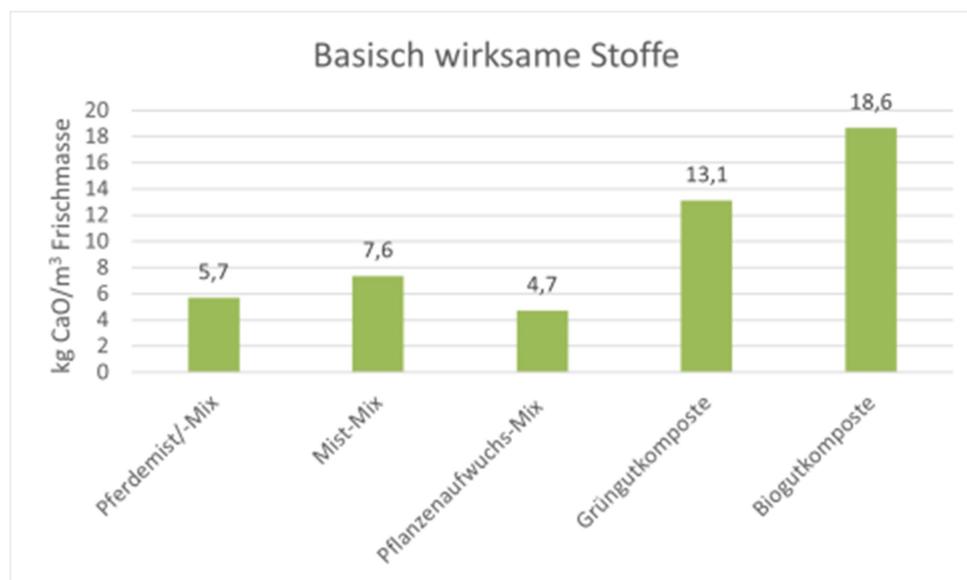


Abbildung 3.3.38 Gehalt an basisch wirksamen Stoffen (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in kg CaO/m<sup>3</sup> Frischmasse

### 3.3.2.5 Biologische Parameter: Produkthygiene, Kompostreife, Pflanzenverträglichkeit

Tab. 3.3.7 enthält eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse der biologischen Parameter, die auf den nachfolgenden Seiten im Einzelnen näher besprochen werden.

Tabelle 3.3.7 Statistische Kenngrößen für die biologischen Parameter der unterschiedlichen Projektkomposte

Bezeichnung		Maximaltemperatur (°C)	Pflanzenverträglichkeit 25%	Pflanzenverträglichkeit 50%	Keimfähige Samen und Pflanzenteile
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	23	103	91	0,3
Pferdemist/-Mix	Median	22	105	96	0,0
Pferdemist/-Mix	Min	20	83	33	0,0
Pferdemist/-Mix	Max	40	113	108	4,0
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	23	102	87	0,0
Mist-Mix	Median	22	102	96	0,0
Mist-Mix	Min	21	90	62	0,0
Mist-Mix	Max	27	113	102	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	32	103	95	14
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	26	103	97	0,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	20	83	66	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	65	118	126	128
Grün- und Biogutkomposte <sup>1)</sup>	Mittelwert	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
n=3919	Median	k.A.	110	105	k.A.

<sup>1)</sup> Medianwerte RAL-Gütesicherung Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V.

### 3.3.2.6 Produkthygiene

Der Kompostierungsprozess soll sicherstellen, dass das Endprodukt weitgehend frei ist von Unkrautsamen, Human- und Phytopathogenen sowie anderen Schadorganismen (Einhaltung der hygienischen Anforderungen durch Temperaturprofile, Überwachung der Prozesstemperatur). Die Überprüfung der Einhaltung dieser Anforderungen in den Endprodukten erfolgte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen mit Hilfe des Unkrautsamentests und der Untersuchung auf Salmonellen.

Die Unkrautsamenfreiheit - auch von innerbetrieblich erzeugten Komposten - bringt im Hinblick auf ggf. erforderliche Unkrautbekämpfungsmaßnahmen im Acker- und Grünlandbereich enorme Vorteile mit sich. So kann sie zweckmäßig sein, z.B. als Gegenmaßnahme hinsichtlich fortschreitender Probleme bei Unkrautbekämpfungsmaßnahmen durch z.B. Resistenzen und langanhaltende Trockenphasen.

Die Anforderung der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. an Komposte, die der RAL-Gütesicherung unterliegen, liegt bei  $\leq 3$  Stück pro Liter Frischmasse. Die Richtlinien der Verbände Bioland und Naturland fordern, dass extern zugekaufte Komposte keine keimfähigen Samen und/oder austriebsfähigen Pflanzenteile enthalten dürfen.

Die Untersuchungsergebnisse im Bereich der Produkthygiene lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (siehe Tab. 3.3.7):

- In keiner einzigen der untersuchten Kompostproben konnten Salmonellen nachgewiesen werden. Aus seuchenhygienischer Sicht sind sie somit alle unbedenklich im Hinblick auf die Kompostanwendung.
- In der Kategorie Mist-Mix konnten in keiner der 6 Proben Unkrautsamen bzw. keimfähigen Pflanzenteile nachgewiesen werden.
- In der Kategorie Pferdemit/-Mix waren 14 von 16 Proben unkrautsamenfrei. Bei einer Charge konnten 2, bei einer weiteren 4 Unkrautsamen nachgewiesen werden. Auch in diesem Fall hat eine vollständige bis weitreichende Hygienisierung stattgefunden.
- In der Kategorie Pflanzenaufwuchs-Mix konnten in 11 von 17 Proben keine Unkrautsamen nachgewiesen werden. Mit 128 bzw. 87 Stück wiesen 2 der Pflanzenaufwuchs-Mix-Komposte einen erheblichen Unkrautsamenbesatz auf, so dass die Hygienisierung im Hinblick auf Unkrautsamen als unzureichend einzustufen ist.

Beide Chargen stammten aus der direkten Startphase des Projektes. Die Mieten hatten eine ungünstige Materialzusammensetzung und es fanden weder eine Prozessüberwachung mittels Temperaturerfassung noch Umsetzungsvorgänge mit Hilfe des Mietenumsetzers statt. Daher spiegeln sich in diesem Ergebnis die unzureichenden Rottebedingungen wieder. Der Grenzwert des RAL-Gütezeichens von 3 Stück pro Liter Frischmasse wurde immerhin noch von 2 weiteren Chargen dieses Materialmix eingehalten.

### 3.3.2.7 Kompostreife

Eine ausreichende Reife sowie Pflanzenverträglichkeit im dafür vorgesehenen Anwendungsbereich generell unerlässlich. Komposte werden im Hinblick auf ihren Reifezustand u.a. nach ihrem **Rottegrad** unterschieden. Dieser ist ein Maß für die Zersetzung der organischen Substanz. Er wird durch das Selbsterhitzungsvermögen bestimmt.

Mikroorganismen erzeugen Wärme, wenn organisches Material zersetzt wird. In der Anfangsphase der mikrobiellen Zersetzung werden in der Regel Temperaturen von 60 bis 70 Grad Celsius erreicht. Während des Kompostierungsprozesses hygienisieren diese hohen Temperaturen den Kompost und sorgen dafür, dass Keime und unerwünschte Unkrautsamen sowie austriebsfähige Pflanzenteile abgetötet werden. Mit zunehmendem Reifegrad sinkt die Temperatur des Komposts dann auf Außentemperatur.

Der Reifegrad wird mit Hilfe des Selbsterhitzungstestes in so genannten Dewar-Gefäßen bestimmt. In Abhängigkeit von der erreichten Maximaltemperatur werden fünf Reifegrade unterschieden (Tab. 3.3.8). Nach den Richtlinien der Verbände Bioland und Naturland müssen extern zugekaufte Komposte in der Regel einen Rottegrad von mindestens IV aufweisen. Frischkomposte Rottegrad 2 - 3 dürfen nur eingesetzt werden, wenn auf dem Prüfzeugnis vermerkt ist, dass eventuell ein höheres Geruchspotenzial besteht

Aussagen zur Kompostreife sollten allerdings nicht ausschließlich auf Basis des Ergebnisses dieses Parameters getroffen werden, denn die Methode hat auch Schwächen. Diese liegen darin, dass das Abbaugeschehen während des Kompostierungsprozesses und auch im Dewargefäß von mehreren Faktoren beeinflusst wird, wie z.B. dem Wassergehalt und der Außentemperatur.

Tabelle 3.3.8 Zuordnung des Rottegrades anhand des im Selbsterhitzungstest erreichten Temperaturmaximums

Rottegrad	Maximale Temperatur [°C]	Produktbezeichnung
I	>60	Kompostrohstoff
II	50,1 - 60,0	Frischkompost
III	40,1 - 50,0	Frischkompost
IV	30,1 - 40,0	Fertigkompost
V	≤30	Fertigkompost



Quelle: Methodenbuch der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V. (2016): Kapitel IV, A.1

Im Selbsterhitzungstest zur Ermittlung des Rottegrades erreichten sowohl die Mist-Mix-Komposte als auch die Pferdemit/-Mix-Komposte auch maximal Temperaturen im Bereich zwischen 20° C bis 27°C, was weitgehend der Raumtemperatur entspricht. Sie sind demzufolge allesamt gut ausgereifte Fertigkomposte mit Rottegrad V. Bei den Pferdemit-Mix-Komposten wurden in einem Fall 40° C erreicht, was einem Fertigkompost Rottegrad IV entspricht (siehe Tab. 3.3.3).

Bei der Kategorie Pflanzenaufwuchs-Mix stellt sich das Bild differenzierter dar:

Die Komposte der BioBauern Biedesheim erreichten ebenfalls alle einen Rottegrad von V mit Maximaltemperaturen von 20° C bis maximal 28° im Selbsterhitzungstest.

Seitens des Gerbachhofs konnten 2 Fertigkomposte Rottegrad V und ein Frischkompost mit Rottegrad III erzeugt werden.

Bei Hof Risser konnte nur bei der ersten Charge (mit 40% Rindermistanteil) ein Fertigkompost Rottegrad V produziert werden. Bei den beiden anderen Chargen, darunter eine mit 30% Rindermistanteil) wurde nur Rottegrad II (Maximaltemperatur 52°C bzw. 57°C) erreicht.

Im Selbsterhitzungstest zur Ermittlung des Reifegrades erreichten 2 der Komposte des Hof Gallé Maximaltemperaturen von 21° C bis 34°C und sind damit als Fertigungskomposte einzustufen. Bei der Variante „Kleegrassilage“ kam kein Rotteprozess in Gang, so dass es sich entsprechend dem im Selbsterhitzungstest erreichten Temperaturniveau um Rottegrad I (Maximaltemperatur 65°C, = Ausgangsmaterial) handelt.

Immerhin erreichte die einzige Charge des Hof Morgentau trotz der ungünstigen Inputmaterialzusammensetzung (Gemüseabfälle und Luzernegras) mit einer Maximaltemperatur von 40°C knapp einen Rottegrad von IV.

### 3.3.2.8 Pflanzenverträglichkeit

Komposte können unter bestimmten Bedingungen das Pflanzenwachstum hemmen. Mögliche Ursachen für Pflanzenunverträglichkeiten und unzureichende Pflanzenreaktionen sind

- das Vorhandensein von organischen Säuren, Phenolen und anderen phytotoxischen Substanzen
- durch Zersetzungsprozesse verursachte Sauerstoffkonkurrenz mit den Pflanzenwurzeln
- Stickstoffimmobilisierung im Nährboden
- Kontamination mit Pflanzenkrankheitserregern
- übermäßiger Salzgehalt/Nährstoffgehalt (N, P, K, Na, Cl, Bor)
- induzierte Nährstoffdefizite (z.B. Magnesiummangel bei zu hohem Kaliumgehalt)

Keimungs- und Pflanzenreaktionstests bieten eine direkte Überprüfung dieser Auswirkungen, insbesondere für den Fall, dass der Kompost für hochwertige Anwendungen im Gartenbau (z. B. als Bestandteil von Kultursubstraten) verwendet werden soll. Ziel dieser Methoden ist es, Komposte auf Stoffe zu testen, die die Keimung von Samen und das Pflanzenwachstum in einer komposthaltigen Kultursubstratmischung im Vergleich zu einem kompostfreien Kultursubstrat (einem Standard-Torfkultursubstrat) beeinträchtigen können. Sie liefert einen Hinweis auf die Phytotoxizität und (indirekt) die Kompostreife. Jede signifikant negative Reaktion in der Testprobe (verringerte Keimungsrate, geringere Biomasseproduktion im Vergleich zur Kontrolle) wird als Hinweis auf phytotoxische Faktoren im Kompost betrachtet.

Die Pflanzenverträglichkeit nimmt mit fortschreitendem Ausreifungsgrad zu. Reife Komposte weisen in der Regel keine phytotoxischen Wirkungen auf. Dabei ist festzuhalten, dass die Rotteführung entscheidend für die Qualität des Endproduktes ist.

Mit den im Rahmen des VELKO-Projektes untersuchten Kompostproben wurde ein Pflanzenverträglichkeitstest mit Sommergerste durchgeführt, der Standardtestmethode der RAL-Gütesicherung für Fertig- und Substratkomposte. Im Rahmen der RAL-Gütesicherung wird dieser Parameter ausschließlich bei ausgereiften Komposten mit Rottegrad IV und V untersucht, bei Frischkomposten Rottegrad II und III entfällt dieser Parameter.

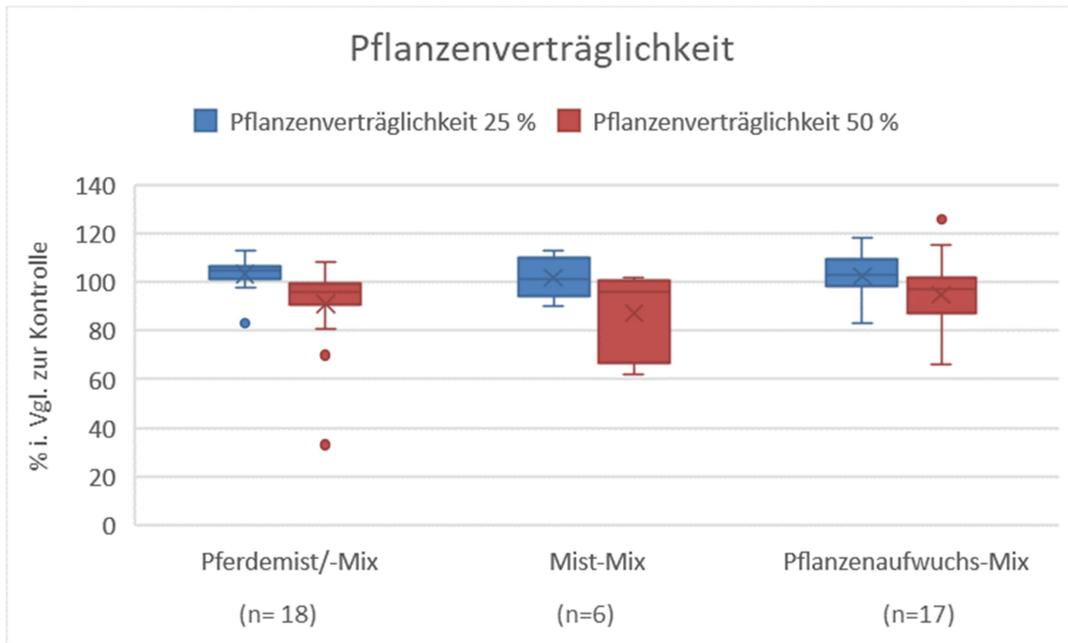


Abbildung 3.3.39 Statistische Kenngrößen der Pflanzenverträglichkeit für die unterschiedlichen Projektkomposte (x=Mittelwert)

Der Test umfasst zwei verschiedene Mischungsvarianten (25 % und 50 % Kompostanteil). In Bezug auf die Frischmasseproduktion sollte ein Ergebnis von > 90 % im Vergleich zum Kontrollsubstrat (Einheitserde 0) bei der Variante mit 25 % Kompostanteil bei einer Kompostverwertung im Freiland erreicht werden. Werte > 100 % sind möglich. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Pflanzenverträglichkeiten der im Projekt erzeugten Komposte ist erkennbar, dass die 50 %-Varianten durchweg ca. 5 - 15 % schlechter abschnitten als die 25 %-Varianten (siehe Tab. 3.3.7 und Abb. 3.3.28).

Dieses Ergebnis entspricht den Resultaten aus der RAL-Gütesicherung für Komposte. Die durchschnittliche Pflanzenverträglichkeit von in Deutschland hergestellten Fertigkomposten (Grün- und Biogutkompost) im Jahr 2021 bei 110 % in der Mischung mit 25 % Kompost sowie 105 % in der Mischung mit 50 % Kompost (BGK, 2021). Schon allein die vergleichsweise hohen Salz- bzw. Nährstoffgehalte, vor allem in Biogutkomposten, aber auch in Mistkomposten können dazu führen, dass die Pflanzenverträglichkeit in der hohen Zugabestufe zurückgeht.

Auch wenn die Projektkomposte von den Erträgen her etwas hinter den RAL-Komposten liegen, so wurde insgesamt doch ein sehr gutes Ergebnis erzielt. Die Anforderung einer Frischmasseproduktion von > 90 % im Vergleich zum Kontrollsubstrat bei der Variante mit 25 % Kompostanteil, wenn eine Kompostverwertung im Freiland vorgesehen ist, wurde nur von 2 Komposten nicht erreicht. Eines dieser beiden schlechten Ergebnisse stammte von einer Charge der Kategorie Pflanzenaufwuchs-Mix. Sie wies gleichzeitig nur Rottegrad II auf. Das andere Ergebnis stammte von der ersten Charge des Pferdemit/-Mix und könnte aufgrund von Anfangsschwierigkeiten im Zusammenhang bei der Rottesteuerung zurückzuführen sein.

Innerhalb der Materialkategorien lieferten die Mist-Mix-Komposte die geringsten Erträge, wobei dies in der 25 %-Variante ein zu vernachlässigender Unterschied war, in der 50 %-Variante ein etwas deutlicherer. Erkennbar ist, dass die Pflanzenverträglichkeit mit fortschreitendem Ausreifungsgrad zunimmt. Die Projektkomposte, die nur einen geringen Rottegrad erreichten, schnitten in der Regel schlechter ab als die reiferen Chargen. Einzige Ausnahme ist eine Pflanzenaufwuchs-Mix-Charge, die

unerklärlicherweise bei Rottegrad II eine Pflanzenverträglichkeit von 100 % in der 25 %-Variante erreichte.

Die Ergebnisse belegen, dass die im Projekt erzeugten Komposte fast ausnahmslos uneingeschränkt für die landwirtschaftliche Ausbringung im Freiland geeignet sind. Mit Blick auf die Pflanzenverträglichkeit ist in den zuvor beschriebenen Ausnahmefällen eine Optimierung der Rahmenbedingungen für die Rotte sowie des Reifezustandes anzuraten. Der Einsatz als Mischkomponente in Kultursubstraten wäre mit Einschränkungen verbunden. Bei den am Projekt beteiligten Betrieben ist dieser Anwendungsbereich nicht vorgesehen und wird daher an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

### 3.3.2.9 Schwermetalle

Schwermetalle zählen zu unerwünschten Bestandteilen in Komposten, ebenso wie Fremdstoffe und Steine. Schwermetalle sind allerdings ubiquitär in der Umwelt vorhanden und daher auch in Komposten zu finden. Fremdstoffe und Steine können bei der Betrachtung von Komposten aus innerbetrieblicher Erzeugung vernachlässigt werden. Die im Kompost enthaltenen Schwermetalle wurden den für die Ausbringung vorgesehenen Flächen entzogen und unterliegen damit - außer im Fall des Zukaufs größerer Futtermengen - dem innerbetrieblichen Kreislauf. Dennoch ist eine regelmäßige Überprüfung der Schwermetallgehalte zu empfehlen.

Neben den generell geltenden Schwermetallgrenzwerten des Abfallrechts (Bioabfallverordnung) gelten für Betriebe, die nach ökologischen Kriterien bewirtschaftet werden, die Schwermetallgrenzwerte der EU-Richtlinie für den ökologischen Landbau sowie den jeweiligen Verbandsrichtlinien der Ökolandbauverbände, z.B. Bioland und/oder Naturland. Tab. 3.3.9 stellt die im Rahmen des Projektes erzeugten Komposte im Vergleich zu solchen, wie sie im Rahmen der RAL-Gütesicherung durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) auf privaten und kommunalen Anlagen erzeugt werden sowie den Anforderungen der Bioabfallverordnung und der EU-Ökolandbauverordnung dar.

Die Betrachtung der ermittelten Schwermetallgehalte zeigt deutlich, dass die Betriebskomposte alle existierenden Grenzwerte ausnahmslos einhalten. Mit Blick auf die Einhaltung der strengen Grenzwerte der EU-Ökolandbauverordnung kann festgehalten werden, dass die durchschnittliche Ausschöpfung sich mit Ausnahme von Zink meist unterhalb von 30 % bewegt. Beim Pflanzenaufwuchsmix beträgt die Grenzwertausschöpfung zudem bei Nickel 39,2 % und beim Mist-Mix bei Kupfer 33,3 % (vgl. Tab. 3.3.10).

Bei den meisten Schwermetallen liegen die Werte deutlich unter dem Niveau der durchschnittlichen RAL-gütesicherten Kompostqualitäten in Deutschland. Kupfer und Zink liegen beim Mist-Mix etwa in der Größenordnung der RAL-gütesicherten Grüngutkomposte.

Tabelle 3.3.9 Statistische Kenngrößen der Schwermetallgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL-gütesicherten Komposten und zu geltenden Grenzwerten

Bezeichnung		Blei mg/kg TM	Cadmium mg/kg TM	Chrom mg/kg TM	Kupfer mg/kg TM	Nickel mg/kg TM	Quecksilber mg/kg TM	Zink mg/kg TM
Pferdemist/-Mix	Anzahl	18	18	18	18	18	18	18
Pferdemist/-Mix	Mittelwert	5,5	0,16	8,1	13,7	6,3	0,04	69
Pferdemist/-Mix	Median	4,8	0,17	6,7	13,8	5,4	0,03	74
Pferdemist/-Mix	Min	3,5	0,13	2,2	5,7	2,0	0,02	21
Pferdemist/-Mix	Max	16,4	0,23	25,0	23,6	19,4	0,05	86
Mist-Mix	Anzahl	6	6	6	6	6	6	6
Mist-Mix	Mittelwert	5,6	0,18	8,2	23,3	6,6	0,05	132
Mist-Mix	Median	4,9	0,18	6,5	22,8	5,9	0,04	138
Mist-Mix	Min	4,0	0,14	5,0	16,9	5,1	0,03	88
Mist-Mix	Max	7,8	0,23	16,0	31,5	10,7	0,08	165
Pflanzenaufwuchs-Mix	Anzahl	17	17	17	17	17	17	17
Pflanzenaufwuchs-Mix	Mittelwert	8,6	0,18	11,7	16,0	9,8	0,04	74
Pflanzenaufwuchs-Mix	Median	6,7	0,17	10,4	14,5	9,8	0,03	69
Pflanzenaufwuchs-Mix	Min	4,0	0,10	1,3	0,9	2,5	0,02	37
Pflanzenaufwuchs-Mix	Max	23,7	0,34	27,6	33,3	24,8	0,07	182
Grüngutkomposte <sup>1)</sup> n=2011	Mittelwert	26,8	0,40	18,2	29,4	11,9	0,10	138
	Median	23,0	0,35	16,5	28,0	10,8	0,09	130
Biogutkompost <sup>2)</sup> n=1908	Mittelwert	28,8	0,41	19,0	40,0	12,0	0,10	162
	Median	26,0	0,37	18,2	29,4	12,0	0,10	153
<b>EU ÖkolandbauVO</b>		<b>45</b>	<b>0,7</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>0,4</b>	<b>200</b>
BioAbfV/ RAL GZ 251	30 t TM/ha*3 Jahre	100	1,0	70	70	35	0,7	300
	20 t TM/ha*3 Jahre	150	1,5	100	100	50	1,0	400

1) 2)

Medianwerte RAL-Gütesicherung Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK) e.V

Tabelle 3.3.10 Ausschöpfung der Grenzwerte für schwermetallgehalte durch die unterschiedlichen Projektkomposte (in %)

Analyse-Parameter	EU ÖkolandbauVo	Pferdemist/- Mix	Mist-Mix	Pflanzenaufwuchs- Mix
	mg/kg TM	Ausschöpfung Grenzwert in %		
Blei (Pb)	45	12,1	12,5	19,1
Cadmium (Cd)	0,7	23,5	26,0	25,2
Chrom (Cr)	70	11,6	11,7	16,7
Kupfer (Cu)	70	19,6	33,3	22,9
Nickel (Ni)	25	25,2	26,3	39,2
Quecksilber (Hg)	0,4	9,1	11,3	10,0
Zink (Zn)	200	34,6	65,9	34,5

### 3.3.2.10 Fazit: Qualität der hergestellten Komposte

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Qualitätsuntersuchungen haben gezeigt, dass es über die gesteuerte Feldrandkompostierung möglich ist, Komposte herzustellen, die hohe Qualitätsanforderungen erfüllen und eine Vielzahl von positiven Eigenschaften mit sich bringen.

Viele der untersuchten Eigenschaften liegen im Bereich der im Rahmen der RAL-Gütesicherung gefundenen Werte bei in Deutschland gewerblich hergestellten Bio- und Grüngutkomposten bzw. übertreffen diese teilweise:

Über die biologische Behandlung konnte eine Hygienisierung und Stabilisierung der Materialien erreicht werden. Nur einige Komposte aus der Gruppe der Mischungen mit überwiegendem Anteil an Pflanzenaufwuchsmasse erfüllten diese Anforderungen nicht.

Die gute Stabilisierung spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Pflanzenverträglichkeitstests wider.

Die erzeugten Komposte wiesen einen hohen Gehalt an Nährstoffen und organischer Substanz auf. Ihr Einsatz zum Humusaufbau, zur Bodenverbesserung und Nährstoffversorgung der angebauten Kulturen ist uneingeschränkt möglich.

Alle Produkte hielten die Schwermetallgrenzwerte der EU-Ökolandbauverordnung nicht nur ein, sondern lagen sogar deutlich darunter.

Im Bereich der mistbasierten Kompostmischungen ist es möglich aus den Materialien, so wie sie auf den beiden Betrieben anfallen, geeignete Ausgangsmischungen herzustellen. Zur Optimierung des anfänglichen C/N-Verhältnisses in den Bereich zwischen 25 und 30:1 empfiehlt sich die Beimischung von ca. einem Drittel holzigen, strukturreichen Materialien mit weitem C/N-Verhältnis (s. dazu Fazit Inputmaterialien, Kap. 3.3.2)

Ein besonderes Augenmerk sollte auf die Steuerung des Wassergehaltes sowie die Praxis der Mietenabdeckung gelegt werden. Der Feuchtigkeitszustand der Kompostmieten sollte während des Kompostierungsprozesses mit der Faustprobe regelmäßig geprüft werden, um den Wasserhaushalt bedarfsweise steuern zu können. In der Folge lassen sich die mikrobiologischen Prozessbedingungen optimieren und Sickerwasseremissionen in den Untergrund reduzieren.

Optimierungsbedarf gibt es bei den Pflanzenanbau-Mix-Komposten. Die festgestellten Defizite bei der Kompostqualität resultieren aus Defiziten bei der Zusammensetzung der Ausgangsmischungen. Der Einsatz von Luzerne oder Klee gras als alleiniger oder überwiegender Rohstoff ist ungeeignet für einen optimalen Kompostierungsprozess. Infolge unzureichender Rotteprozessbedingungen wurden bei einigen Chargen die für eine Hygienisierung erforderlichen Temperaturen nicht erreicht. In der Folge fand keine vollständige Abtötung von Unkrautsamen statt. Auch hinsichtlich Reife, Stabilität und Pflanzenverträglichkeit gab es teilweise Defizite.

Die diesbezüglichen Optimierungsmaßnahmen betreffen demzufolge maßgeblich die Zusammensetzung der Ausgangsmischungen. Zur Optimierung des anfänglichen C/N-Verhältnisses in den Bereich zwischen 25 und 30:1 sollte der Ausgangsmischung maximal ein Drittel Klee gras/ Luzerne beigemischt werden. Vorschläge zu geeigneten Mischungspartnern und Mischungsanteilen sind im Fazit zu den Inputmaterialien (Kap. 3.3.2) zu finden. Ergebnisse aus anderen Projekten bestätigen, dass mit den in Kap. 3.3.2 vorgeschlagenen Rohstoffen und Mischungsanteilen eine sachgerechte Klee graskompostierung möglich ist (Lintzen, 2019, Bruns et al. 2023).

Im Hinblick auf die Steuerung des Wassergehaltes und die Praxis der Mietenabdeckung gelten auch für die Pflanzen-Mix-Mischungen die gleichen Empfehlungen wie zuvor bei den Pferdemist-/Mix und Mist-Mix-Komposten beschriebenem Vorgehen.

Mit der Umsetzung der vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen ist die Durchführung einer umweltverträglichen Feldrandkompostierung bei diesen Betrieben ebenfalls als erfolgsversprechend zu bewerten.

### 3.3.3 Emissionen Sickerwasser

#### 3.3.3.1 Hintergrund, Definitionen und Problemstellung

Die Mietenkompostierung organischer Reststoffe wie z. B. Grüngut und fester tierischer oder pflanzlicher Wirtschaftsdünger wird im Hinblick auf mögliche Sickerwasserbildung und daraus ggf. folgenden Boden- bzw. Grundwasserbelastungen mit Nitrat in unterschiedlichem Kontext und für verschiedenste Materialien schon seit langem diskutiert sowie v. a. bei einer Durchführung auf unbefestigten Flächen am Feldrand z. T. sehr kritisch gesehen (*Vogtmann und Ott, 1980; Gottschall und Vogtmann, 1988; Roth et. al., 1989; Berner et. al., 1990, 2004; AwSV, 2017; LLH, 2023; Zenger et. al., 2024*).

Die Sickerwasserbildung und damit die Auswaschung von Nährstoffen aus solchen „offenen“, d. h. nicht überdachten, Kompostmieten resultiert im Wesentlichen aus zwei Gründen:

Erstens durch sogenanntes Presswasser, also bereits in der Kompostmiete lokalisierte oder umsetzungsbedingt neu gebildete Wasseranteile, die aufgrund des Eigengewichts des auflastenden Materials aus der Miete herausgedrückt werden und in diesem Fall als Sickerwasser auftreten.

Zweitens durch die infolge von Niederschlägen verursachte Sickerwasserbildung.

Eine Presswasserbildung erfolgt meist während der ersten Rottephase abgestorbener organischer Reststoffe. Sie wird durch den abbaubedingten Zellaufschluss und verschiedene biologische und chemische Umbauprozesse im Material hervorgerufen, wobei viel „internes/metabolisches“ Wasser freigesetzt bzw. neu gebildet wird. Bei gut laufenden Rotteprozessen und starker Erhitzung des Materials kann dieses Wasser größtenteils dampfförmig entweichen, in ungünstigeren Fällen hingegen ein Teil davon als Sickerwasser aus dem Material „herausgepresst“ werden (*Gottschall und Vogtmann, 1988; Roth, et. al., 1989; Bruns et. al., 2022*).

Als Presswasser auftretende Sickerwässer sind in den meisten Fällen nur in geringen bis sehr geringen Mengen zu verzeichnen, es sei denn, die Rohmaterialzusammensetzung des Ausgangsmaterials der Kompostierung ist ungünstig und umfasst einseitig im Wesentlichen pastöse und/oder stark wasserhaltige Materialien, wie reines junges Klee-/Luzernegras, geräumte junge Zwischenfruchtbestände, Gemüseputzabfälle etc. Bei zu hohen Mieten mit solchen Materialien (> 2 m Höhe) steigt naturgemäß die Gefahr der Presswasserbildung.

Die niederschlagbedingte Sickerwasserbildung stellt das eigentliche Problem dar. Sie ist von einer Reihe verschiedener Faktoren abhängig, insbesondere:

- Höhe und Verteilung der Niederschläge,
- Mietenvolumina, Mietenform, Volumen-/Oberflächenverhältnis der Miete,

- Rottephase der Kompostierung (z. B. Heißphase mit wesentlicher Wasserverdunstung gegenüber Reifephase bei Umgebungstemperatur und ohne Wasserverdunstung),
- Materialzusammensetzung,
- Prozesssteuerungsmaßnahmen wie Umsetzen und Abdecken der Miete, z. B. mit Stroh und/oder wasserabweisenden bzw. niederschlagsdichten Materialien wie Kompostvlies oder Folien.



Abbildung 3.3.40 Mischen von Pferdemist und Klee gras mit dem Portalachswender beim Aufsetzen einer Miete (Foto: Gottschall)



Abbildung 3.3.41 Miete vor und nach dem Abdecken mit Kompostvlies (Foto: Gottschall)

Dabei ist schon an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass eine Unterdrückung von niederschlagsbedingtem Sickerwasser mit der Anwendung vorgenannter regenabweisender/regendichter Abdeckungen keinen „Automatismus“ darstellt. Niederschlagsbedingte Sickerwasserbildung kann aufgrund verschiedener Ursachen eines unsachgemäßen Handlings auch mit solchen Abdeckungen auftreten (siehe *Gottschall et. al., 1992; Stöppler-Zimmer et. al., 1993; Berner et. al., 1995*).

Die z. T. sehr hohe organische wie nährstoffmäßige Belastung solcher Sickerwässer (BSB, CSB, N, aber auch K, Na) bedingt die kritische Sicht und entsprechende Vorschriften seitens der für den Wasserschutz zuständigen Behörden. Dies schließt i. d. R. eine Lagerung/Kompostierung o. g. Materialien auf befestigter Fläche und das Auffangen sowie die Speicherung der anfallenden Sickerwässer bei den verarbeitenden Anlagen ein (*AwSV, 2017; Andreska, 2023*).

Bei Einhaltung bestimmter Rahmenbedingungen sind feste Wirtschaftsdünger von Huf- und Klautentieren aus der Landwirtschaft hiervon ausgenommen, wenn die Festmiste nicht auf Anlagen und nicht länger als 6 Monate gelagert/verarbeitet werden. Entsprechende Bestimmungen sind grundsätzlich an der AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) ausgerichtet, variieren jedoch in den einzelnen Bundesländern teilweise. Dementsprechend können Festmiste (oft nach einer „Vorrotte“ auf befestigtem Untergrund) bis zu 6 Monaten auf unbefestigten und im Sinne des Wasserschutzes geeigneten landwirtschaftlichen Flächen gelagert werden.

In diesem Zusammenhang tritt immer wieder die Frage auf, ob diese Vorgehensweise auch für die „Kompostierung“ solcher Festmiste auf Mieten am Feldrand möglich ist. Oder ob es sich bei der Feldrandkompostierung um ein unzulässiges Verfahren zur Verarbeitung von Festmist handelt, da es ein hohes Risiko der Freisetzung umweltbelastender und wassergefährdender Sickerwässer birgt und daher zu unterbinden ist.

Im Folgenden soll diese Fragestellung anhand der Ergebnisse des Projektes VELKO aus fachlicher Sicht im Hinblick auf die Bildung von Sickerwässern bei der Feldrandkompostierung und der Nitratbelastung von Böden unter Kompostmieten am Feldrand beleuchtet werden.

Vergleichend zu den VELKO-Ergebnissen werden die umfangreichen Untersuchungen zur Feldrandkompostierung des FIBL-CH und des FÖL der Univ. Kassel, v. a. aus den 1980/90-er Jahren (*Berner et. al., 1990, 1994, 2004; Gottschall et. al., 1992, Stöppler-Zimmer et. al., 1993*) und weitere einschlägige Literaturstellen diskutiert.

Aus diesen Ergebnisdarstellungen werden Schlussfolgerungen bzgl. der Auswirkungen unterschiedlicher Vorgehensweisen bei der offenen Mietenkompostierung am Feldrand auf Kompostqualität, Ökolandbau-betrieb und Umwelt gezogen. Hieran schließt sich ein Katalog empfohlener Maßnahmen für eine umweltverträgliche Feldrandkompostierung an.

### 3.3.3.2 Sickerwassererfassung und -analyse

#### **Ergebnisse**

In der Abb. 3.4.24 und Abb. 3.4.25 sind die insgesamt erfassten Sickerwässer in beiden Untersuchungen und für den Sommersversuch 2023 auch der Verlauf des Sickerwasseranfalls dargestellt. Während im Winterversuch die abgedeckte Variante etwas schlechter abschnitt als die unabgedeckte Variante, zeigte erstere im Sommersversuch einen leicht geringeren Sickerwasseranfall. Da in diesem Versuchen nicht mit mehrfacher Wiederholung gearbeitet werden konnte und daher eine statistische Bewertung der Mengenunterschiede nicht möglich war, ist man bzgl. der Interpretation auf Erfahrungen aus anderen Versu-

chen angewiesen (s. Diskussion in diesem Kapitel). Diese weisen darauf hin, dass die in den VELKO-Versuchen gemessenen Unterschiede bei der gesamten Sickerwassermenge sehr gering sind und zufällig sein dürften.

Wie bereits bei der Methodenbeschreibung in Kap. 2.4.5 angedeutet, gab es in diesem Praxisversuch verschiedene Quereinflüsse, die das Ergebnis beeinflusst haben:

Da es sich um einen Praxisversuch handelte, waren bei der Sickerwassererfassung verschiedene Einflussfaktoren aufgrund der Praxisgegebenheiten festzustellen, welche bei der Auswertung der Ergebnisse eine Rolle spielten:

- Eintrag von Wasser aus dem Abfluss des leicht hängigen Geländes in eine Wanne zur Erfassung des Sickerwassers:  
Bei Starkregenereignissen war festzustellen, dass insbesondere bei der obersten Auffangwanne überhöhte Sickerwassermengen gemessen wurden, da offensichtlich Hangwasser über den 10cm hohen Rand in das Becken eingedrungen war. Somit wurden in der Wanne neben den eigentlichen Sickerwassermengen auch Niederschlagsmengen miterfasst.
- Beschädigung einer der Wannen zur Sickerwassererfassung beim Umsetzen:  
Der Wender musste bei dem Wender die Miete jeweils die Sickerwasserwannen überfahren ohne die technischen Vorrichtungen zu zerstören. Dies ist bei zwei Durchgängen nicht gelungen, so dass die Ränder der Auffangbecken beschädigt wurden.
- Überlauf von Bewässerungswasser in einen Teil der Sickerwasserwannen.
- Abfluss von Niederschlag über das Kompostvlies in die Sickerwasserwannen:  
Ein weiterer Störfaktor war durch das eingesetzte Kompostvlies gegeben. Durch das nicht korrekt nachlaufende Rad des Wenders wurde eine Fahrrinne gebildet, über die Niederschlagswasser nach Abfluss vom Vlies erfasst und z. T. in die Wannen eingetragen wurde. Möglicherweise floss dabei auch weiterhin ein Teil des vom Vlies abgeleiteten Niederschlagswassers in den Mietenfuß zurück, da durch die Verdichtung am Boden in der vom Wenderrad gebildeten Rinne keine Versickerung stattfinden konnte.



Abbildung 3.3.42 Unbeschädigte Auffangwanne bei Versuchsende (Foto: Zerger)



Abbildung 3.3.43 Beschädigte Auffangwanne bei Versuchsende (Foto: Zerger)

Obwohl es im Versuchsverlauf immer wieder Maßnahmen zur Fehlerbehebung gab, liefen die Versuche doch über längere Zeiten unter nicht ausreichend sicheren Bedingungen, zumal die Fehlererkennung meistens nicht unmittelbar erfolgte. Hierdurch bedingt gab es eine Reihe von wesentlichen Quereinflüssen auf die Sickerwassererfassung, die eine Belastbarkeit der gefundenen Ergebnisse stark in Frage stellen. Bei einer der beiden angelegten Wiederholungen waren die Quereinflüsse während der Messungen so erheblich, dass sie aus der Auswertung ausgeschlossen werden musste. D. h. aber auch, dass lediglich die Messdaten einer Wiederholung vorliegen, was wissenschaftliche Anforderungen für solche Versuchsanstellungen keinesfalls abdeckt.

Exemplarisch werden diese Problemstellungen auch am Verlauf des Sickerwasseranfalls im Sommerversuch (siehe Abb. 3.4.25) deutlich. Hier lag der Sickerwasseranfall der abgedeckten Kompostmiete über einen zweimonatigen Versuchszeitraum bei lediglich 10-20 % des Sickerwasseranfalls der unabgedeckten Variante. Im dritten Versuchsmonat sank der Sickerwasseranfall in der unabgedeckten Variante hingegen auf rund 2/3 der Menge gegenüber dem Vormonat, obwohl sich der Niederschlag auf einen hohen Wert von 95 mm verdoppelt hatte. Dies ist nicht nur unlogisch, sondern deckt sich auch nicht mit anderen Versuchsergebnissen in der Literatur (z.B. Berner et. al., 1990).

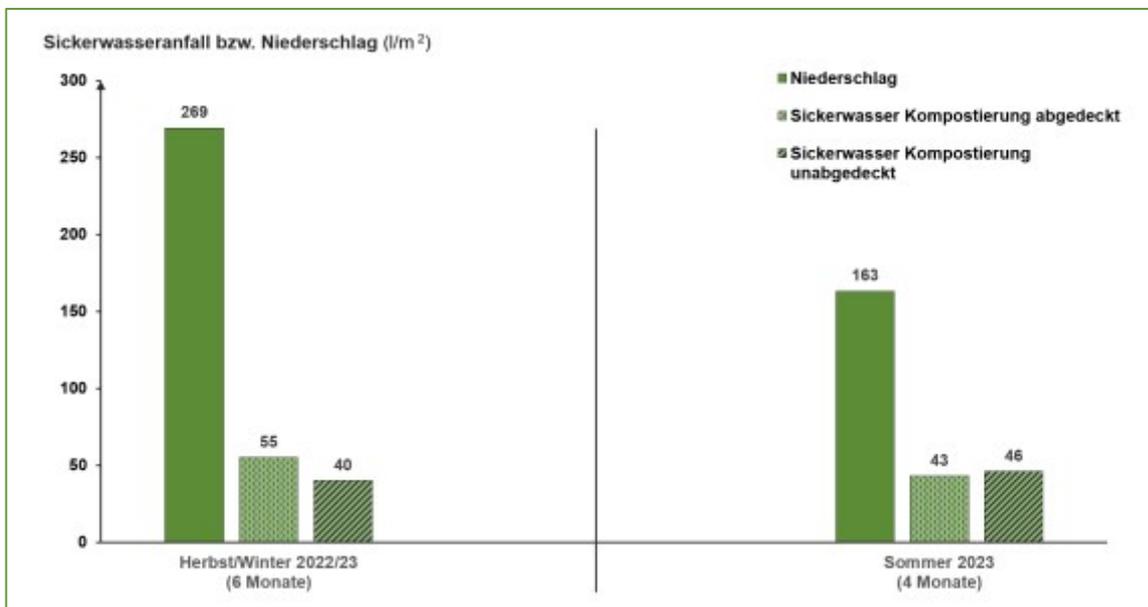


Abbildung 3.3.44 Sickerwasseranfall während der gesamten Versuchszeit in den beiden Versuchen der Feldrandkompostierung mit und ohne Abdeckung

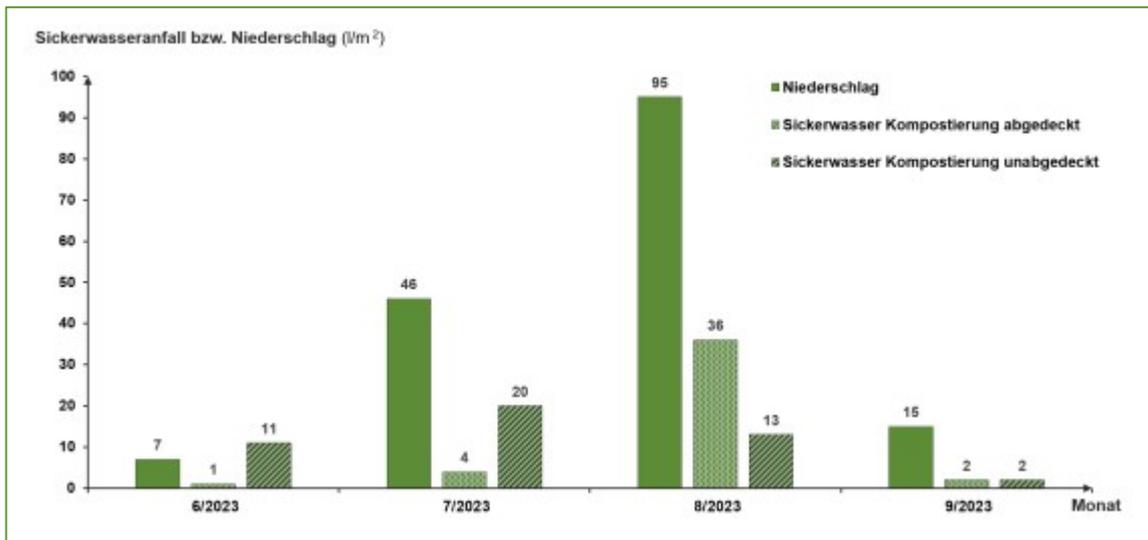


Abbildung 3.3.45 Verlauf des Sickerwasseranfalls im Sommerversuch bei der Feldrandkompostierung mit und ohne Abdeckung

Die Ergebnisse zeigen, wie schwierig es ist, unter Praxisbedingungen und ohne eine wissenschaftlich exakte sowie akribisch verfolgte Versuchsanlage mit mehrfacher Wiederholung belastbare Daten zu Mengen und Verlauf des Sickerwasseranfalls unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu erheben. In der folgenden Diskussion wird daher im Wesentlichen auf die bereits älteren Untersuchungen des FIBL und der Univ. Kassel Bezug genommen, wenn es um die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Abdeckungsversuchen bei der Feldrandkompostierung geht, da diese damals unter wissenschaftlich exakten Bedingungen vorgenommen worden sind.

## Diskussion

In mehreren Untersuchungen an der Univ. Kassel wurden Sickerwasserbildung und Sickerwasserbelastung während der Kompostierung von Rinderfestmist auf Dreiecksmieten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Abdeckungen (insbesondere Stroh, Silofolie) der Kompostmieten geprüft. Bei der Erstuntersuchung betrug der Zeitraum der Kompostierung ca. 7,5 Monaten (*Gottschall et. al, 1992*). Die Mieten waren beim Ansetzen ca. 1,80 m, bei der Räumung noch ca. 1,0 m hoch und 3,5 m breit. Die Niederschlagssumme in diesem Zeitraum lag bei ca. 410 mm und ebenso wie die Verteilung der Niederschläge im ortsüblichen Rahmen, mit einer Spitze im Spätherbst/Winterzeitraum, jedoch ohne extreme Niederschlagsereignisse.

Insgesamt wurden 1985 bis 1988 zwei Versuche in vierfacher Wiederholung und einer randomisierten Blockanlage sowie mit einem sehr ähnlichen Vorgehen zum Test unterschiedlicher Abdeckungsvarianten durchgeführt. Eine dritte Untersuchung schloss sich 1990 an, in der auch eine Kompostierungsvariante unter Dach geprüft wurde (*Stöppler-Zimmer et. al., 1993*). Die beiden letztgenannten Versuche liefen mit 6 Monaten Kompostierungszeit deutlich kürzer als die Erstuntersuchung.

Die Abdeckung der Kompostmieten mit Stroh erfolgte direkt beim Ansetzen, die Silofolie für die Variante „niederschlagsdichte Abdeckung“ wurde in diesen Untersuchungen hingegen erst ca. 4-6 Wochen nach dem Versuchsansatz über die Strohabdeckung gezogen, d. h. als die thermophile Rottephase mit Temperaturen zwischen 50-70 °C im Kern allmählich abzuklingen begann.

Die Ergebnisse der vorgenannten Untersuchungen werden im Folgenden diskutiert. Mehrere Untersuchungen zur Feldrandkompostierung wurden außerdem am FIBL Schweiz sowohl mit Festmist als auch mit Grüngut durchgeführt (Berner, 1990; Berner et. al., 1995 und 2004). Diese werden ebenfalls in die Diskussion einbezogen.

Abb. 3.4.26 zeigt den Anfall von Sickerwasser bei der Erstuntersuchung an der Univ. Kassel 1985/86 mit Versuchsbeginn im Sommer. In der ersten, heißen Phase der Kompostierung und noch ohne Folienabdeckung wurde sehr viel Wasser aus den Kompostmieten verdunstet, geringe Niederschlagsmengen wurden problemlos absorbiert bzw. direkt wieder verdunstet und es fiel so gut wie kein Sickerwasser an. Dies galt für alle getesteten Abdeckungsvarianten und auch für die unabgedeckte Variante (siehe Abb. 3.4.26).

Ein nur äußerst geringer Sickerwasseranfall war darüber hinaus fast durchgängig bis zum Versuchsende für die mit Stroh und Silofolie abgedeckte Versuchsvariante zu verzeichnen. In der letzten Versuchsphase im März wurde jedoch aufgrund von stürmischem Wetter die Abdeckung zeitweise von der Miete herunter geweht, so dass die im März mit insgesamt 62 mm relativ hohen Niederschläge teilweise in die mittlerweile erkaltete Miete eindringen und dementsprechend Sickerwasserbildung hervorrufen konnten. Über den gesamten Versuchszeitraum wurden bei dieser Versuchsvariante jedoch insgesamt nur 16 Liter Sickerwasser pro m<sup>2</sup> Mietenfläche gefunden, was 3,9 % der gefallenen Niederschläge von 410 mm entspricht.

Demgegenüber verlief der Sickerwasseranfall in zeitlicher Verteilung und Menge bei der unabgedeckten Variante größtenteils völlig anders (siehe Abb. 3.4.26). Während der ersten beiden Versuchsabschnitte von Mitte August bis Anfang Dezember, d. h. über ca. 3,5 Monate, fielen bei einer verzeichneten Niederschlagsmenge in diesem Zeitraum von 124 mm auch in der unabgedeckten Variante aufgrund der oben erläuterten Zusammenhänge nur sehr geringe Sickerwassermengen von weniger als 4 Liter/m<sup>2</sup> Mietenfläche an. Erst in den folgenden Versuchsphasen zwischen Anfang Dezember bis Ende März des Folgejahres, d. h. in den folgenden 4 Versuchsmonaten, war bei der unabgedeckten Miete ein starker Sickerwasseranfall bei z. T. sehr hohen Niederschlägen zu verzeichnen. Der Sickerwasseranfall stieg dabei von zunächst ca. 26 % der Niederschlagssumme bis auf ca. 60 % der Niederschlagssumme im jeweiligen Versuchszeitraum an. Insgesamt fielen bei der unabgedeckten Variante in dem 7,5 Monate währenden Versuchszeitraum 112 Liter Sickerwasser pro m<sup>2</sup> Mietenfläche an, was ca. 27 % der Niederschlagssumme im gesamten Versuchszeitraum entspricht.

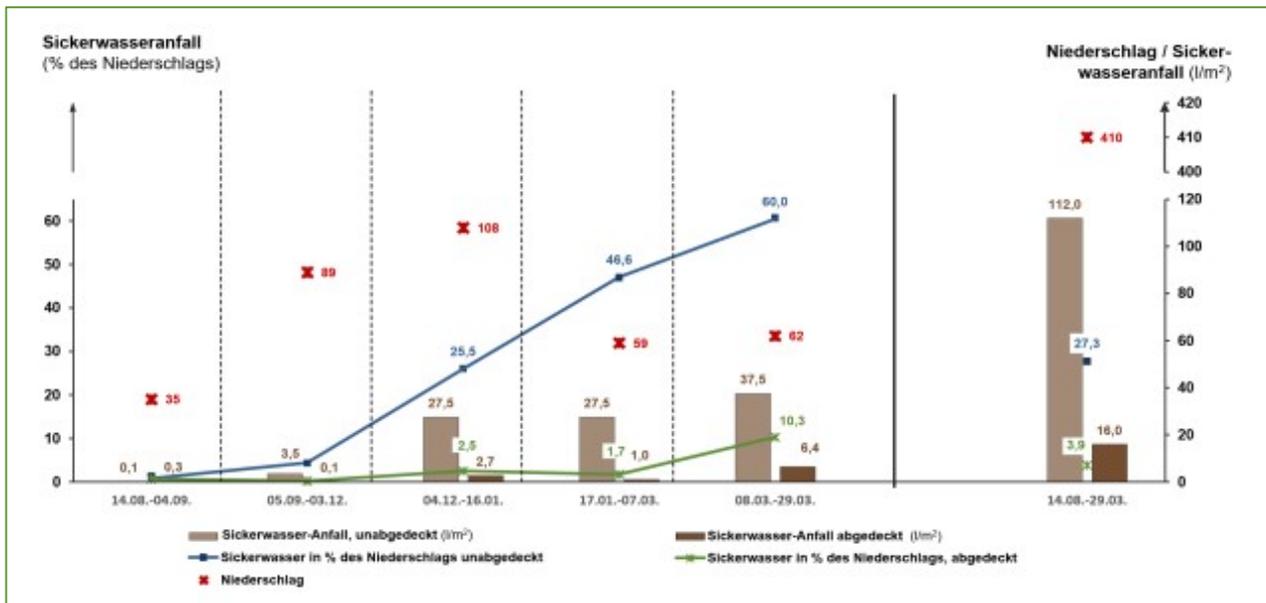


Abbildung 3.3.46 Sickerwasseranfall bei der Kompostierung von Festmist ohne Abdeckung und mit Abdeckung Stroh und Silofolie (Quelle: Gottschall et al., 1992)

In der Mitte Oktober 1990 angelegten dritten Untersuchung lag der gesamte Sickerwasseranfall in den unabgedeckten Mieten mit 113 l/m<sup>2</sup> praktisch gleich hoch wie im Erstversuch, allerdings bei einer deutlich geringeren Niederschlagsmenge von 274 mm in der rund sechsmonatigen Versuchsdauer. Der Sickerwasseranfall entsprach damit ca. 41 % des Niederschlags (Stöppler-Zimmer et al., 1993). Wesentlich für dieses Ergebnis war unter anderem, dass in der ersten Rottephase über 6 Wochen bei sehr niedrigen Umgebungstemperaturen und gleichzeitig einer sehr hohen Niederschlagsmenge von 122 mm im November keine ausreichende Wasserverdunstung aus den unabgedeckten Mieten erfolgte, die die vorgenannte Niederschlagssumme neutralisiert hätte. Auch ging die Mietentemperatur im November selbst im Kern bereits auf 40-50 °C gegenüber 65-70 °C zu Rottebeginn zurück, im Fuß der Miete auf 20-30 °C und im Rand sogar auf 10-18 °C, was die Wasserverdunstung entsprechend limitierte.

Dieselben Verhältnisse betrafen in diesen ersten Rottewochen die Variante „Stroh plus niederschlagsdichte Folienabdeckung“, da erst nach ca. 6 Wochen die Folie aufgelegt wurde. Entsprechend hoch war hier ebenfalls der Sickerwasseranfall, der 23 l/m<sup>2</sup> betrug (unabgedeckt 22 l/m<sup>2</sup>). Damit fielen in dieser ersten, nicht ausreichend gut gesteuerten Rottephase rund 74 % des Sickerwassers dieser Variante mit niederschlagsdichter Abdeckung an. Nach Auflegen der Silofolie bis Versuchsende betrug der Sickerwasseranfall hingegen nur noch 8 l/m<sup>2</sup>, bei der unabgedeckten Variante demgegenüber 91 l/m<sup>2</sup>!

Der aufgeführte Sickerwasseranfall bei den unabgedeckten Mistkompostvarianten in den beiden Versuchen konnte durch eine niederschlagsdichte Abdeckung um 73-86 % reduziert werden. Bezogen auf den Sickerwasseranteil am Niederschlag während der Feldrandkompostierung ging dieser von 27-41 % bei den unabgedeckten Varianten auf 4 -11 % bei den Varianten mit niederschlagsdichter Abdeckung zurück. Bei Kompostierung desselben Materials in einer Variante unter Dach im dritten Versuch fiel sogar überhaupt kein Sickerwasser an, da der Festmist aus dem gut eingestreuten Tretmiststall keine Presswasserbildung zuließ. Berücksichtigt man weiterhin die o. g. Handlings-/Steuerungsprobleme bei der Feldrandkompostierung in den Versuchen, so wird deutlich, dass damals diesbezüglich noch relevante Optimierungspotentiale gegeben waren, die auch heute zu beachten sind. Ein „Null-Sickerwasser-Anfall“ wie bei Kompostierung unter Dach dürfte zwar mit einer mobilen Abdeckung nicht realistisch sein, wird aber vor

dem Hintergrund der im Folgenden dargestellten Ergebnisse zu den Bodenbelastungen auch gar nicht als erforderlich angesehen (s. Kap. 3.4.4).

Gestützt werden diese Aussagen zu den weiteren Verbesserungsmöglichkeiten mittels optimierter Steuerung auch durch die Ergebnisse in verschiedenen Untersuchungen des FIBL-CH zur Feldrandkompostierung von Festmist und Grüngut (*Berner et. al., 1990, 1994, 1995, 2004*). Der auf die Niederschlagssumme bezogene Sickerwasseranteil variierte in diesen Untersuchungen zwar in weitem Maße zwischen 11-37 %, lag aber weitgehend im Bereich der bereits in den o. g. Untersuchungen gefundenen Werte. Im Extremfall wurden in den FIBL-Untersuchungen hingegen trotz Vliesabdeckung Sickerwassermengen bis zu 240 l/m<sup>2</sup> gefunden. *Berner et. al. (1995)* führten diese auf hohe Wassermengen nach starken Niederschlägen zurück, die von der Vliesabdeckung abgeleitet wurden, aber nicht schnell genug versickern konnten, so dass sie in den Mietenfuß zurückflossen und in der Folge zu weiterem Sickerwasser führen. Weiterhin zu berücksichtigen ist dabei, dass die durchschnittliche Niederschlagssumme in den fünf FIBL-Untersuchungen mit Festmist bei 603 mm und damit um die Hälfte bis über dem Doppelten höher lag als die Niederschlagssumme in den Untersuchungen der Univ. Kassel mit 274-410 mm.



Abbildung 3.3.47 Kompostierung auf Praxisbetrieb (Foto: Zerger)

Insgesamt zeigen die Versuchsergebnisse den Einfluss der in Kap. 3.4.3. beschriebenen unterschiedlichen Faktoren auf die Sickerwasserbildung bei der Mietenkompostierung auf und lassen dadurch auch Schlussfolgerungen bzgl. einer optimierten Feldrandkompostierung zu. Interessant ist hierbei, dass:

- Fachgerecht aufgesetzte „Walmenmieten“ praxisüblicher Abmessung (3-4 m breit, 1,50-2 m hoch) bei passender Zusammensetzung (gute Struktur/hohe Stroheinstreu/nicht zu nass), während eines längeren Zeitraums mit starker Erhitzung in der Miete selbst relativ hohe Niederschlagssummen bis zu einer gewissen Grenze ohne relevante Sickerwasserbildung bewältigen können.
- Festmistmieten ohne wesentliche Temperaturbildung, die im Rotteverlauf zunehmend zusammensacken und/oder bereits wassergesättigt sind, hingegen eine extreme Anfälligkeit für starke Sickerwasserbildung zeigen, v. a. bei hohen Niederschlagssummen.
- Die z. T. praktizierten Kleinmieten mit 2-2,5 m Breite und 1-1,40 m Höhe anfälliger für Sickerwasserbildung sind, alleine schon aufgrund ihres schlechteren Oberflächen-/Volumenverhältnisses. Dies steht dem Vorteil einer z. T. besseren Durchlüftung dieser Mieten entgegen. Aus Sicht der Autoren empfiehlt sich diese Mietenkonstellation daher nur in Regionen mit nicht zu hohen Niederschlägen oder bei sehr sorgfältigem Abdeckungsregime.

#### Zwischenfazit

**Generell kann man aus den vorgestellten Ergebnissen schließen, dass Feldmistmieten (mit und ohne Kompostierung!) – ebenso wie Kompostmieten am Feldrand aus anderen, auch pflanzlichen Wirtschaftsdüngern wie Klee gras – bei der Lagerung über einen längeren Zeitraum von z. B. 6 Monaten (d. h. im zulässigen Außenlagerungszeitraum) früher oder später in aller Regel einer niederschlagsdichten Abdeckung bedürfen. Diese muss überdies sachgerecht aufgebracht, befestigt und immer wieder kontrolliert werden. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, dass solche Abdeckungen nicht nur vor Niederschlag schützen, sondern im umgekehrten Fall trockener Zeiträume bei der Kompostierung helfen, das für den Rotteprozess unbedingt notwendige Wasser in der Miete zu halten.**

### 3.3.4 Sickerwasserbelastung und Nährstoffausträge

#### 3.3.4.1 Sickerwasserbelastung

##### Ergebnisse

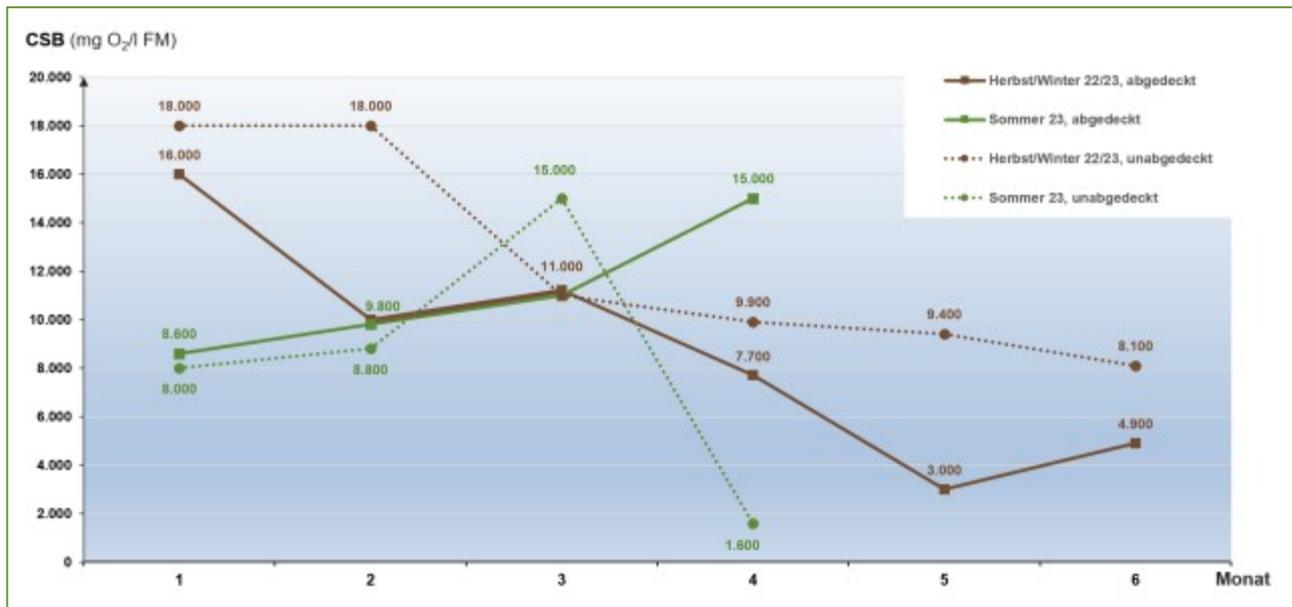
Tab. 3.4.2 sowie Abb. 3.4.27 zeigen zum einen für die Belastungen des Sickerwassers mit Stickstoff ( $N_{ges.}$ ) und anderen Pflanzennährstoffen den Median und die Min./Max.-Werte der analysierten Proben, sowie zum anderen den Verlauf der organischen Belastung während der beiden Versuche.

Die  $N_{ges.}$ -Belastungen des Sickerwassers lag im ersten Versuch bei der unabgedeckten Kompostvariante etwas höher, im zweiten Versuch leicht niedriger als bei der abgedeckten Variante. Bei den anderen untersuchten Pflanzennährstoffen, war – bis auf eine Ausnahme – in beiden Versuchen generell eine leicht bis deutlich höhere Konzentration im Sickerwasser der unabgedeckten Variante gegenüber der abgedeckten Variante zu finden. Gleiches galt im ersten Versuch für die CSB-Belastung des Sickerwassers, die beim unabgedeckten Kompost über fast die gesamte Versuchszeit deutlich höher lag als bei dem abgedeckten Kompost (Abb. 3.4.27). Hingegen waren im zweiten Versuch keine eindeutigen Unterschiede bei der CSB-Belastung festzustellen. Die Daten zu allen untersuchten Parametern im Einzelnen sind dem Anhang 9.3 zu entnehmen.

Tabelle 3.3.4 Nährstoffkonzentration im Sickerwasser<sub>1</sub> (mg/l FM) bei den beiden VELKO-Abdeckungsversuchen

	$N_{ges.}$			Mg			S			Na		
	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median	Min.	Max.	Median
<b>Herbst/Winter 2022/23 (6 Monate)</b>												
⇒ Kompost abgedeckt	150	390	180	50	120	63	50	110	50	50	290	122
⇒ Kompost unabgedeckt	150	530	215	50	130	81	50	150	90	78	270	120
<b>Sommer 2023 (4 Monate)</b>												
⇒ Kompost abgedeckt	150	220	210	55	100	71	77	98	88	150	220	205
⇒ Kompost unabgedeckt	150	340	190	64	130	102	71	110	94	240	430	285

<sup>1)</sup> Minimale und maximale Monatsmittel, Median der Monatsmittel

Abbildung 3.3.48 Verlauf CSB-Gehalte im Sickerwasser (mg O<sub>2</sub>/l FM) bei beiden Abdeckungsversuchen

## Diskussion

Im Vergleich zu Literaturwerten lagen die im Rahmen von VELKO gefunden Konzentrationen an N<sub>ges.</sub>, aber auch beim CSB in einem eher niedrigen bis sehr niedrigen Bereich für nährstoffreiche Materialien wie Festmiste oder Festmist-/Luzernegrasmischungen (Tab. 3.4.3). Hierfür könnte zum einen eine Rolle spielen, dass strohreiche Pferdemiste natürlich geringere Nährstoffgehalte aufweisen, v. a. beim Stickstoff, als Rinder- oder Schweinefestmist, aber auch, dass bedingt durch die vergleichsweise hohe Stroheinstreu bei der Pferdehaltung und damit einem weiteren C/N-Verhältnis im Pferdemist der Stickstoff im Verlauf der Kompostierung bereits stärker organisch gebunden und weniger auswaschungsgefährdet war. Zum anderen dürften dabei aber auch die bereits im Vorkapitel diskutierten zahlreichen Quereinflüsse während der beiden Versuche eine erhebliche Rolle gespielt haben. Insbesondere eine mögliche Verdünnung durch fälschlicherweise direkt erfassten Niederschlag oder Bewässerungswasser in den Sickerwassertonnen wäre hierbei zu berücksichtigen.

Um daher mehr Klarheit in die möglichen Nährstoffbelastungen von Sickerwasser bei der Feldrandkompostierung zu bringen, soll an dieser Stelle zusätzlich vertieft auf die Literaturergebnisse aus ähnlichen Versuchen eingegangen werden. Oft gefundene Konzentrationen an CSB und Pflanzennährstoffen in Sickerwässern aus organischen Reststoffen bzw. Festmist bei der Feldrandkompostierung zeigt Tab. 3.4.3. Erkennbar wird daraus zunächst, dass die Sickerwässer der i. d. R. nährstoffreicheren Materialien wie Festmist und Biogut/Bioabfälle deutlich höhere Belastungen aufweisen als die Sickerwässer aus durchschnittlichem Grüngut (Roth et al., 1989; Stöppler-Zimmer et al., 1993; Berner et al., 1995). Allerdings kann Sickerwasser aus Grüngut mit sehr hohem Grasanteil auch in Belastungsbereichen wie die aufgeführten Bioabfälle angesiedelt sein. Die Ergebnisse lassen weiterhin darauf schließen, dass diese Zusammenhänge auch für die Kompostierung pflanzlicher Wirtschaftsdünger mit hohen Nährstoffgehalten wie insbesondere reines Klee-/Luzernegras gelten dürften, auch wenn hierzu bisher keine Analysen vorliegen.

Interessant ist darüber hinaus, dass in den bereits nach Kap. 3.4.3.2.1 dargestellten beiden Versuchen der Univ. Kassel mit Festmisten bei der Feldrandkompostierung, in denen Sickerwasseranalysen durchgeführt

wurden, die niederschlagsdicht abgedeckten Mietenvarianten eine geringere Sickerwasserbelastung als die ungedeckten Varianten aufwiesen (Tab. 3.4.3), (Stöppler-Zimmer et. al., 1993). Im ersten Ansatz könnte man bei der abgedeckten Variante höhere Belastungen vermuten, da hier in den Versuchen der Univ. Kassel viel weniger Sickerwasser angefallen ist, was demnach konzentrierter sein könnte/müsste. Dies ist jedoch offensichtlich nicht der Fall, was dafür spricht, dass die deutlich höheren Wassermengen, die das Material der ungedeckten Variante durchflossen haben, tatsächlich mehr Nährstoffe und organische Substanz „mitgerissen“ und ins Sickerwasser überführt haben.

Tabelle 3.3.5 Konzentrationen relevanter Parameter in Sickerwasser aus der Kompostierung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger<sup>1)</sup> (nach verschiedenen Autoren)

Parameter	Grüngut		Biogut / Bioabfälle	Festmist (Rind)	
	1	2		abgedeckt	unabgedeckt
pH-Wert	8,2	7,4	8,0	8,6	8,7
CSB (mg/l)	480	1.520	35.000	24.609	31.683
N <sub>ges</sub> (mg/l)	100	n.b.	1.140	740	1.056
N <sub>org</sub> (mg/l)	70	n.b.	580	728	1.032
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	10	20	650	12	24
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	20	2	15	0,9	1,1
P (mg/l)	5	10	120	173	232
K (mg/l)	440	n.b.	5.341	8.939	12.252
Quelle	Berner et. al., 1995	AGW, 1992	Roth et. al., 1989	Stöppler-Zimmer et. al., 1993	

<sup>1)</sup> n = 8 für Grüngut, 2 für Festmist, 300 für Biogut/Bioabfälle (Median, bei Festmist Einzelwerte)

### 3.3.4.2 Nährstoffauswaschung und Frachtenbetrachtung

#### Ergebnisse

Die in Tab. 3.4.4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass trotz z. T. erheblicher Unterschiede bei den Konzentrationen an N<sub>ges.</sub> im Sickerwasser (siehe Tab. 3.4.2) die ausgetragene N-Fracht im Wesentlichen durch die unterschiedlichen Sickerwassermengen, die erfasst wurden, bestimmt sind. So lag im ersten Versuch die erfasste Sickerwassermenge der abgedeckten Variante um ca. 38 % über der bei der ungedeckten Variante, die ausgetragene gesamte N-Menge um ca. 37 %. Im zweiten Versuch lagen hingegen sowohl die Sickerwassermenge als auch die ausgetragene gesamte N-Menge der beiden Abdeckungsvarianten sehr nahe beieinander.

Bezieht man die erhobenen ausgewaschenen N-Frachten auf die Gesamtmenge an Stickstoff in den Kompostmieten zu Rottebeginn, so ergeben sich im Herbst-/Winterversuch beim ausgetragenen N<sub>ges.</sub> relative Anteile am gesamten Stickstoff von 0,33 % (unabgedeckt) bis 0,45 % (abgedeckt). Im Sommersuch 2023 lagen die relativen Anteile an aus den Kompostmieten über Sickerwasser ausgetragenen N<sub>ges.</sub> im Verhältnis zur gesamten Stickstoffmenge im Kompostrohmaterial mit 0,44 % (abgedeckt) bzw. 0,45 % (unabgedeckt) in derselben Größenordnung. Die ausgetragenen N-Anteile lagen in den Abdeckungsversuchen z. T. niedriger als bei der Berechnung der ausgetragenen N-Mengen über die gemessene Bodenbelastung an Nitrat nach der Kompostierung.

Wie bereits in den beiden Vorkapiteln dargestellt, ist bei der Interpretation dieser Ergebnisse zu berücksichtigen, dass es erhebliche Quereinflüsse sowohl bzgl. der erfassten Sickerwassermenge als auch der analysierten N-Konzentration im Sickerwasser gegeben hat. Dies führte mit hoher Wahrscheinlichkeit zu teilweise falschen bzw. nicht nachvollziehbaren Ergebnissen. In Folge dessen ist dadurch die Frachtenbeurteilung betroffen, da sich diese - wie dargestellt - aus der Multiplikation von Sickerwassermenge und Nährstoffkonzentration im Sickerwasser ergibt.

Tabelle 3.3.6 Berechnung der ausgewaschenen Frachten an  $N_{ges}$  aus den Monatswerten der Mengenanfälle an Sickerwasser und der N-Konzentrationen im Sickerwasser

	Sickerwasser (l)		$N_{ges}$ -Konzentration (mg/l)		Fracht $N_{ges}$ (g $N_{ges}$ )	
	Kompost abgedeckt	Kompost unabgedeckt	Kompost abgedeckt	Kompost unabgedeckt	Kompost abgedeckt	Kompost unabgedeckt
<b>Versuch 1</b>						
Nov. 22	36	12	390	530	14,04	6,63
Dez. 22	131	16	210	280	27,51	4,48
Jan. 23	95	29	260	150	24,70	4,35
Feb. 23	8	0	150	190	1,20	0,00
März 23	146	146	150	240	21,90	35,04
April 23	20	113	150	150	3,00	16,95
Median:	--	--	180	215	--	--
Summe Messsegment <sup>1)</sup>	436	316	--	--	92,35	67,45
Pro m <sup>2</sup>	54,50	39,50	--	--	11,54	8,43
<b>Versuch 2</b>						
Juni 23	6	64	150	150	0,90	9,60
Juli 23	21	120	220	150	4,62	18,00
Aug. 23	218	80	220	340	47,96	27,20
Sept. 23	13	10	200	230	2,60	2,30
Median:	--	--	210	190	--	--
Summe Messsegment <sup>2)</sup>	258	274	--	--	56,08	57,10
Pro m <sup>2</sup>	43,0	45,7	--	--	9,35	9,52

1) Messsegment à 8 m<sup>2</sup> Fläche

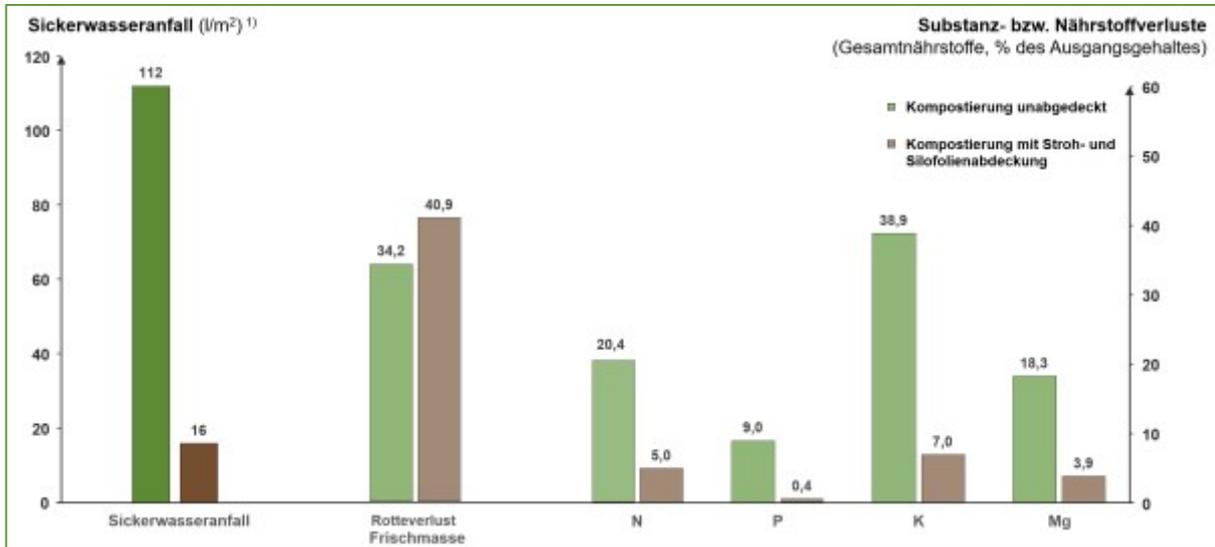
2) Messsegment à 6 m<sup>2</sup> Fläche

## Diskussion

Entsprechend der Darlegung im Vorkapitel wird aufgrund der gegebenen erheblichen Quereinflüsse auf die Ergebnisse der Auswaschungsversuche bei VELKO in der folgenden Diskussion vertieft auf die Literaturergebnisse ähnlicher Untersuchungen, v. a. des FIBL und der Univ. Kassel, eingegangen, um durch diese Zusatzinformation zu belastbaren Interpretationen zu gelangen.

Die bereits zuvor beschriebenen Verhältnisse bei der Sickerwasserbildung in den Untersuchungen der Univ. Kassel spiegeln sich unmittelbar in der entsprechenden Auswaschung der Makronährstoffe aus den Kompostmieten wider (siehe Abb. 3.4.28). Dies gilt naturgemäß v. a. für die leicht auswaschbaren Nährstoffen, hier löslicher Stickstoff, Kalium und Natrium. Besonders relevant ist diesbezüglich, dass neben den üblichen Stickstoffverlusten (gasförmig und hydraulisch als  $N_{ges}$ , Angabe in Abb. 3.4.28.) v. a. eine sehr starke Kaliumauswaschung aus Mieten ohne Abdeckung erfolgte. Diese lag im Erstversuch an der Univ. Kassel nach 7,5 Monaten Rottezeit bei knapp 39 % (Gottschall et. al., 1992). Aber auch die P-, Mg- und Ca-Verluste – wenn gleichwohl auch deutlich geringer als die K-Verluste – sollte man nicht aus dem Auge verlieren. In den Untersuchungen der Univ. Kassel erreichten die P-Verluste 9-20 %, die Mg-Verluste

18-21 % und die Ca-Verluste 13-22 % bei unabgedeckten bzw. nicht ausreichend abgedeckten Mieten (nur Strohabdeckung). Sie lagen damit allerdings überraschend deutlich über den gefundenen Verlusten bei *Berner (1990)*, der z. B. bei P einen durchschnittlichen Gesamtverlust von 7,4 % angab.



1) Bei 410 mm Niederschlag insgesamt

Abbildung 3.3.49 Sickerwasseranfall, Rotte- und Nährstoffverluste bei der Kompostierung von Rinderfestmist mit unterschiedlichen Abdeckungen (Quelle: Gottschall et al. 1992)

Sehr einheitlich sind hingegen die Untersuchungsergebnisse bezgl. der K-Verluste aus den beiden o. g. Untersuchungsserien. *Berner (1990)* fand in seinen Untersuchungen einen mittleren K-Verlust von 53 % nach 4-9 Monaten Kompostierung bei im Mittel 603 mm Niederschlag. *ITADA (2001)* gibt maximale K-Verluste bei der Festmistkompostierung von über 60 % an. *Berner* folgerte aus seinen Ergebnissen, dass die Auswaschung von Kalium bei der Feldrandkompostierung von Festmist – im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Stickstoff – praktisch vollständig von der Niederschlagssumme abhängt und daher „...die Verluste an Kali nur mittels wasserdichter Abdeckung der Mieten und damit Verringerung der Menge der Sickersäfte vermindert werden (können)“ (*Berner, 1990*).

Diese Arbeitshypothese wird durch die Ergebnisse der Untersuchungen an der Univ. Kassel gestützt. Interessant ist dabei insbesondere, wie eng die Zusammenhänge zwischen Niederschlagssumme und Kaliumverlusten aus dem Kompost bei langen Kompostierungszeiten sind (Tab. 3.4.5). Die aus den insgesamt 8 Untersuchungen aggregierten Ergebnisse des FIBL und der Univ. Kassel bezgl. der K-Verluste variieren bei standardisiertem Bezug auf eine feste Niederschlagssumme, wie hier z. B. 50 mm, nur in einem minimalen Bereich zwischen 4,40-4,63 % Verlust an Kalium pro 50 mm Niederschlag.

Zu betonen ist, dass es sich hierbei um eine „Gesamtbetrachtung“ nach Rotteabschluss handelt, es ist anzunehmen, dass während verschiedener Rottephasen hiervon Abweichungen auftreten können. Letztlich ist dies jedoch im Hinblick auf Praxisverhältnisse und v. a. die konkreten Auswirkungen auf den innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf von Ökolandbaubetrieben sekundär.

Tabelle 3.3.7 Sickerwasseranfall, Rotte- und Nährstoffverluste bei der Kompostierung von Rinderfestmist mit unterschiedlicher Abdeckung

Parameter	K-Auswaschung (% d. Ausgangsgehaltes) bzw. Niederschlagssumme (mm)	K-Auswaschung (%) pro 50 mm Niederschlagssumme	Quelle
K-Auswaschung Niederschlagssumme	25 274	4,56	Stöppler-Zimmer et. al., 1993
K-Auswaschung Niederschlagssumme	38 410	4,63	Gottschall et. al., 1992
K-Auswaschung Niederschlagssumme	53 603	4,40	Berner et. al., 1990

Auch bei Stickstoff (N) können relevante Verluste über die Sickerwässer erfolgen. Neben den Niederschlagsereignissen hängen diese aber nach den Ergebnissen von *Berner (1990)* auch stark vom Rohmaterial, der Art der Kompostierung und der Rottephase ab. Diese Faktoren üben außerdem einen wesentlichen Einfluss darauf aus, in welcher Form N ausgetragen wird. So variierte in den FIBL-Untersuchungen der auf die TM des Sickerwassers bezogene Gehalt verschiedener N-Formen um den Faktor 3,5 bei  $N_{ges.}$ , 3,1 bei  $N_{org.}$ , 2,3 bei  $NH_4-N$  und 115 bei  $NO_3-N$ . Letztgenannter Wert ist darauf zurückzuführen, dass Kompostvarianten auftraten, bei denen praktisch kein  $NO_3-N$  ausgetragen wurde, während bei anderen Versuchsvarianten der Austrag an  $NO_3-N$  ähnlich hoch war wie der Austrag an  $N_{org.}$ .

Erhebliche Unterschiede bzgl. der N-Formen beim N-Austrag aus der Miete zeigten auch die Untersuchungen an der Univ. Kassel (siehe Tab. 3.4.3), wobei hier  $NO_3-N$  praktisch keine Rolle spielte. Vielmehr erfolgte der N-Austrag in diesen Versuchen zu durchschnittlich 98 % in organischer Form (*Stöppler-Zimmer et. al., 1993*). Im Rahmen einer Frachtenbetrachtung ist jedoch weiterhin festzustellen, dass der Anteil des über das Sickerwasser ausgetragenen N am Gesamt-N-Verlust in diesen Untersuchungen generell gering war. Bei durchschnittlichen Gesamtverlusten an N von 21,5 % in Bezug auf die Ausgangsgehalte in den unabgedeckten Varianten lag der N-Verlust über das Sickerwasser bei lediglich 3-3,3 %. Die sich hieraus ergebende „Verlust-Differenz“ von rechnerisch ca. 18 % ist mithin gasförmigen N-Emissionen (v. a.  $NH_3$ ) zuzuschreiben. *ITADA (2001)* gibt für die N-Verluste über Sickerwasser bei der Mietenkompostierung von Festmist einen Bereich von 0,2- 4%.

Die von *Berner (1990)* gefundenen Gesamtverluste an N bei der Feldrandkompostierung von Festmist lagen mit 25 % in einem ähnlichen Bereich wie die in den o. g. Untersuchungen der Univ. Kassel. Die  $N_{ges.}$ -Verluste beider Untersuchungsserien waren im Mittelfeld üblicher Angaben für die N-Verluste bei der Festmistkompostierung angesiedelt (11-31 %; *Gottschall, 1995*).

### 3.3.4.3 Reduktion der Nährstoffauswaschung durch niederschlagsdichte Abdeckungen

Über die o. g. grundlegenden Zusammenhänge hinaus ist für die Praxis der Effekt einer niederschlagsdichten Abdeckung (Strohmantel plus Silofolie in den damaligen Versuchen an der Univ. Kassel, heute meist Kompostvlies) von besonderem Interesse. In den Untersuchungen der Univ. Kassel konnten die Nährstoffverluste mit der Abdeckung gegenüber einer unabgedeckten Miete signifikant reduziert wer-

den. In der Erstuntersuchung lag die Reduktionsrate für P bei 95 %, für K bei 82 % und für Mg bei 79 % (Gottschall *et. al.*, 1992; siehe Abb. 3.4.28). Eine reine Strohabdeckung (20 cm lose oder Rundballenschichten) war nicht ausreichend und reduzierte die Nährstoffverluste bei längeren Rottezeiten in keinem Fall. Im dritten Versuch der Univ. Kassel lag die Reduktionsrate bzgl. der über das Sickerwasser ausgetragenen Nährstofffracht für P bei 80 % und für K bei 81 % trotz der technischen/organisatorischen Handlingsprobleme mit der Abdeckung (Stöppler-Zimmer *et. al.*, 1993).

Aufgrund der stark reduzierten Auswaschung bei Kalium lagen die Gehalte dieses Nährstoffs in den Komposten mit niederschlagsdichter Abdeckung deutlich höher als in der unabgedeckten Variante. Dies trat im Erstversuch besonders deutlich hervor. Hier erreichte der abgedeckte Festmistkompost einen Kaliumgehalt von 7,20 %  $K_2O$  der TM und lag damit nicht nur signifikant über der unabgedeckten Variante, sondern wies gegenüber den beiden nur mit Stroh abgedeckten Festmistkomposten (Durchschnitt: 4,63 %  $K_2O$  der TM) ebenfalls eine signifikante Überlegenheit auf, die in diesem Fall relativ betrachtet sogar 55 % erreichte (Gottschall, 1992). Hingegen waren die Unterschiede bzgl. der Gehalte der anderen Nährstoffe in den Komposten mit unterschiedlicher Abdeckung statistisch nicht absicherbar.

Beim Stickstoff konnte die über das Sickerwasser ausgetragene N-Fracht durch eine niederschlagsdichte Abdeckung ebenfalls in hohem Umfang, im dritten Versuch sogar um ca. 82 % reduziert werden (Stöppler-Zimmer *et. al.*, 1993). In Bezug auf die Anteile des mit dem Sickerwasser ausgetragenen N am gesamten N-Verlust (gasförmig und hydraulisch) spielt dieser Reduktionseffekt je nach Rahmenbedingungen der Kompostierung eine unterschiedlich starke Rolle. Dies machen alleine schon die sehr unterschiedlichen Verluste an  $N_{ges.}$  über das Sickerwasser in den unabgedeckten Varianten der verschiedenen aufgeführten Untersuchungen deutlich, die bei Stöppler-Zimmer *et. al.*, 1993 max. ca. 3,0-3,3 % erreichten. Hingegen errechnen sich aus den Untersuchungen von Berner (1990) bei einer mehr als doppelt so hohen Niederschlagssumme und einer sehr viel längeren Rottezeit bis zu 9 Monaten N-Verluste mit dem Sickerwasser, die 10 % erreichen können, was dann bis zu ca. einem Drittel des Gesamtverlustes an Stickstoff ausmachen kann.

Die Reduktion der N-Verluste durch das Sickerwasser um rund 2,5 % auf ca. 0,5-0,8 % beim vorgenannten dritten Versuch der Univ. Kassel mit Hilfe einer niederschlagsdichten Abdeckung senkte den Gesamtverlust daher nur um rund 11 %-Punkte. Hingegen wären bei Verhältnissen wie bei Berner (1990) beschrieben sehr viel höhere Reduktionsraten mit einer niederschlagsdichten Abdeckung zu erwarten (bei dieser Versuchsserie wurde durchgehend ohne Abdeckung gearbeitet, so dass dazu keine Daten vorliegen).

Die o. g., im Rahmen der VELKO-Auswaschungsversuche gefundenen Werte des N-Austrags von 0,33-0,45 % des gesamten N zu Rottebeginn in der unabgedeckten Variante lagen im Vergleich zu den aufgeführten Literaturwerten in einem sehr niedrigen Bereich. Bei niederschlagsdichter Abdeckung (0,44-0,45 % des gesamten N) stimmen sie mit dem bei Stöppler-Zimmer *et. al.* (1993) zu errechnenden Wertebereich (s.o.) größenordnungsmäßig überein. Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Niederschlagssumme im Winterversuch von VELKO zwar in etwa gleich, im Sommersversuch jedoch um rund 40 % niedriger lag als bei dem zitierten Versuch der Univ. Kassel. Weiterhin wurde bei den Kassler Versuchen mit stickstoffreicheren Rindermisten gearbeitet, die ein engeres C/N-Verhältnis auswiesen als die Pferdemiste in den VELKO-Versuchen, so dass bei ersteren ggf. zu Rottebeginn ein höherer  $NH_4$ -N-Anteil am gesamten Stickstoff vorlag, der natürlich stärker auswaschungsgefährdet ist.

Auch an dieser Stelle sei darüber hinaus an die erheblichen Quereinflüsse im VELKO-Versuch hingewiesen, die eine sachgerechte Interpretation der gefundenen Daten konterkariert.

Die mit 5 % insgesamt extrem geringen N-Verluste in der Erstuntersuchung der Univ. Kassel bei der niederschlagsdicht abgedeckten Variante konnten in den beiden folgenden Untersuchungen nicht reproduziert werden. Eine eingehende Diskussion der möglichen Gründe für dieses Ergebnis würde an dieser Stelle den Rahmen sprengen. In diesem Zusammenhang wird daher auf die ausführliche Diskussion der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die N-Verluste bei der Kompostierung von Festmist bei *Berner (1990)* und von *Ott und Vogtmann bzw. Meyer (in Gottschall, 1995)* verwiesen.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass - unabhängig von der Zielsetzung möglichst geschlossener Nährstoffkreisläufe, der Gewinnung eines pflanzenverträglichen Produktes und eines, optimalen Bodenverbesserungsmittels und Düngers aus der Kompostierung – auch der rein nährstoffbezogene monetäre Effekt der Auswaschung bei der Festmistkompostierung ohne ausreichenden Niederschlagsschutz nicht zu unterschätzen ist. Er liegt unter Anrechnung der heute im Ökolandbau üblichen Nährstoffpreise aus dem Düngerzukauf für die gefundenen Nährstoffverluste in den aufgeführten Untersuchungen zwischen rund 3,50 bis 5,50/t Frischmist. Unterstellt man ca. 10 t Frischmist/ GVE\*a bei halbjähriger Stallhaltung (*Gottschall, 1995*) so lägen die Beschaffungskosten für die verlorenen Nährstoffe bei 35,- bis 55,- €/GVE\*a. Kosten für die zusätzlich erforderliche Ausbringung kämen hinzu. Bei hohen Niederschlägen und sehr langen Kompostierungszeiten könnten diese monetären Verluste noch weiter ansteigen.

### Zwischenfazit

Für den Ökolandbaubetrieb ist von besonderer Bedeutung, dass jedes Kilogramm an verlorenem Nährstoff bei der Feldrandkompostierung nicht nur umweltrelevant ist, sondern aus dem Betriebskreislauf verloren geht. Gerade in Anbetracht der notwendigen Optimierungen bei ökologischer Bewirtschaftung zwecks bestmöglicher Nutzung betriebsinterner Ressourcen wird deutlich, dass eine Mietenkompostierung über längere Zeiträume ohne niederschlagsdichte Abdeckung auf jeden Fall kontraproduktiv ist.

### 3.3.5 $N_{\min}$ -Gehalte der Böden unter Kompostmieten

#### 3.3.5.1 Vorgehensweise und Methodenbetrachtung bezüglich der Messung der $N_{\min}$ -Gehalte und deren Verteilung in den Böden

#### **Ergebnisse und Diskussion der $N_{\min}$ -Gehalte und -Verteilung in den Böden**

Die Messung der Nitratgehalte in Böden nach Räumung von Mieten bei der Feldrandkompostierung ist eine übliche Methode zur Bewertung der Umweltbelastung durch dieses Verfahren, aber ebenso von entsprechenden Effekten bei der reinen Lagerung von Festmist auf unbefestigten landwirtschaftlichen Flächen. Vorteilhaft dabei ist, dass mit einem überschaubaren Aufwand in kurzer Zeit nach Ende der Kompostierung belastbare Daten vorliegen und diese Methode auch in der landwirtschaftlichen Praxis gut durchführbar ist. Die Analyse selbst erfolgt möglichst kurzfristig nach der Probenahme aus den gekühlt/eingefroren gelagerten/versendeten Materialien nach üblichen DIN/ISO-Methode (s. 2.4.5).

Ein wesentlicher Nachteil dieser Vorgehensweise ist erstens, dass damit keine Aussagen über Mengen bzw. Verläufe der Sickerwasserbildung getroffen und damit auch keine Zusammenhänge mit Niederschlagsereignissen bzw. Schutzmaßnahmen (z. B. einer Abdeckung) hergestellt werden können. Teilweise kritisch gesehen wird zweitens auch, dass mit der reinen Nitrat- bzw.  $N_{\min}$ -Analytik nicht der möglicher-

weise ausgewaschene lösliche organische Stickstoff, sondern lediglich die anorganischen Stickstofffraktionen erfasst werden. Diese Überlegungen werden zunächst gestützt durch die in Tab. 3.4.3 dargestellten Anteile von  $N_{\text{org}}$  am  $N_{\text{t}}$  im Sickerwasser von Festmistmieten bei der Feldrandkompostierung, die bis zu 98 % betragen. In Untersuchungen von *Berner (1990)* wurde demgegenüber die durch die Feldrandkompostierung zusätzlich verursachte N-Belastung im Boden unter den Mieten in rund 75 % der Fälle durch  $\text{NO}_3\text{-N}$  verursacht und nur zu 25 % durch  $N_{\text{org}}$ . Dabei ist natürlich zu berücksichtigen, dass bereits während der Kompostierung in meist unbekanntem Umfang, aber v. a. nach dem Räumen der Miete organischer Stickstoff im Boden unter den Kompostmieten mikrobiell metabolisiert bzw. freiwerdender Ammonium-N nitrifiziert wird – je nach Bodenverhältnissen aber auch wieder denitrifiziert werden kann. Auch solche möglichen Denitrifikationsverluste konnten im Rahmen der VELKO-Praxisversuche nicht erfasst werden.

Was die Anteile bzw. das Verhältnis von  $\text{NO}_3\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  an der zusätzlichen  $N_{\text{min.}}$ -Belastung durch die Feldrandkompostierung angeht, so ist auch hierbei zunächst ein Blick auf die Konzentrationen beider N-Formen im Sickerwasser relevant (Tab. 3.4.3). Es zeigt sich, dass bei meisten aufgeführten Rohmaterialien der Kompostierung der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt im Sickerwasser beim 10-40-fachen des  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehaltes lag. Dies ist eine ganz normale Folge zum einen der Bildung von Ammoniumsalzen aus den beim Proteinabbau frei werdenden  $\text{NH}_2$ -Gruppen und zum anderen der in frühen Rottephasen kaum erfolgenden Nitrifizierung aufgrund hoher Temperaturen bzw. Sauerstoffdefiziten im Material (*Gottschall, 1995*).

Eine Ausnahme bzgl. der Sickerwasserzusammensetzung stellen die von *Berner (1995)* gefundenen Werte mit hohem Nitratanteil dar (Tab. 3.4.3). In dieser Untersuchung mit Grüngut in der Feldrandkompostierung wurde nach der Kompostierung dann auch im Boden zu ca. 90 %  $\text{NO}_3\text{-N}$  und wenig  $\text{NH}_4\text{-N}$  gefunden. Im Projekt VELKO war der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Anteil am  $N_{\text{min.}}$  im Boden nach der Mietenräumung ebenfalls absolut bestimmend.

Allerdings gab es in den Untersuchungen von *Berner et. al. (1995)* auch eine Ausnahme, bei der der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil an der zusätzlichen  $N_{\text{min.}}$ -Belastung des Bodens unter Kompostmieten bei rund der Hälfte lag. Insgesamt ist hierbei zu beachten, dass je nach den Verhältnissen bei der Kompostierung, der Bodenart, dem Witterungsverlauf und dem Zeitraum bis zur Analyse nach der Räumung eine erhebliche Bandbreite an Werten bzgl. der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Belastung im Verhältnis zur  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Belastung im Boden unter den Mieten zu erwarten sein dürfte. Letztlich ist aber davon auszugehen, dass bei zunehmend aeroben Bodenverhältnissen nach der Mietenräumung eine weitgehende bis vollständige Nitrifikation des  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteils stattfinden sollte.

Trotz o. g. methodischer Einschränkungen stellen auch *Berner (1990)* und *Berner et. al. (1994)* fest, dass  $N_{\text{min.}}$ -Messungen eine übliche wissenschaftliche Methode zur Prüfung von N-Belastungen im Boden unter Kompostmieten darstellen. Für Untersuchungen in der landwirtschaftlichen Praxis wird die aufgeführte, dort gut handhabbare Vorgehensweise weiterhin als sinnvoll und in sehr vielen Fällen auch als ausreichend für die Erfassung der möglicherweise auftretenden wesentlichen Umweltbelastungen angesehen.

Abschließend sei erwähnt, dass die reine  $N_{\text{min.}}$ -Messung nach der Mietenräumung selbstverständlich auch keine Aussagen zur Auswaschung anderer Nährstoffe neben dem Stickstoff erlaubt. Hierzu müssten dann weitergehende Nährstoffanalysen aus den Böden erfolgen, wie sie z. T. bei *Berner (1990)* erfolgten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die nach Kap. 2.4.5 und 2.4.6 vorgestellten Methoden zur Analyse/Bewertung von Sickerwasserbildung und Nährstoffauswaschung aus Mieten bzw. der daraus resultierenden möglichen Umweltbelastung bei der Feldrandkompostierung aus fachlicher Sicht nicht als gegensätzlich, sondern vielmehr als sich ergänzend angesehen werden sollten. Dabei ist immer vorausgesetzt,

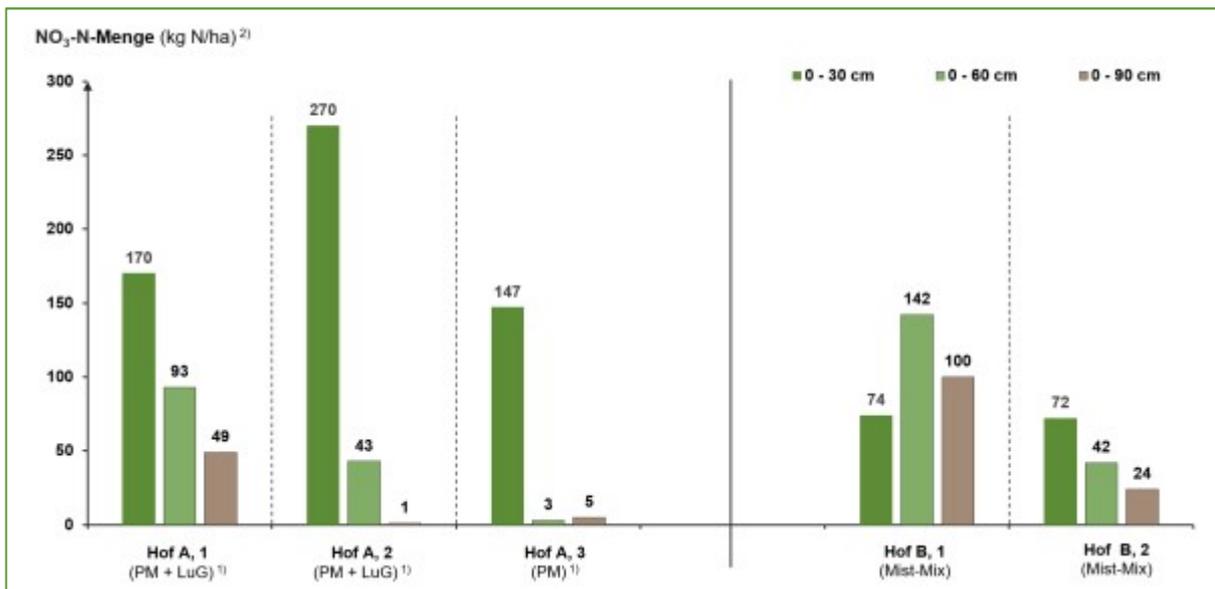
dass es aufwandmäßig tragbar und methodisch exakt durchführbar ist, Auswaschungsversuche mit mehrfacher Wiederholung bei Kompostmieten durchzuführen, was i. d. R. in der landwirtschaftlichen Praxis jedoch kaum möglich ist.

### 3.3.5.2 Ergebnisse und Diskussion der $N_{min}$ -Gehalte in den Böden

#### Ergebnisse

Im Folgenden werden die Daten zur Nitratbelastung im Boden unter 12 Kompostmieten bei der Feldrandkompostierung im Projekt VELKO während der Jahre 2022 und 2023 aufgeführt. In den durchgeführten Untersuchungen wurde der aus der Miete ausgewaschene Stickstoff gleichgesetzt mit dem gefundenen Nitrat-N unter der Miete nach der Räumung abzüglich des im unbeeinflussten Kontrollboden neben der Miete analysierten Nitrat-N zum selben Zeitpunkt (i. d. R. 0-90 cm, z. T. probenahmebedingt nur 0-60 cm möglich).

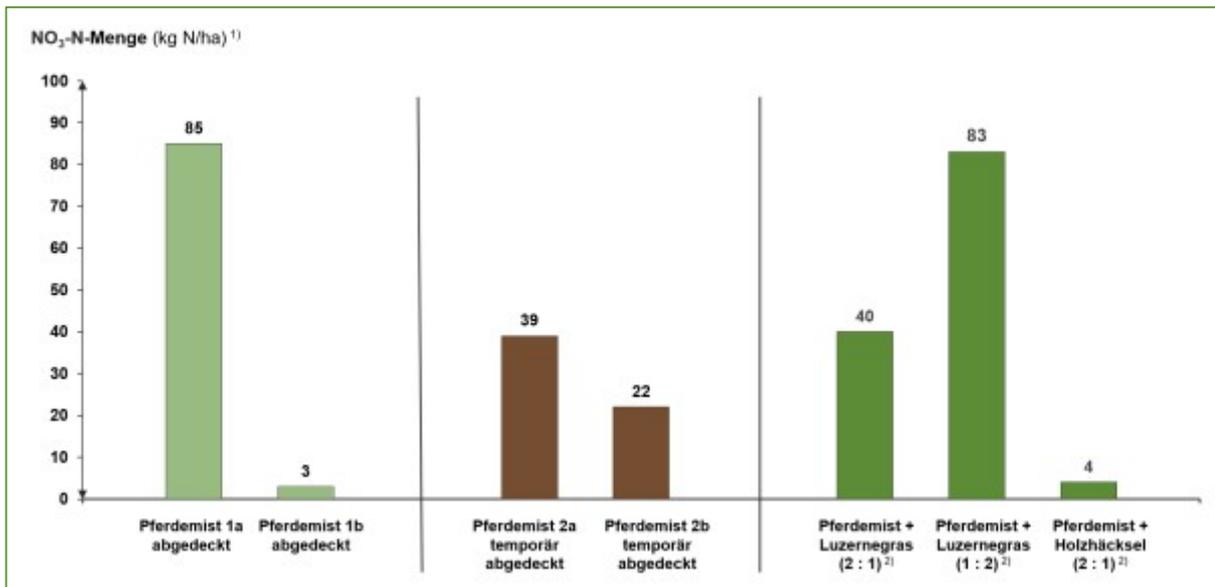
Abb. 3.4.29 zeigt hierbei die Verhältnisse nach der Kompostierung von Festmist bzw. Festmist plus Luzernegras in Versuchen, die im Sommer 2022 bzw. ab Herbst/Winter 2022/23 erfolgten und überwiegend durch höhere Niederschläge gekennzeichnet waren. Demgegenüber lagen die Untersuchungen mit z. T. kürzeren Rottezeiten im Frühjahr/Sommer 2023 durchgehend in Zeiträumen mit höheren Temperaturen bei geringeren Niederschlägen (siehe Abb. 3.4.30).



<sup>1)</sup> PM = Pferdemist, LuG = Luzernegras

<sup>2)</sup>  $NO_3-N$ -Differenz aus  $NO_3-N$ -Belastung im Bodenprofil 0-90 cm unter den Kompostmieten nach Räumung abzüglich der  $NO_3-N$ -Belastung der Kontrollflächen ohne Mietenbelegung

Abbildung 3.3.50  $NO_3-N$ -Belastung im Boden des Mietenbereichs bei der Feldrandkompostierung mit Abdeckung im Sommer 2022/Herbst und Winter 2022/2023<sup>2)</sup> (nach der Räumung, 0-90cm)



- <sup>1)</sup> NO<sub>3</sub>-N-Differenz aus NO<sub>3</sub>-N-Belastung im Bodenprofil 0-60 cm unter den Kompostmieten nach Räumung abzüglich der NO<sub>3</sub>-N-Belastung der Kontrollflächen ohne Mietenbelegung
- <sup>2)</sup> Mischung auf Volumenbasis

Abbildung 3.3.51 NO<sub>3</sub>-N-Belastung im Boden des Mietenbereichs bei der Feldrandkompostierung mit Abdeckung im Sommer 2023 <sup>1)</sup> (nach Räumung, 0-60cm)

Trotz einer weitgehenden bis durchgehenden Abdeckung aller Versuchsmieten mit Kompostvlies zeigten sich diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Versuchen auch deutlich im Hinblick auf die verschiedenen Nitratbelastungen der Böden unter den Kompostmieten nach der Räumung. So lagen die gegenüber der Kontrollfläche erhöhten Nitratbelastungen der Böden unter Feldrandmieten nach deren Räumung während der niederschlagsreicheren Phasen im Jahr 2022/23 bei 114 bis 313 kg NO<sub>3</sub>-N/ha bezogen auf einen Bodenhorizont von 0-60 cm bzw. 138 bis 314 kg NO<sub>3</sub>-N/ha in 0-90 cm. Im Durchschnitt (arithmetisches Mittel) wurden in 0-60 cm 211 kg NO<sub>3</sub>-N/ha gefunden (siehe Abb. 3.4.29).

Demgegenüber lagen die zusätzlichen Bodenbelastungen nach Räumung der Kompostmieten gegenüber der Kontrollfläche während des Frühjahrs-/Sommerzeitraums 2023 mit 3-85 kg NO<sub>3</sub>-N/ha sehr viel niedriger (siehe 3.4.30). Der Durchschnitt in diesen Versuchen lag bei 39 kg NO<sub>3</sub>-N/ha.

## Diskussion

Sehr viel höher als im VELKO-Projekt lagen die Bodenbelastungen an N<sub>min.</sub> aus unabgedeckt kompostiertem Festmist in den Untersuchungen von *Berner (1990)*. Hierbei betrug die Anreicherung der Böden unter den Kompostmieten bei NO<sub>3</sub>-N hochgerechnet auf einen Hektar Fläche bis über 1.300 kg N/ha im Bodenhorizont 0-60 cm. Hinzu kamen noch einmal ca. 25 % dieser N-Menge als organischer Stickstoff. Neben der fehlenden Abdeckung ist bezgl. dieser Werte zu berücksichtigen, dass die Niederschlagsmengen im jeweiligen Versuchszeitraum bei *Berner (1990)* mit durchschnittlich rund 600 mm beim mehr als doppelten bis dreieinhalbfachen der Niederschlagssummen in den VELKO-Versuchen lagen. Die Daten von *Berner (1990)* zeigen im Vergleich zu den oben angeführten, sehr viel niedrigeren VELKO-Werten bei der Nitratbelastung der Böden unter den Mieten und ergänzend zu den in Kap. 3.4.3 vorgestellten Ergeb-

nissen bzgl. der Reduzierung des Sickerwasseranfalls, einerseits die Relevanz und andererseits die hohe Effizienz einer niederschlagsdichten Abdeckung der Kompostmieten.

Dies wird auch durch die Ergebnisse von *Berner et al. (1995)* bei der Grüngutkompostierung am Feldrand unter Einsatz von Kompostvlies bestätigt – auch wenn zu berücksichtigen ist, dass sich dieses Rohmaterial in Bezug auf die N-Auswaschung natürlich z. T. anders verhält als Festmiste (siehe Tab.3.4.3). In dieser Untersuchung betragen die zusätzlichen  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Einträge durch die Kompostierung je nach Variante zwischen 138 kg N/ha bis 271 kg N/ha, was im Bereich der o. g. VELKO-Daten im Winter 2022/23 liegt. *Heller et al. (1994)* fanden durchschnittlich ca. 50 kg  $\text{NO}_3\text{-N}$  unter ihren Kompostmieten am Feldrand, was in etwa den Verhältnissen der VELKO-Sommerversuche 2023 entspricht.

Weiterhin kann man aus den in Abb. 3.4.30 dargestellten VELKO-Ergebnissen tendenziell einen Einfluss der Rohmaterialzusammensetzung der Kompostmieten auf die Nitratbelastung der Böden folgern. In diesen Versuchen hat eine höhere Zugabe von Luzernegras zum Pferdemist zu einer eher höheren Nitratbelastung im Boden geführt, die Zugabe von Holzhäcksel zu einer eher niedrigeren. Diese Ergebnisse sind beim jetzigen Datenstand jedoch nur als Hinweise zu werten, da eine Reproduktion durch weitere Kompostierungsversuche nicht mehr möglich war.

Ein möglicher kausaler Zusammenhang ist jedoch naheliegend, da gerade junge Luzernebestände hohe Wassermengen mit sich bringen, die ggf. zu einem höheren Presswasseranteil führen können, zumindest wenn die Kompostierung nicht optimal verläuft (Mix Luzernegras/Pferdemist im Versuch volumenbezogen: 1:2 bzw. 2:1, (siehe Abb. 3.4.30). Umgekehrt saugen relativ trockene Holzhäcksel zunächst Wasser auf und können durch die verbesserte Strukturierung der Kompostmieten auch zu einer höheren Wasserverdunstung führen, wie bereits Untersuchungen an der Universität Kassel (*Gottschall et al., 1992*) sowie langjährige Erfahrungen dutzender Kompostierungsanlagen bundesweit zeigen.

Von Interesse ist abschließend die Verteilung der Nitratgehalte im Boden, da hiervon auch wesentlich abhängt, ob dieser Nitratstickstoff tatsächlich in den Grundwasserbereich gelangt bzw. inwieweit er durch eine nachfolgende stickstoffzehrende Kultur nach der Kompostierung wieder aus dem Boden aufgenommen werden kann. Bei den durchgeführten VELKO-Untersuchungen zeigte sich, bis auf eine Ausnahme, dass der größte Teil des Nitrats (52-95 %) im Bodenhorizont 0-30 cm zu finden war (siehe Abb. 3.4.29). Bei *Berner et al. (1995)* betrug der Anteil der zusätzlichen  $\text{N}_{\text{min}}$ -Befruchtung von Böden unter den Kompostmieten an der Gesamtbefruchtung an  $\text{N}_{\text{min}}$  (0-90 cm) im Horizont 0-30 cm 45-62 % bzw. in 0-60 cm 74-83 %.

Alle diese Ergebnisse lassen mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Aufnahme des größten Teils des Nitratstickstoffs durch den nach der Kompostierung auf dem Mietenplatz folgenden Anbau stark zehrender Kulturen zu. Für eine fachgerechte Vorgehensweise ist es allerdings ausschlaggebend, dass der Anbau dieser Kulturen nach der Mietenräumung möglichst sofort und die Mietenräumung selbst nicht zu spät erfolgt, damit der notwendige starke Aufwuchs in der verbleibenden Kulturzeit noch möglich ist. Gleichmaßen sollten hierfür Kulturen gewählt werden, die entsprechend tief wurzeln, um zumindest auch den Bodenhorizont 0-60 cm noch zu erfassen. Eine wesentliche weitere Verlagerung von Nitrat in grundwassernahe Bereiche steht bei solcherart sachgerechter Vorgehensweise nicht zu erwarten.

### 3.3.5.3 Abgrenzung von punktuellen Nitratbelastungen unter Kompostmieten gegenüber flächigen Belastungen

Für eine abschließende Bewertung ist darüber hinaus unbedingt zu berücksichtigen, dass die üblicherweise durch die Labore bei solchen Bodenanalysen für die Ergebnisse angegebene Einheit „kg N<sub>min.</sub> bzw. NO<sub>3</sub>-N/ha“ (wie auch in den Abb. 3.4.29 und Abb. 3.4.30 aufgeführt) statt g N<sub>min.</sub> bzw. NO<sub>3</sub>-N/m<sup>2</sup>, leicht den Eindruck erwecken kann, dass bei der Feldrandkompostierung generell und flächig – also auf einen ganzen Hektar bezogen – mit sehr hohen Nitratbelastungen der Böden zu rechnen ist. Eine solche Schlussfolgerung entspricht jedoch nicht den Tatsachen, da es sich beim Nitratreintrag durch die Feldrandkompostierung in den Boden lediglich um „punktuelle Belastungsbereiche“ im Bereich der Kompostmieten handelt, nicht um „flächige Belastungsbereiche“. Konkret heißt dies, dass die o. g. Daten in Abb. 3.4.29 und Abb. 3.4.30. aus Flächen unter Kompostmieten stammen, die zwar vielfach nur 200-600 m<sup>2</sup> einnahmen, jedoch in der Ergebnisangabe der Labore auf einen Hektar hochgerechnet wurden. Die Nitratbelastungen fallen aber eben nicht auf einem gesamten Hektar (10.000 m<sup>2</sup>) an, sondern lediglich auf den o. g. 200-600 m<sup>2</sup> Mietenfläche, die zur Kompostierung herangezogen wurden.

Dieser Zusammenhang soll im Folgenden exemplarisch an den entsprechenden Frachtenberechnungen für Stickstoff des Betriebs NHF im Projekt VELKO erläutert werden. Die benötigte Gesamtfläche zur Kompostierung des im Betrieb NHF anfallenden kompletten Festmistes von ca. 42 GVE ausschließlich über eine Feldrandkompostierung beträgt max. 1.200 m<sup>2</sup> (3 Großmieten à 400 m<sup>2</sup>), also gerade einmal rund ein Achtel eines Hektars. Konkret würde dies im Beispielsfall also bedeuten, dass auf 1.200 m<sup>2</sup> die aufgeführte punktuelle Belastung auftritt, auf den restlichen 8.800 m<sup>2</sup> eines Hektars hingegen keine zusätzliche Belastung. Berücksichtigt man diesen Zusammenhang, rechnet die tatsächliche hydraulische Emission an Nitrat-N (= N-Fracht) aus den Kompostmieten der o. g. 12 VELKO-Versuche aus und bezieht diese jeweilige Emission auf einen „realen“ Hektar Fläche (1.200 m<sup>2</sup> belegt mit Mieten, 8.800 m<sup>2</sup> unbelegt), so gelangt man zu folgenden Ergebnissen:

- Die tatsächliche N-Emission aus den Mieten und damit der zusätzliche Frachteintrag an N lag auf den „realen“ Hektar bezogen zwischen ca. 0,4 bis 38 kg NO<sub>3</sub>-N je nach Versuch.
- Selbst unter Anrechnung des Worst-Case (Spätherbst-/Winterversuche mit der hohen punktuellen N-Belastung nach Abb. 3.4.29), würden damit aus sämtlichen Kompostmieten, die notwendig wären, um den gesamten Festmist aus dem Viehbestand des Beispiels NHF mit 42 GVE zu verarbeiten, eine N-Fracht von lediglich ca. 38 kg N in den Boden eingetragen werden (Tab. 3.4.6).
- Setzt man die durch die hydraulische Emission aus der Kompostmiete in den Boden verlagerte N-Fracht („verlagerte N-Fracht“) ins Verhältnis zur insgesamt in der Kompostmiete befindlichen Stickstoffmenge bei Versuchsbeginn („N-Gesamtfracht Miete“), wird dadurch ebenfalls deutlich, wie gering die Auswaschungen tatsächlich waren. Selbst im o. g. Worst-Case des Winterversuchs 2022/23 entsprechend der Daten in Tab. 3.4.6. lag der ausgewaschene N-Anteil bei lediglich ca. 1,64 % des insgesamt zu Rottebeginn in der Miete befindlichen Stickstoffs. Im Worst-Case des Sommersversuchszeitraums 2023 lag dieser Wert bei ca. 0,46 %, im Best-Case bei 0,02 %.

Eine entsprechende „Spot-Betrachtung“ bzgl. der realen N-Belastungen durch die Feldrandkompostierung von Grüngut, die zu ähnlichen Ergebnissen führte, ist bei *Berner et. al. (1995, 2004)* zu finden.

Tabelle 3.3.15 Abgrenzung von punktueller und flächiger Belastung bzgl. der Auswaschungsproblematik von  $N_{\min}$  bei der Feldrandkompostierung

➤ <b>Hochgerechnete Zusatzbelastung N-Menge aus Spot (0,04 ha) auf 1 ha</b>	: <b>314 kg N</b>
➤ <b>Tatsächliche Zusatzbelastung N-Menge aus Spot (0,04 ha) bei 1 Kompostmiete</b>	: <b>12,6 kg N</b>
➤ <b>Tatsächliche Zusatzbelastung N-Menge aus Spot (0,12 ha) bei 3 Kompostmieten (<math>\pm</math> 42 GVE)</b>	: <b>37,8 kg N</b>
➤ <b>Anteil des aus der Miete ausgewaschenen N am Gesamt-N in der Kompostmiete</b>	: <b>ca. 1,6 %</b>
Daraus folgt: <b>Grundsätzliche Situation unproblematisch. Aber:</b>	
➤ <b>Aus wasserwirtschaftlicher wie landwirtschaftlicher Sicht sollten Auswaschungen so weit wie möglich reduziert werden.</b>	

Siehe auch Maßnahmenpaket in Tab. 3.3.8

Diese lagen im Herbst-/Winter 2022/23 mit im Mittel 1,12 % (0,75-1,64 %) des zu Rottebeginn in der Kompostmiete befindlichen Stickstoffs deutlich höher als im Sommer, jedoch nach wie vor auf einem eher niedrigen Niveau. Dies wird auch im Vergleich zu den entsprechenden Literaturwerten deutlich, die in den Versuchen der Univ. Kassel 3-3,3 % (unabgedeckt) bzw. 0,5-0,8 % (abgedeckt) erreichten (*Stöppler-Zimmer et. al., 1993*) bzw. nach Angaben von *ITADA (2001)* i.d.R. in einer Bandbreite von 0,2-4 % liegen.

Sehr hohe Verluste an zum Kompostierungsbeginn in der Miete befindlichem Stickstoff über das Sickerwasser bis zu 10 % lassen sich demgegenüber im Falle fehlender Abdeckung aus den Untersuchungen von *Berner (1990)* ableiten. Dies gilt zumal, wenn – wie hier der Fall – die Niederschlagssummen sehr hoch liegen, d. h. im Vergleich z. B. zum Sommersuch bei VELKO beim über Dreieinhalbfachen.

Zieht man Schlussfolgerungen aus den gefundenen Ergebnissen und den zusätzlich herangezogenen Literaturwerten, so ist für die Region, in der die Untersuchungen stattfanden, zunächst festzustellen, dass selbst bei sehr ungünstigen Witterungsverhältnissen mit max. 1,5-2 % an Auswaschung des gesamten Stickstoffs aus den Kompostmieten zu rechnen ist, wenn eine sachgerechte Abdeckung erfolgt. In den meisten Fällen dürften die Verluste über das Sickerwasser unter den Regions-typischen Verhältnissen eher um 1 % und darunter, in trockenen Sommern sogar bei quasi 0 liegen.

#### 3.3.5.4 Fachgerechte Feldrandkompostierung zwecks Minimierung von Sickerwasserbildung, Nährstoffauswaschung und $N_{\min}$ -Belastung der Böden

Sollte nach den bisherigen Ausführungen gefolgert werden, dass sich die Kompostierung organischer Reststoffe und fester Wirtschaftsdünger am Feldrand als unproblematisch darstellt und daher keine besonderen Maßnahmen/Vorgehensweisen zu beachten sind, so ist dem zu widersprechen. Insbesondere die gefundenen guten VELKO-Ergebnisse sind im Wesentlichen auch das Resultat einer sorgfältigen, fachlich versierten Vorgehensweise der durchführenden Landwirte bei der Feldrandkompostierung.

Schlampig durchgeführte Feldrandkompostierungen können ebenso wie wild abgelagerte Festmistmieten zu erheblichen Umweltbelastungen führen, v. a. in Gebieten mit hohen Niederschlägen wie die Beispiele

in Abb. 3.4.31 zeigen. Die in Tab. 3.4.7 dargestellten Maßnahmen für eine fachgerechte Feldrandkompostierung sind daher unbedingt zu beachten. Eine zentrale Bedeutung für die Prozesssteuerung bei der Feldrandkompostierung kommt dabei in den meisten Regionen Deutschlands der Abdeckung der Kompostmieten mit niederschlagsdichten Materialien (Kompostvlies, Folien) zu, da hiermit bei richtiger Handhabung eine Sickerwasserbildung weitestgehend vermieden werden kann.

Auch diese Maßnahme ist kein „Selbstläufer“ und bedarf der sachgerechten Durchführung. Denn eine niederschlagsbedingte Sickerwasserbildung kann auch bei Anwendung vorgenannter regenabweisender/regendichter Abdeckungen während der Kompostierung auftreten, wenn der Niederschlagsschutz nicht ausreichend gut gehandhabt wird (z. B. Miete nicht vollständig bedeckt, Vlies/Folie zu spät aufgelegt, zeitweise entfernt oder witterungsbedingt (partiell) von der Miete geweht).



Abbildung 3.3.52 Beispiele für problematische Festmist-Außenanlagen vor und nach der Räumung sowie Sickerwasseranfall (Fotos: Gottschall)

Auch zu früh aufgelegte niederschlagsdichte Abdeckungen können in den Rottephasen mit sehr hoher Temperatur die Sickerwasserbildung verstärken. Dies ist durch den Rückfluss von an Folien/ Vlies niederschlagenem Kondenswasser in das Mietenmaterial bedingt, kann aber auch eine Folge fehlender Wasserabfuhr aus sehr nassem Material sein, das die hohen Wassergehalte zu Rottebeginn noch verträgt, während dieses Wasser für spätere Rottephasen mit z. T. abgebauter organischer Substanz und zunehmend geringerem Strukturierungsgrad deutlich zu viel ist. Weiterhin können über die Abdeckung abgeleitete hohe Niederschlagsmengen bei nicht ausreichend schneller Versickerung bzw. fehlender weiterer Ableitung zurück in den Mietenfuß fließen und dort Sickerwasserbildung hervorrufen.

Alles in allem: Eine Kompostmiete bedarf ebenso der „Pflege“ wie der Boden!

Und wenn wir die Bodenfruchtbarkeit als wesentlichste Grundlage eines nachhaltigen und erfolgreichen ökologischen Landbaus betrachten, so sind die Produkte aus der Feldrandkompostierung nur dann ein optimales Werkzeug zur Unterstützung dieser Bodenfruchtbarkeit, wenn sie sorgfältig, mit möglichst geringen Nährstoffverlusten und einem ausreichenden Reifegrad entsprechend ihres jeweiligen Anwendungszwecks hergestellt werden.

Tabelle 3.3.8 Maßnahmenpaket für eine fachgerechte Feldrandkompostierung und zur Minimierung von  $N_{\min}$ -Auswaschungen

- **Keine durchgehend unabgedeckten Mieten!**
- **Abdeckung erst nach der / den Heißphasen auflegen** (zu Rottebeginn und ggf. nach dem 1. / 2. Umsetzen)
- **„Randeffekte“ beachten**, heißt: **Nicht zu schmale Abdeckungen**, der Mietenrand muss abgedeckt, möglichst sogar 20 – 30 cm überdeckt sein
- **Als Abdeckung tauglich sind „Kompostvliese“** (luft- aber nicht wasserdurchlässig), **aber auch Silofolien, LKW-Planen etc.** (sofern bei diesen ein Strohmantel darunter den Luftaustausch zulässt)
- **Abdeckung gut fixieren** und gelegentlich kontrollieren
- **Mieten beim Aufsetzen nicht zu klein** machen, aber auch **nicht zu hoch** (i.d.R. < 2 m Höhe)
- **Nicht zu nasse Materialien aufsetzen** (ausreichender Trockenmasseanteil sonst Sickerwasser aufgrund von Mietendruck), **Faustprobe** machen, gute **Mietenstrukturierung**
- **Mietenplatz nach Komposträumung auflockern und einsäen** (Kultur mit hohem N-Bedarf, möglichst Tiefwurzler)
- **Mietenplatz möglichst kontinuierlich wechseln** nach der Räumung

**Die Kompostierung – auch am Feldrand – bedarf der Sorgfalt und Pflege – wie der Boden!**



Abb. 3.3.52b: Abdecken der Miete mit Kompostvlies per Hand (Foto: Zerger)

### 3.3.6 Gasmessungen

#### 3.3.6.1 Ergebnisse: Einzelne Messwerte

Die Messungen fanden in unregelmäßigen Abständen statt, weshalb in Tab. 3.4.8 eine Zuordnung der Daten zum Messtag stattfindet. In Anhang 9.6 sind die die Messwerte der einzelnen Mieten ohne Einbezug ihrer Volumina dokumentiert. Dabei sind diese nach ihrer Rottegutzusammensetzung gelistet.

Tabelle 3.3.9 Zuordnung Datum und Messtag

	Mess- tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10	
<b>Jahr:</b>	<b>2023</b>	<b>26.06.</b>	<b>21.06.</b>	<b>07.07.</b>	<b>11.07.</b>	<b>20.07.</b>	<b>02.08.</b>	<b>16.08.</b>	<b>17.08.</b>	<b>06.09.</b>	<b>05.10.</b>

Für den Vergleich der Mieten untereinander werden die Emissionen auf das Volumen bezogen und in Tab.3. 4.9 dargestellt; die Voluminawerte stammen von Messungen der Stiftung Ökologie und Landbau.

Tabelle 3.3.10 Messergebnisse der Mieten mit Volumenbezug (mg/m<sup>3</sup>s)

	Mess- tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10	
	[mg/m <sup>3</sup> s]										
<b>Miete 1</b>	CH4	< 0.01	0.02	< 0.03	0.07	< 0.02	0.08	< 0.02	0.005	0.08	< 0.05
	CO2	20	1	< 3	25	15	12	24	20	16	<5
	NH3	< 0.01	< 0.01	< 0.03	< 0.03	< 0.02	< 0.03	< 0.02	0.03	< 0.06	< 0.05
	N2O	0.01	< 0.001	< 0.003	< 0.003	< 0.002	< 0.003	< 0.002	0.01	<0.01	< 0.005
<b>Miete 6</b>	CH4					0.30	0.07	0.21	0.08	< 0.09	< 0.04
	CO2					48	4	46	23	< 9	< 4
	NH3					< 0.05	< 0.01	0.32	0.14	0.21	0.13
	N2O					0.05	< 0.001	0.02	0.03	0.03	0.01
<b>Miete 2</b>	CH4	0.03	0.04	0.05	0.05	0.10	< 0.04	0.05	< 0.05	< 0.04	< 0.03
	CO2	11	5	48	39	19	< 4	< 2	28	22	< 3
	NH3	0.07	< 0.01	< 0.04	< 0.03	< 0.02	< 0.04	< 0.02	< 0.05	< 0.04	< 0.03
	N2O	0.004	< 0.001	< 0.004	< 0.003	< 0.002	< 0.004	< 0.002	< 0.005	< 0.004	< 0.002
<b>Miete 8</b>	CH4			0.11	0.07		0.16	0.10	0.33	0.11	< 0.04
	CO2			26	31		34	< 2	62	14	4
	NH3			0.09	0.29		< 0.04	< 0.02	< 0.03	< 0.03	0.10
	N2O			< 0.004	0.01		0.02	< 0.002	0.01	0.01	0.01
<b>Miete 3</b>	CH4	<b>0.06</b>	<b>0.25</b>	<b>0.28</b>	<b>&lt; 0.10</b>	<b>0.98</b>	<b>0.14</b>	<b>&lt; 0.09</b>	<b>0.54</b>	<b>&lt; 0.05</b>	<b>&lt; 0.03</b>
	CO2	15	24	37	< 10	41	3	66	71	< 5	< 3
	NH3	0.02	< 0.01	< 0.03	0.30	< 0.05	0.02	< 0.09	< 0.05	< 0.05	< 0.03
	N2O	0.004	< 0.001	< 0.003	< 0.01	< 0.005	0.003	< 0.01	0.04	< 0.005	< 0.002
<b>Miete 7</b>	CH4			0.28			0.04	< 0.03	< 0.03	< 0.08	< 0.03
	CO2			32			10	5	< 3	13	< 3
	NH3			0.27			< 0.02	< 0.02	0.20	0.16	0.03
	N2O			0.03			0.002	< 0.002	< 0.003	< 0.01	< 0.003
<b>Miete 4</b>	CH4	< 0.01	0.23	0.73	0.24	1.15	0.05	0.08	< 0.08	0.03	< 0.05
	CO2	26	14	47	7	80	< 3	< 4	47	25	< 5
	NH3	< 0.01	< 0.01	< 0.05	0.09	< 0.06	< 0.03	< 0.04	< 0.06	< 0.03	< 0.05
	N2O	0.003	< 0.001	< 0.005	0.03	0.03	< 0.003	< 0.004	< 0.01	0.003	< 0.005

		Mess- tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10
		[mg/m <sup>3</sup> s]									
<b>Miete 5</b>	CH4	< 0.01	< 0.02				0.01	0.06	0.04	0.05	< 0.04
	CO2	2	16				2	9	12	10	< 4
	NH3	< 0.01	0.02				< 0.02	0.19	0.11	< 0.02	0.07
	N2O	< 0.001	< 0.002				< 0.002	0.004	< 0.003	< 0.002	0.01
<b>Miete 9</b>	CH4	0.02	0.15	0.08	0.12	0.09	< 0.02	0.09	0.12	< 0.04	< 0.02
	CO2	< 2	13	21	20	21	< 2	46	< 5	< 4	3
	NH3	< 0.02	< 0.01	0.62	0.07	< 0.02	< 0.02	0.29	< 0.05	0.16	0.05
	N2O	< 0.002	< 0.001	0.04	0.01	< 0.002	< 0.002	0.02	< 0.005	< 0.004	0.004
<b>Miete 10</b>	CH4					0.39	< 0.05	0.05	< 0.04	0.04	< 0.04
	CO2					12	32	17	13	< 1	11
	NH3					< 0.03	0.05	< 0.01	< 0.04	< 0.01	< 0.04
	N2O					< 0.003	0.01	< 0.001	0.01	< 0.002	0.01
<b>Miete 11</b>	CH4	< 0.01					0.43	0.32	0.42	< 0.08	< 0.06
	CO2	7					< 5	34	25	< 8	< 6
	NH3	0.03					< 0.05	0.15	< 0.09	0.48	0.10
	N2O	< 0.001					0.004	0.03	< 0.01	0.02	< 0.005
<b>Miete 12</b>	CH4	0.01	0.02	0.15	0.19	0.13	0.04	0.09	0.11	< 0.05	< 0.08
	CO2	18	9	21	< 9	44	16	13	< 9	21	< 8
	NH3	< 0.01	< 0.02	0.05	0.13	0.85	< 0.04	< 0.06	0.21	< 0.05	< 0.08
	N2O	0.004	< 0.002	0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	< 0.008
<b>Miete 13</b>	CH4	0.23	0.34	0.09	0.10	0.04	< 0.02	0.13	0.07	0.06	< 0.04
	CO2	4	27	13	10	4	6	26	73	< 3	< 4
	NH3	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.03	< 0.01	< 0.05	< 0.03	< 0.06	< 0.03	< 0.04
	N2O	0.01	0.002	0.002	0.005	< 0.001	< 0.002	0.01	0.01	< 0.003	< 0.003
<b>Miete 14</b>	CH4				0.51		0.004	0.06	< 0.09	0.05	0.06
	CO2				51		8	29	36	6	< 3
	NH3				0.22		0.09	0.01	0.05	< 0.01	< 0.03
	N2O				0.07		0.003	0.01	< 0.01	0.003	< 0.003

### Gesamtemissionen

Da lediglich die Emissionen der Mieten 1, 2, 3, 4, 9, 12 und 13 an allen Messtagen bestimmt wurden, wird im Folgenden nur auf diese eingegangen.

Für die Versuchsdauer von 140 Tagen wurden die absoluten Emissionen der Mieten bestimmt. Die Tage zwischen den Messungen wurden dabei in Sekunden umgerechnet und mit dem vorangegangenen Messwert multipliziert. Im Gegensatz zum Multiplizieren des Durchschnittswertes der Emissionen über den Gesamtzeitraum, werden so die einzelnen Phasen der Kompostierung mit unterschiedlicher Emissionsmenge berücksichtigt. Die Emissionen der einzelnen Zeitabschnitte werden anschließend addiert. Die Berechnung beginnt am 26. Mai und endet eine Woche nach dem letzten Messtag am 19.10.2023.

Bei der graphischen Darstellung wird auf Grund der großen Unterschiede bei den Emissionsmengen der einzelnen Stoffe eine logarithmische Skala verwendet. Die konkreten Werte lassen sich aus den Abb. 3.4.30 bis 3.4.36 entnehmen.

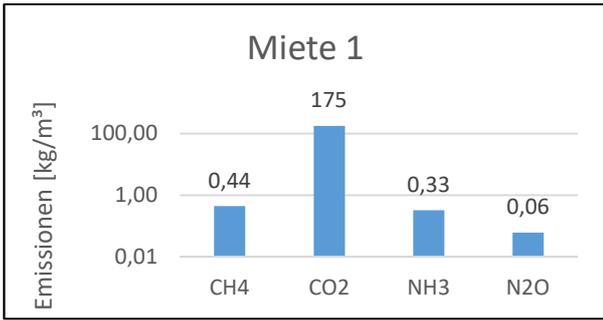


Abbildung 3.3.53 Gasemissionen der Miete 1

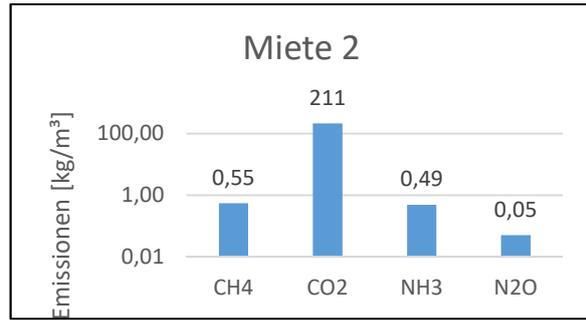


Abbildung 3.3.54 Gasemissionen der Miete 2

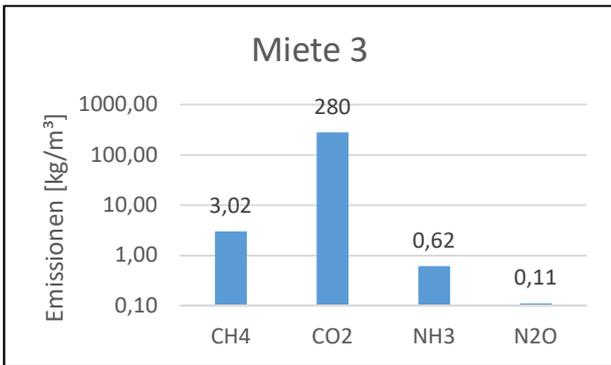


Abbildung 3.3.55 Gasemissionen der Miete 3

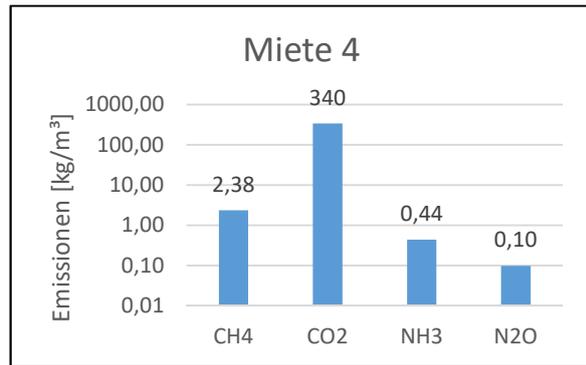


Abbildung 3.3.56 Gasemissionen der Miete 4

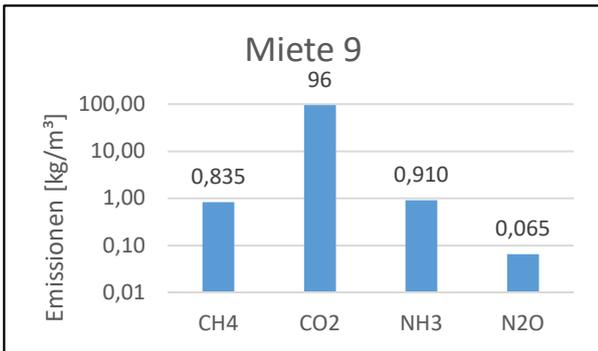


Abbildung 3.3.57 Gasemissionen der Miete 9

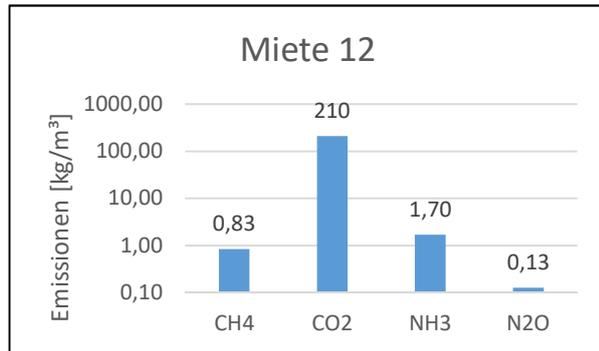


Abbildung 3.3.58 Gasemissionen der Miete 12

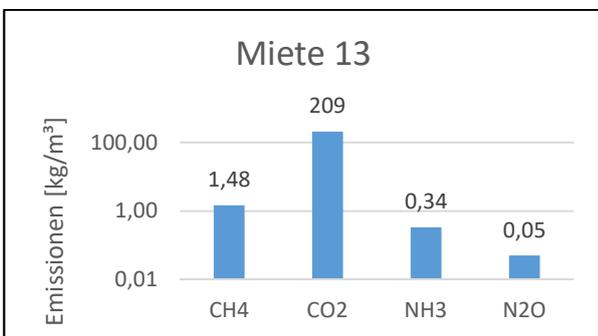


Abbildung 3.3.59 Gasemissionen der Miete 13

Zusätzlich lassen sich die Gesamtemissionen der einzelnen Stoffe in Kohlenstoffdioxid-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-Äqu.) darstellen. Hierfür werden die Treibhauspotentiale des Vierten Sachstandsberichtes des IPCC (2007) verwendet. Für Methan wird dabei ein Faktor von 25 CO<sub>2</sub>-Äqu. und für Lachgas von 298 CO<sub>2</sub>-Äqu. angegeben. Da Ammoniak als indirektes Treibhausgas nicht aufgeführt wird, spielt dies in der Berechnung keine Rolle. Auch Kohlenstoffdioxid gilt auf Grund des nicht fossilen Ursprunges als klimaneutral und hat keinen Einfluss. Ersichtlich ist ein Maximalwert von 108,73 kg/m<sup>3</sup> bei der Miete 3 und einen Minimalwert von 28,57 kg/m<sup>3</sup> bei Miete 2.

Tabelle 3.3.11 Gesamtemissionen in CO<sub>2</sub>-Äqu.

	CO <sub>2</sub> -Äqu. [kg/m <sup>3</sup> ]	CO <sub>2</sub> -Äqu. [kg/m <sup>3</sup> ] / Jahr
Miete 1	29,06	75,76
Miete 2	28,57	74,49
Miete 3	108,73	283,47
Miete 4	88,98	231,98
Miete 9	40,27	104,99
Miete 12	58,27	151,91
Miete 13	51,98	135,52

Die berechneten Werte stellen die Gesamtemissionen in CO<sub>2</sub>-Äqu. des Versuchszeitraumes von 140 Tagen dar. Für eine bessere Abschätzung und den Vergleich mit anderen Emissionsquellen, werden die Werte auf das Jahr hochgerechnet.

### Verlauf über die Zeit

Die einzelnen Emissionswerte der durchgängig gemessenen Mieten lassen sich über den Versuchszeitraum darstellen. Die linke Achse stellt die Emissionen auf einer logarithmischen Skala dar, rechts und grau im Hintergrund zu sehen ist das Volumen. Senkrecht eingezeichnete Linien verdeutlichen den Zeitpunkt des Umsetzens. Sehr unterschiedliche Verläufe machen eine spätere Interpretation schwierig.

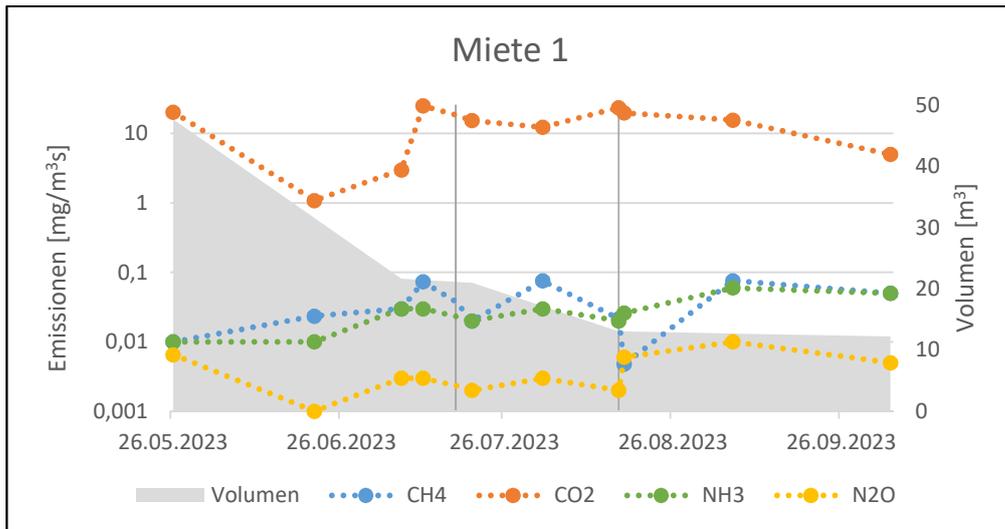


Abbildung 3.3.60 Emissionen der Miete 1 im zeitlichen Verlauf

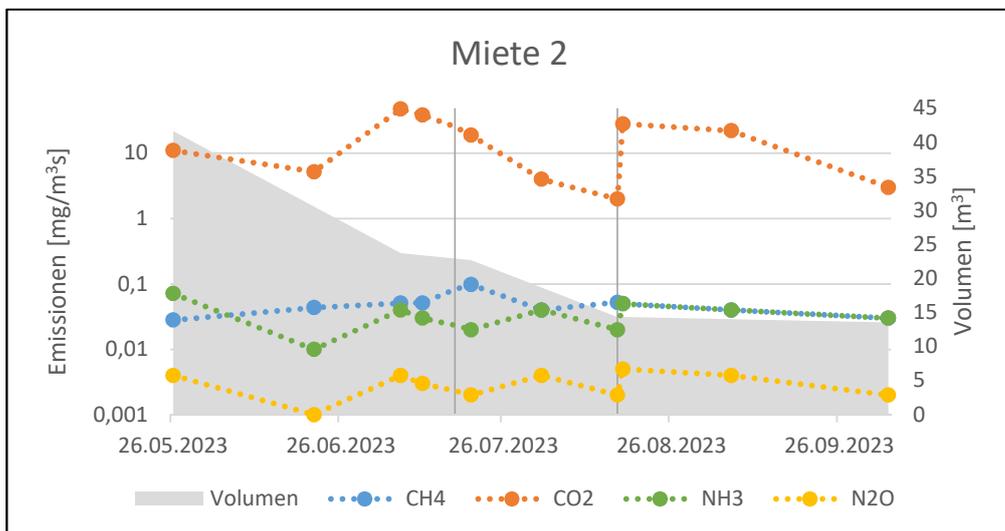


Abbildung 3.3.61 Emissionen der Miete 2 im zeitlichen Verlauf

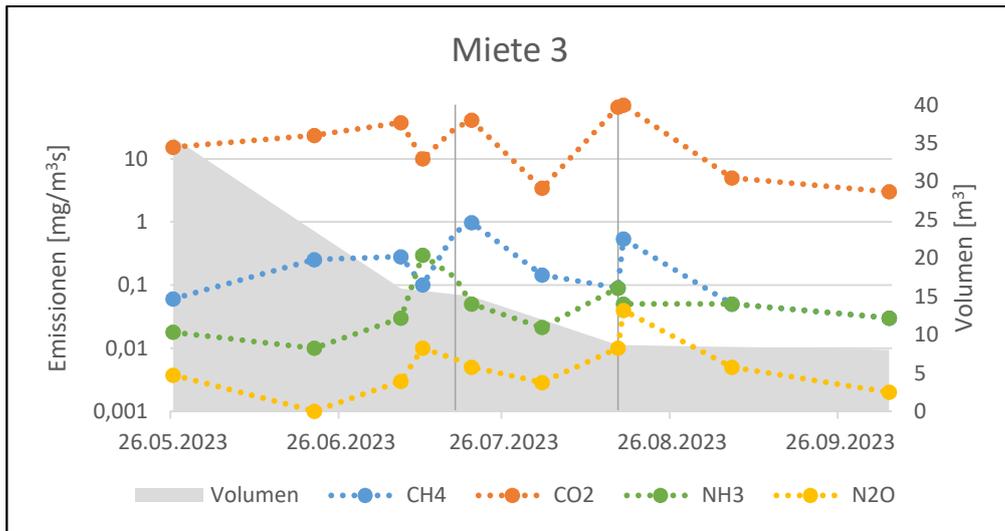


Abbildung 3.3.62 Emissionen der Miete 3 im zeitlichen Verlauf

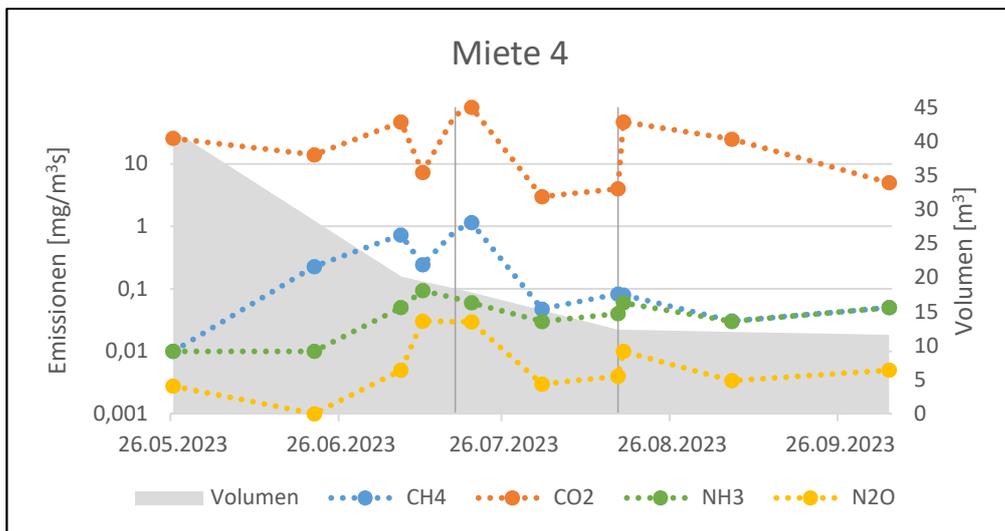


Abbildung 3.3.63 Emissionen der Miete 4 im zeitlichen Verlauf

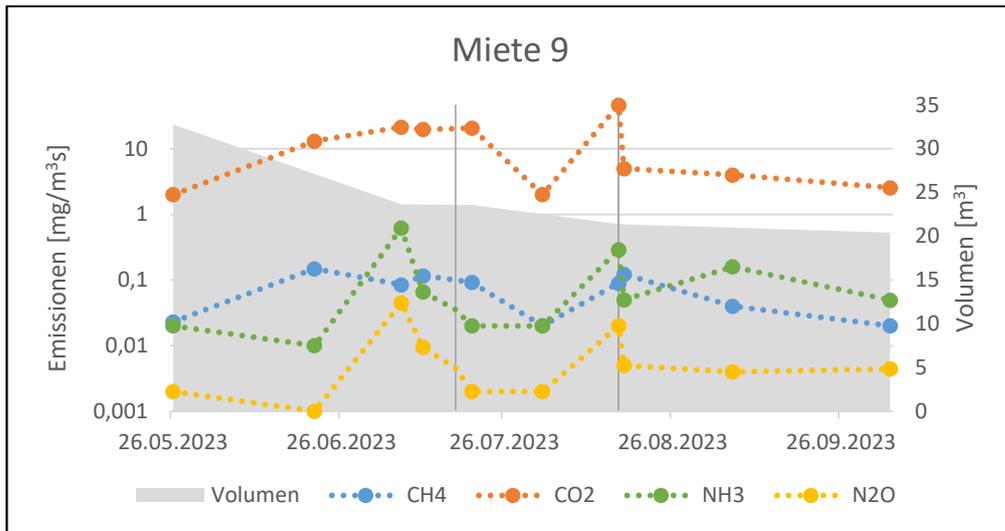


Abbildung 3.3.64 Emissionen der Miete 9 im zeitlichen Verlauf

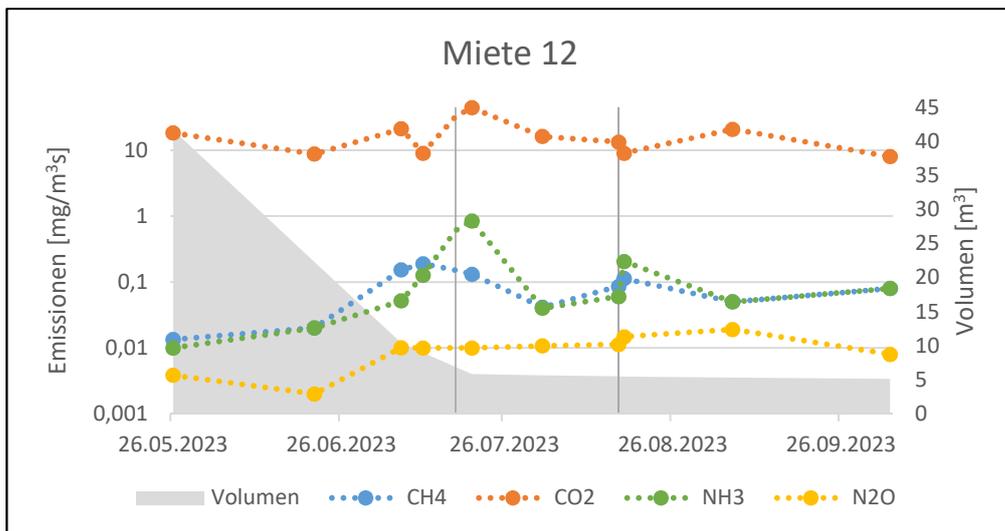


Abbildung 3.3.65 Emissionen der Miete 12 im zeitlichen Verlauf

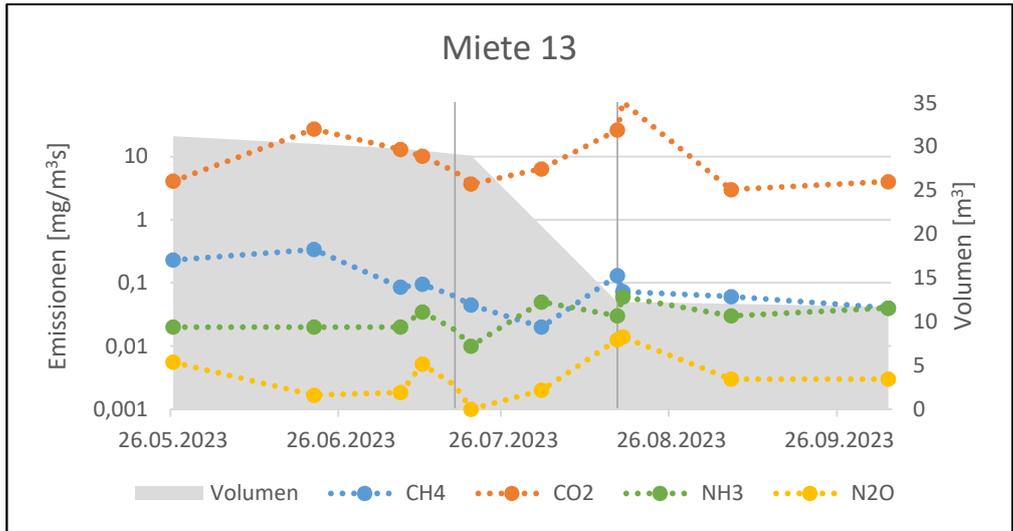


Abbildung 3.3.66 Emissionen der Miete 13 im zeitlichen Verlauf

### 3.3.6.2 Diskussion

Zur Minimierung statistischer Fehler wurde jede Miete in doppelter Ausführung aufgesetzt. Diese Doppelmieten gleichen sich in ihrer Rottegutzusammensetzung, Abdeckung und Umsetzungshäufigkeit. Allerdings wurde nur eine der beiden Mieten durchgängig auf ihre Emissionsentstehung analysiert. Die zugehörige Doppelmiete dient daher nur zu Orientierung.

In folgenden Abbildungen 3.4.46 bis Abb. 3.4.49 sind die Emissionen und das Volumen der Miete 13 und 14 im zeitlichen Verlauf dargestellt. Miete 13 wurde dabei an jedem Messtag untersucht, Miete 14 lediglich an sechs. Zu erkennen ist, dass die Emissionsmengen der einzelnen Gase übereinstimmen. So haben zum Beispiel Methan (Abb. 3.4.46) und Lachgas (Abb. 3.4.49) Peaks in ähnlicher Höhe und die Emissionsverläufe in der zweiten Messhälfte liegt nahe beieinander und überlagern sich. Auch die Zeitpunkte der Emissionsentstehungen gleichen sich, denn die Emissionspeaks beider Mieten treten an den gleichen Messtagen auf. Neben den Emissionen lässt sich im Hintergrund eine parallele Abnahme der Volumina erkennen.

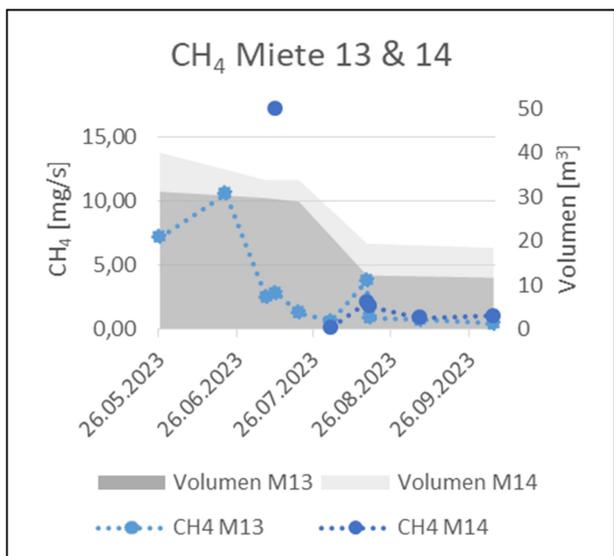


Abbildung 3.3.67 Methanverlauf der Miete 13 und 14

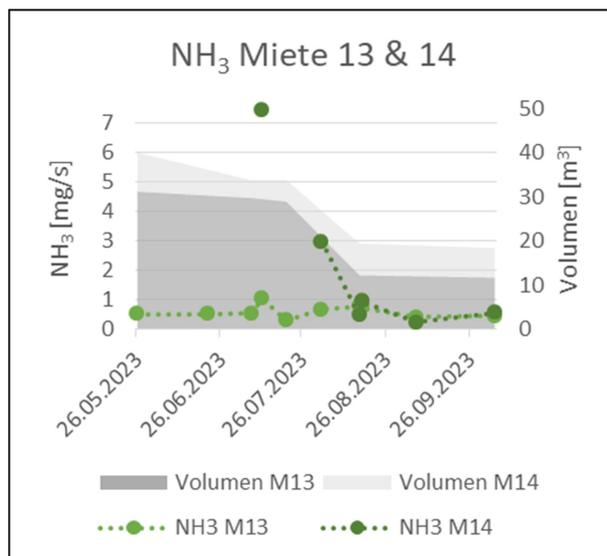


Abbildung 3.3.68 Ammoniakverlauf der Miete 13 und 14

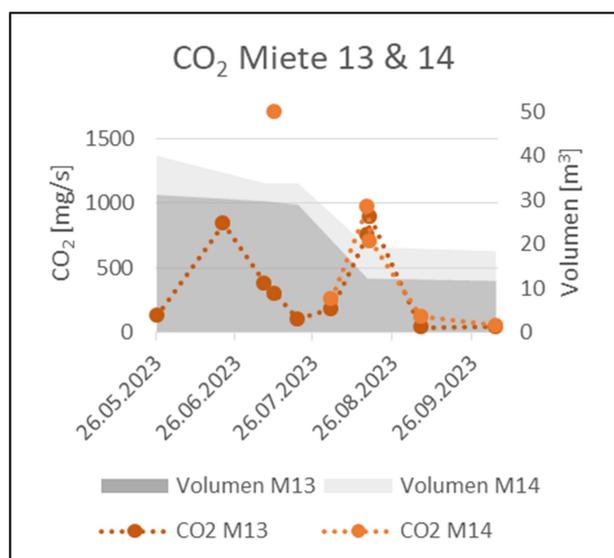


Abbildung 3.3.69 Kohlendioxidverlauf der Miete 13 und 14

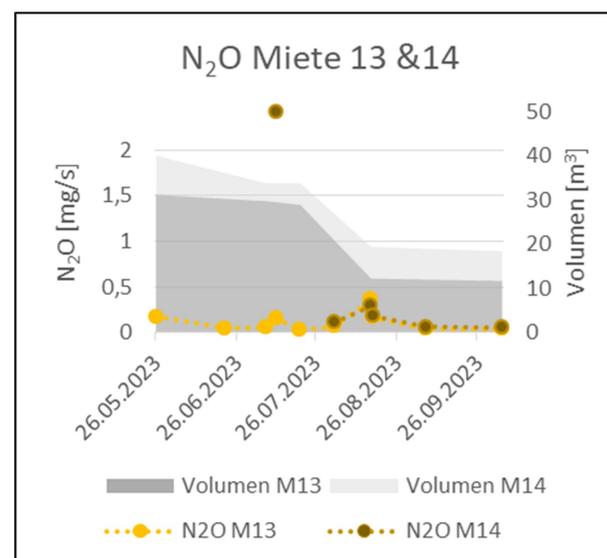


Abbildung 3.3.70 Lachgasverlauf der Miete 13 und 14

Trotz einzelner Ausreiser in den obigen Abbildungen kann von einem ähnlichen Emissions- und Volumenverlauf und damit von sogenannten Doppelmieten gesprochen werden. Anknüpfend kann auf einen annähernd gleichen Ablauf des Kompostierungsprozesses der Mieten 13 und 14 geschlossen werden.

Im Gegensatz dazu, zeigen Miete 2 und 8 starke Abweichungen voneinander und können nicht als solche bezeichnet werden. Die Emissions- und Volumenverläufe werden in den nachfolgenden Abbildungen gezeigt (Abb. 3.4.50 bis Abb. 2.4.53). Miete 2 wurde dabei an jedem Messtag untersucht, Miete 8 lediglich an sieben. Neben den unterschiedlichen Peakhöhen zeigen auch die Emissionsverläufe auf ungleichem Niveau, dass die entstandene Emissionsmenge nicht übereinstimmt. Deutliche Abweichungen gibt es auch beim Zeitpunkt der Entstehung. So zeigt zum Beispiel Abb. 3.4.50 einen ersten Peak der Miete 2

an Messtag fünf, Miete 8 folgt erst an Messtag sechs (zwischen Messtag fünf und sechs liegen 13 Tage). Auch die Volumenabnahme beider Mieten im Hintergrund gleichen sich nicht.

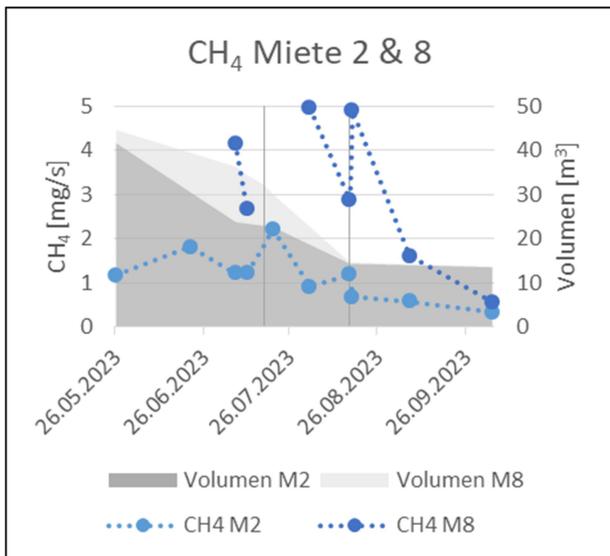


Abbildung 3.3.71 Methanverlauf der Miete 2 und 8

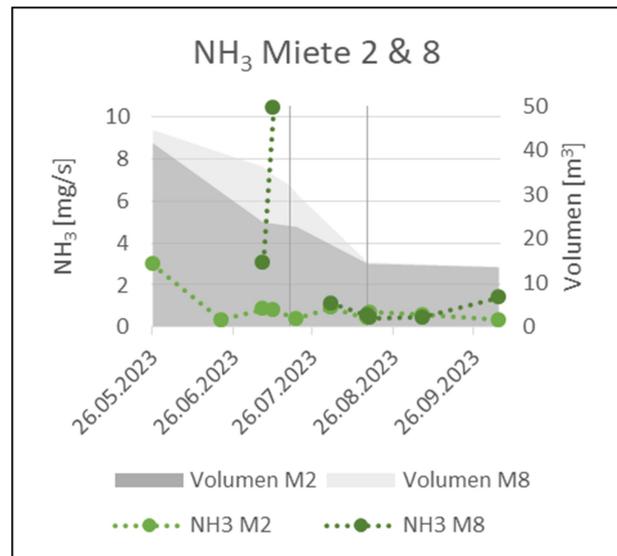


Abbildung 3.3.72 Ammoniakverlauf der Miete 2 und 8

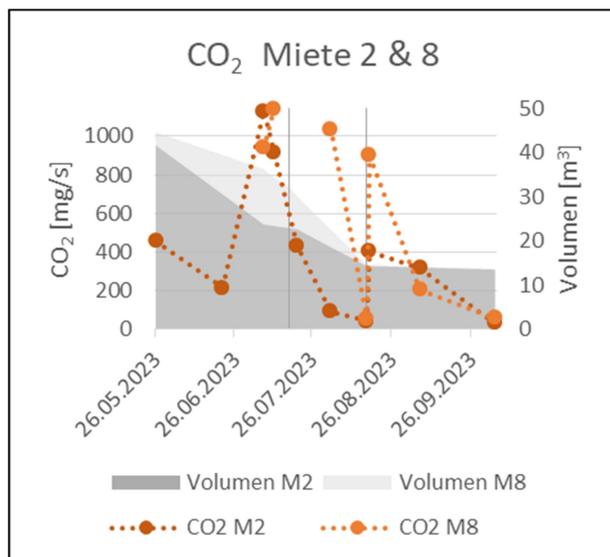


Abbildung 3.3.73 Kohlendioxidverlauf der Miete 2 und 8

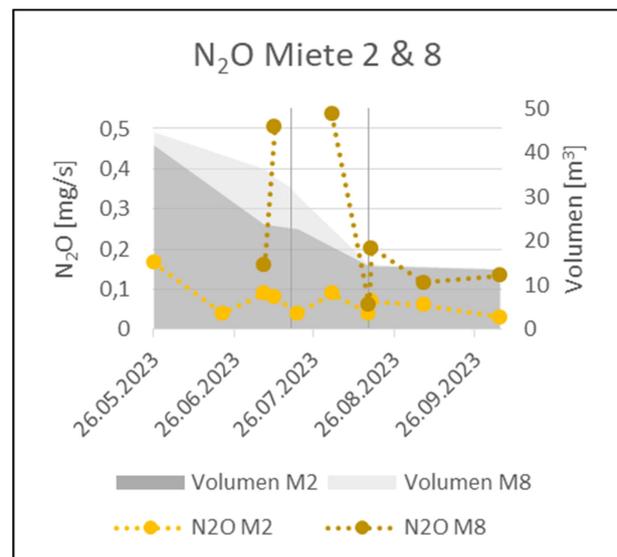


Abbildung 3.3.74 Lachgasverlauf der Miete 2 und 8

Der Vergleich einzelner Messwerte zwischen der Miete 2 und 8 verdeutlichen, dass es große absolute (SAD) und prozentuale (%P) Unterschiede gibt (Tab. 3.4.11).

Mit jedem Messtag steigen die Abweichungen voneinander weiter an, bis sie am siebten Messtag auf den niedrigsten Wert fällt beziehungsweise es keinen Unterschied mehr gibt. Eine Ursache hierfür ist zunächst nicht erkennbar. In den letzten Messtagen nähern sich die Werte immer weiter an. Dies kann auf den nachlassenden Kompostierungsprozess zurückzuführen sein.

Tabelle 3.3.12 Absolute und prozentuale Unterschiede der gemessenen Werte bei den Mieten 2 und 8

	Messtag 1	Messtag 2	Messtag 3	Messtag 4	Messtag 5	Messtag 6	Messtag 7	Messtag 8	Messtag 9	Messtag 10
SAD CH4			0,06	0,02		0,12	0,05	0,28	0,07	0,01
%P CH4			54,55	28,57		75,00	50,00	84,85	63,64	25,00
SAD CO2			22	8		30	0	34	8	1
%P CO2			45,83	20,51		88,24	0,00	54,84	36,36	25,00
SAD NH3			0,05	0,26		0	0	0,02	0,01	0,07
%P NH3			55,56	89,66		0,00	0,00	40,00	25,00	70,00
SAD N2O			0	0,007		0,016	0	0,005	0,006	0,008
%P N2O			0,00	70,00		80,00	0,00	50,00	60,00	80,00

Auch optisch lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Das verdeutlichen die am siebten Messtag aufgenommenen Abbildungen 3.4.54 und 3.4.55. Während bei Miete 8 (Abb. 3.4.55) noch deutliche Stroh- und Exkrementanteile zu erkennen sind, scheint Miete 2 homogenisierter und im Rotteprozess fortgeschrittener.



Abbildung 3.3.75 Miete 2 am siebten Messtag (Foto: Universität Stuttgart)



Abbildung 3.3.76 Miete 8 am siebten Messtag (Foto: Universität Stuttgart)

Insgesamt können Miete 2 und 8 nicht als Doppelmiete betrachtet werden. Weitere Mietenvergleiche geben ein ähnliches Bild ab, womit vermeindliche Doppelmieten nicht als solche automatisch angenommen werden können.

Die gemessenen Emissionen lassen damit nur bedingt Rückschlüsse auf eine optimale Rottegutzusammensetzungen zu. Das ursprüngliche Rottegut spielt eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Emissionen während der Kompostierung, es ist jedoch nicht der einzige Faktor. Vielmehr müssen weitere Einflüsse

se, wie Wassergehalt, pH-Wert, vorhandene Mikroorganismen und so weiter, ermittelt und auf ihre Auswirkungen hin untersucht werden.

Die Gründe für unterschiedliche Entwicklungen der Mieten in diesem Versuchsaufbau sind vielfältig. Dazu gehören die vom Plan abweichende Auf- und Abdeckphasen des landwirtschaftlichen Vlieses und der sich damit ändernde Luftaustausch, Wasserverfügbarkeit und Temperatur unter der Abdeckung. Zusätzlich sind die Zusammensetzungen des Rottegutes (Zerkleinerungsgrad, Inputmaterial, Homogenität, ...) nicht exakt übereinstimmend. Die Miete 8 war darüber hinaus mit einer Drainage versehen. Die Lage der Mieten ist ähnlich und kann deshalb als vernachlässigbar angesehen werden.

### 3.2 Emissionen beim Umsetzen

Am achten Messtag wird an Miete 2 die Umsetzung messtechnisch begleitet, um eine Vorstellung von der Emissionsfreisetzung währenddessen zu bekommen.

Vor dem Umsetzen werden die Emissionen der Miete wie im Kapitel Methodik beschrieben gemessen. Im weiteren Versuchsablauf fährt der Traktor in Schrittgeschwindigkeit an der Miete entlang und setzt diese dabei um. Die Quelle steht dabei im Luv und das FTIR im Lee, so dass sowohl der Tracer, als auch die Emissionen der Miete und des Traktors mit dem Wind zum Messgerät getragen werden.



Abbildung 3.3.77 Versuchsaufbau während dem Umsetzen (Foto Universität Stuttgart)

Auf Grund von nicht idealen Verbrennungsbedingungen im Brennraum und weiteren Bestandteilen im Kraftstoff wird der Diesel im Motor unvollständig verbrannt. Dabei entstehen neben den idealen Verbrennungsprodukten Wasserdampf ( $H_2O$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) auch (toxische) Nebenprodukte.

Die Abgaszusammensetzung ist dabei Abhängig von den unterschiedlichen Betriebsbedingungen und Motorbelastungen. Eine mögliche Zusammensetzung zeigt Abb. 3.4.57.

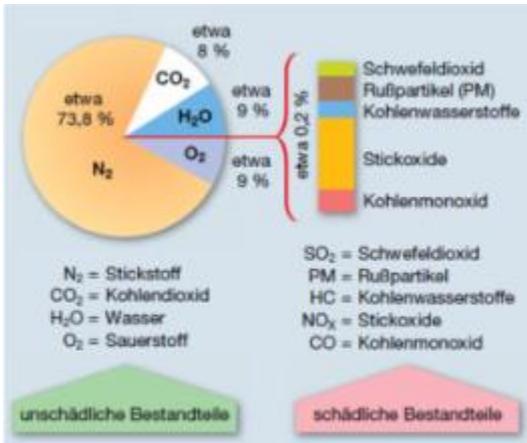


Abbildung 3.3.78 Beispielhafte Abgaszusammensetzung (Quelle: Gerigk 2009)

Demnach muss, um unterscheiden zu können welche Emissionen vom Traktor und welche tatsächlich von der Miete kommen, im Anschluss der Traktor einzeln auf Emissionsentstehung gemessen werden. Der Versuchsaufbau gleicht dabei dem der Mietenmessung.

Zur Ermittlung der Mietenemissionen werden die Emissionen des Traktors abgezogen. Dabei muss der Hintergrund nicht zusätzlich subtrahiert werden, denn dieser ist bei den Traktoremissionen bereits enthalten.

Die Messergebnisse und daraus folgende Abbildungen 29 und 30 zeigen deutlich, dass es beim Umsetzen zu einer Verstärkung der Emissionen kommt. Zu erklären ist dies mit dem Loslösen und Aufwirbeln von vorhandenen Emissionen in den Zwischenräumen des Rottegutes, denn sowohl Methan, als auch Kohlenstoffdioxid ist schwerer als Luft.

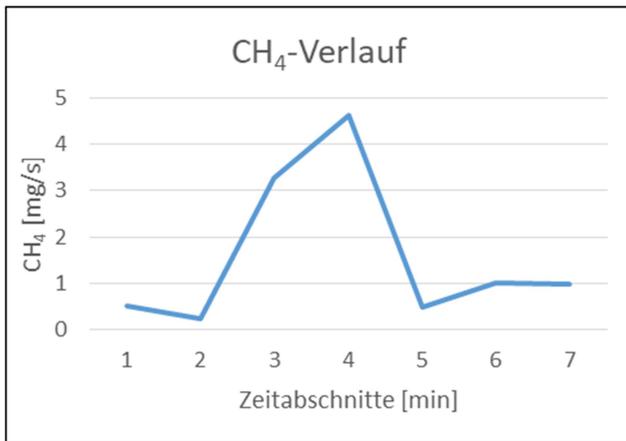


Abbildung 3.3.79 Kohlenstoffdioxidverlauf während des Umsetzens

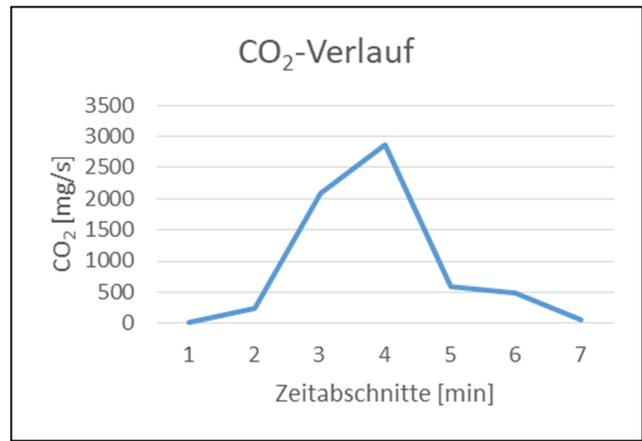


Abbildung 3.3.80 Methanverlauf während des Umsetzens

Auch ein Vergleich mit den Messergebnissen ein paar Stunden zuvor zeigt, dass die Emissionen im Vergleich stark erhöht sind. Methan ist dabei um das Vierfache, Kohlenstoffdioxid um das Siebzigfache erhöht. Damit entsteht auch im Inneren der Miete mehr Kohlenstoffdioxid und spricht für einen aeroben Abbau.

Zusätzlich können hohe Werte einen Tag nach dem Umsetzen beobachtet werden, was auf die Aktivierung von weiteren Kompostierungsprozessen schließen lässt.

Tabelle 3.3.13 Vergleich der Emissionen vor, während und nach dem Umsetzen

	Vor dem Umsetzen	Höhepunkt des Umsetzens	Ein Tag nach dem Umsetzen
	[mg/s]	[mg/s]	[mg/s]
<b>CO<sub>2</sub></b>	41,51	2869,42	403,91
<b>N<sub>2</sub>O</b>	0,042	0,102	0,069
<b>CH<sub>4</sub></b>	1,19	4,64	0,69
<b>NH<sub>3</sub></b>	0,42	1,02	0,69

Bei den Gesamtemissionen im Kapitel der Ergebnisse wird der deutliche Anstieg beim Umsetzen nicht in die Bilanz einbezogen.

### 3.4 AP 5 - Pflanzenbauliche Untersuchung

Hinsichtlich der ermittelten Feldkapazitätsanalysen wurde deutlich, dass die Zugabe von Kompost die Wasserhaltefähigkeit des eingesetzten Bodens im Vergleich zur Kontrolle deutlich erhöht. Jedoch zeigten sich zwischen den einzelnen Komposten keine größeren Unterschiede (Abb. 3.5.1).

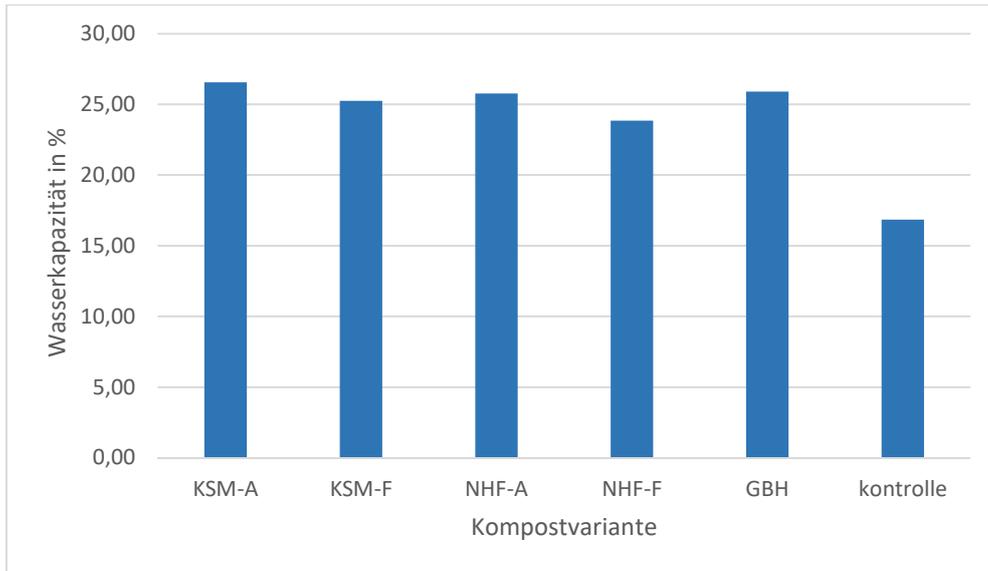
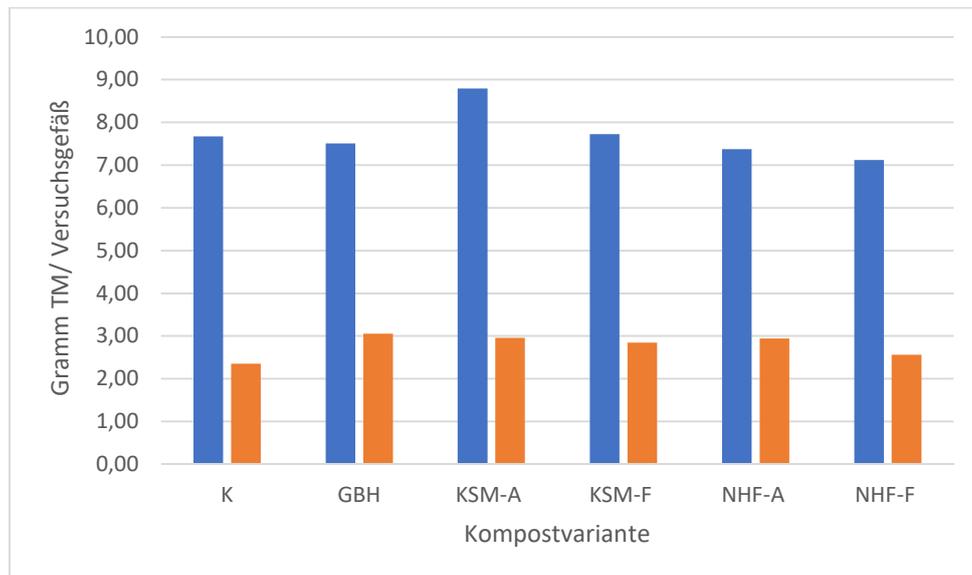


Abbildung 3.4.1 Wasserkapazität (Mittelwert in %) der Kompostvarianten des Düngeversuchs

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Weidelgras-Ernten (Trockenmasse in Gramm) für jede untersuchte Kompostvariante. Die Ergebnisse sollen darüber Auskunft geben, ob die Anwendung von Kompost mit einer signifikanten Erhöhung des Ertrags verbunden ist und ob die Kompostvariante sich in ihrer Düngewirkung voneinander unterscheiden.



Blau = Varianten mit N-Ergänzung; Orange = Varianten ohne N-Ergänzung

Abbildung 3.4.2 Weidelgras-Erntemengen je nach Kompostvariante

Es zeigt sich, dass alle Kompostvarianten (ohne N-Ergänzung) im Vergleich zur Kontrolle einen höheren Biomassertrag aufwiesen. Die Kompostvarianten mit Hornmehl als zusätzliche N-Düngung zeigten diesen Effekt nicht so deutlich. Insgesamt ist festzustellen, dass der Biomassertrag der mit Hornmehl gedüngten Varianten aber deutlich höherer als in der reinen Kompostvarianten ausfällt.

Tabelle 3.4.1 Weidelgras-Trockenmasse (in Gramm) der fünf untersuchten Kompostvarianten je nach Erntedatum und Tisch

	TM alle Varianten in Gramm	
	Tische 1	Tische 2
1. Ernte (02.05.)	3,15	5,18
2. Ernte (30.05.)	5,68	7,56
3. Ernte (04.07.)	4,16	5,97
<b>Gesamt</b>	<b>4,33</b>	<b>6,24</b>

Die Ergebnisse in Tab. 3.5.1 zeigen, dass zwischen den beiden Tischen im Gewächshaus aufgrund der technischen Gegebenheiten offensichtlich unterschiedliche Wachstumsbedingungen bestanden, da die Erntemengen auf Tisch 2 durchgehend höher lagen als bei Tisch 1. Man sieht darüber hinaus, dass eine Wachstumsdepression zwischen Erntetermin 2 und 3 auftrat.

### Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Nach der Aussaat sowie während der Auflaufzeit des Weidelgrases sind die Temperaturen im Mittelwert unter 18 °C geblieben, was eine gesunde Entwicklung der Pflanzen ermöglicht hat.

Ab Ende März stiegen die Temperaturen auf über 20 °C. Ab dem 28. März wurden Temperaturen registriert, die maximal z.T. über 40 °C überschritten. Diese hohen Temperaturen herrschten allerdings nur über eine kurze Dauer und nachts sanken die Temperaturen wieder unter 10 °C. Von März bis Anfang Mai haben die Temperaturen im Mittelwert die Grenze von 25 °C nicht überschritten, wie es die rote Trendlinie von Abb. 2.5.6 (in Kap. 2.5.2) zeigt. Ab Mitte Mai stiegen die Temperaturen im Durchschnitt über 30 °C. Trotz Installation eines Schattennetzes und dem Ausbau von zwei Gewächshauswänden stiegen die Temperaturen regelmäßig auf über 50 °C gestiegen und haben somit das Pflanzenwachstum negativ beeinflusst.

In Hinblick auf die Temperaturdatenerfassung muss die Platzierung des Datenloggers berücksichtigt werden. Wegen der niedrigen Höhen des Gewächshauses und der Höhenposition der Gerätebefestigung, könnte es sein, dass es in diesem Bereich keine Luftbewegung gab und diese Region sich stärker als auf den Tischen erwärmt hat. In diesem Fall hätte es dazu geführt, dass die gemessenen Temperaturen höheren waren als im Bereich des Versuches.

Die Auswertung der Ernteergebnisse zeigt, dass im Durchschnitt bei den Varianten mit N-Ergänzung 7,70 g TM-Weidelgras pro Gefäß geerntet wurde. Auf einen Hektar bezogen läge demnach der Biomasseertrag bei etwa 25 dt/ha. Im Normalfall können in der ökologischen Landwirtschaft Erträge von 40 dt/ha erreicht werden.

Die Pflanzen liefen einwandfrei auf und zeigten bis Ende Mai ein gesundes Wachstum. Es waren keine Unverträglichkeit bezüglich des höheren pH-Werts sowie in Bezug auf den Salzgehalt festzustellen.

In Abb. 2.5.8 ist zu sehen, dass der Wasserstress ab Ende Mai sicherlich einen Effekt auf das Wachstum der Pflanzen hatte. Das Gewebe sowie die Zellteilung wurden beeinträchtigt und dadurch das Wachstum behindert. Aufgrund der Trockenstressproblematik kann man daher keine sichere Aussa-

ge über die Verträglichkeit der untersuchten Komposte treffen. Die festgestellten Wachstumsdepressionen könnten somit durch Trockenstress und/oder Überhitzung ausgelöst worden sein.

Außerdem zeigt Tab. 3.5.1 eine leichte, aber immer vorhandene Abweichung zwischen den beiden Tischen. Tisch Nr. 2 hat bei jeder Ernte bessere Ergebnisse geliefert. Der Grund dafür bleibt ungeklärt, aber es ist zu vermuten, dass die Wachstumsbedingungen auf den beiden Tischen über den gesamten Versuch nicht einheitlich waren.

Bei der Betrachtung der Wasserkapazität wurde im Durchschnitt eine Erhöhung von 51 % durch die Kompostgabe erreicht. Die statistische Auswertung weist eine Fehlerwahrscheinlichkeit von 7% auf. Üblicherweise sollte im Bereich Pflanzenbau eine Fehlerwahrscheinlichkeit kleiner/gleich 5% erreicht werden. Deswegen kann man das Ergebnis nur mit etwa einer 90%igen Wahrscheinlichkeit dahingehend interpretieren, dass die Erhöhung der Feldkapazität durch die Anwendung des Kompostes verursacht wird.

Diese Ergebnisse korrelieren mit den Laboruntersuchungen. Die Werte der organischen Substanz der Kompostproben bewegen sich zwischen 27,4 % und 55,4 % TM organ. Substanz. Im Gegensatz dazu weist der Boden nur 3,3 % TM organische Substanz auf. Der Kompost KSM-A, der zu einer Erhöhung der Feldkapazität auf bis zu 57 % geführt hat, enthält den höchsten Wert aller eingesetzten Komposte mit 55,4 % TM organische Substanz.

Es kann damit die Anwendung von Kompost zur Verbesserung der Wasserkapazität landwirtschaftlicher Böden empfohlen werden.

### **Fazit zu dem Gefäßversuch**

Die Bedingungen bei diesem Versuch, die sowohl von den ungewöhnlich hohen Temperaturen im Frühling 2023 als auch von der unzureichenden Belüftungsmöglichkeit des Gewächshauses geprägt waren, haben leider nicht ermöglicht, die ursprüngliche Hypothese dieses Versuches zu beantworten. Weder die Verträglichkeit noch die Düngewirkung der eingesetzten Komposte konnten dadurch mit einer hohen Sicherheit geprüft werden.

Bezüglich der Pflanzenverträglichkeit kann anhand der Laborergebnisse festgestellt werden, dass keine Hinweise hinsichtlich einer möglichen Pflanzenunverträglichkeit festgestellt werden konnten.

Um die Düngewirkungen prüfen zu können, ist es erforderlich weitere Versuche über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden. Der Grund dafür ist die langsame Mineralisierung und Nährstofffreisetzung der verwendeten Komposte, was dazu führt, dass im ersten Jahr kaum ein Düngeeffekt auf die Pflanzen nachgewiesen werden kann.

Hinsichtlich der im Versuch festgestellten Erhöhung der Feldkapazität kann in Hinblick auf die immer trockeneren und heißeren klimatische Bedingungen festgestellt werden, dass die Anwendung von Komposten zu einer verbesserten Feldkapazität führt. Kompost kann somit einen Beitrag leisten, den Wasserstress der Pflanzen zu reduzieren und Erträge zu stabilisieren.

### 3.5 AP 6 - Betriebswirtschaftliche und arbeitswirtschaftliche Ergebnisse

Um eine betriebswirtschaftliche Bewertung der Ergebnisse aus VELKO vornehmen zu können wurde in folgenden Teilschritten vorgegangen:

1. Beschreibung der Verfahrensabläufe auf den untersuchten Betrieben
2. Erfassung der Arbeitszeitaufwendungen und Schlepper- sowie Maschinenstunden für die einzelnen Arbeitsschritte
3. Berechnung der Kosten der Schlepper- sowie Maschinenstunden anhand der KTBL-Datenbank MaKost (fixe Kosten sowie variable Kosten)
4. Berechnung der Verfahrenskosten der einzelnen Betriebe sowie je Input- und Outputmengen

#### 3.5.1 Beschreibung der Verfahrensabläufe

Anhand der Aufzeichnung der Betriebsleiter sowie durch Erfassung der Projektmitarbeiter wurden die nachfolgend genannten Verfahrensabläufe festgestellt und dokumentiert. Anzumerken ist die Tatsache, dass bei jedem Betrieb Schwankungen zwischen den einzelnen Mietendurchgängen auftreten, da eine Vielzahl an Faktoren jeweils eine Rolle spielen (Witterung, Schwankungen beim Ausgangsmaterial, Kompostierungsverlauf der Mieten, technische Probleme, ...)

Grundlage der arbeitswirtschaftlichen sowie betriebswirtschaftlichen Auswertung sind die Verfahrensabläufe zur Durchführung der Kompostierung auf den einzelnen Betrieben. Da auch innerhalb der Betriebe zwischen den einzelnen Wiederholungen Abweichungen festzustellen waren (z.B. Anzahl die Umsetzungsvorgänge oder Bewässerungshäufigkeit), wurden in Absprache mit den Betriebsleitern s.g. Standardverfahrensabläufe beschrieben, die nachfolgend dokumentiert sind. Diese Abweichungen betrafen sowohl den tatsächlichen Arbeitszeitaufwand als auch eine gewisse Varianz bei dem Einsatz der genannten Maschinen und Geräte.

Grundsätzlich wurden die Daten stets je einer Standardmiete mit einer Länge von 100 m gefasst bzw. berechnet, um eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Betrieben zu erhalten. Da jedoch die Lagerungsdichte bis -höhe zwischen den Betrieben variierte, wurden anhand der unterschiedlichen Mietenquerschnitte unterschiedliche Mietenvolumina ermittelt.

Insgesamt wurden auf 5 Betrieben die entsprechenden Daten erhoben, da bei den übrigen Betrieben keine gesicherten Angaben für die Verfahrensabläufe getroffen werden konnten.

Im nächsten Schritt wurden für die beschriebenen Verfahrensabläufe die entsprechenden fixen sowie die festen Kosten je Verfahrensschritt anhand der KTBL-Datenbank MaKost ermittelt und in die Berechnung einbezogen. Da sich die Kosten je Verfahrensschritt meist aus der Kombination der Maschinenkosten sowie der entsprechenden Schlepperkosten ergaben, wurden die Gesamtkosten je Verfahrensschritt aus dieser Teilsumme ermittelt. Während für die Standardverfahrensschritte wie Transport, Mähen, Lagewagen, Verladen, Streuen entsprechende Standardwerte in der MaKost-Datenbank zu finden waren, wurden im Rahmen von VELKO für den Teilbereich der eigentlichen Kompostierung die Verfahrensgänge des Umsetzers getrennt erfasst und dokumentiert.

Tabelle 3.5.1 Arbeitszeitbedarf für das Umsetzen (Wender)

Arbeitszeitbedarf		1. Umsetzen		2. Umsetzen		3. Umsetzen		4. Umsetzen	
Umsetzer	Datum	[m/h]	Betrieb	[m/h]	Betrieb	[m/h]	Betrieb	[m/h]	Betrieb
	31.03.22			250	RIS				
	31.03.22			350	KSM				
	31.03.22			275	KSM				
	31.03.22			250	NHF	375	NHF		
	10.06.22	250	RIS						
	10.06.22	300	BDH	275	BDH				
	10.06.22	375	RIS						
	10.06.22	150	NHF						
	24.06.22			300	RIS	400	NHF		
	24.06.22	300	NHF	350	RIS			600	NHF
	24.06.22			350	BDH				
	05.08.22	150	BDH	250	KSM	350	KSM		
	05.08.22					400	GBH		
	05.08.22					400	GAL		
	29.08.22					400	KSM		
	29.08.22			300	KSM	250	KSM	500	NHF
		<b>254</b>	m/h	<b>295</b>	m/h	<b>368</b>	m/h	<b>550</b>	m/h
		<b>0,25</b>	km/h	<b>0,30</b>	km/h	<b>0,37</b>	km/h	<b>0,55</b>	km/h
Zeitbedarf									
für 100 m Miete:		<b>44,8</b>	Minuten	<b>42,3</b>	Minuten	<b>37,9</b>	Minuten	<b>27,0</b>	Minuten

Insgesamt zeigte sich, dass bei zunehmender Wiederholung des Einsatzes des Umsetzers die Arbeitsgeschwindigkeit stets etwas zugenommen hatte.

Beim ersten Einsatz des Umsetzers betrug die Geschwindigkeit	<b>45</b> Min/100 m Miete,
beim zweiten Einsatz des Umsetzers betrug die Geschwindigkeit	<b>42</b> Min/100 m Miete,
beim dritten Einsatz des Umsetzers betrug die Geschwindigkeit	<b>38</b> Min/100 m Miete,
beim vierten Einsatz des Umsetzers betrug die Geschwindigkeit	<b>27</b> Min/100 m Miete

Diese verbesserte Bearbeitbarkeit der Miete ist mit der zunehmenden Homogenisierung sowie Durchlockerung des Mietenmaterials und der vorschreitenden Zersetzung des organischen Materials begründet.

Die Arbeitsgeschwindigkeit des Schleppers betrug zwischen 0,25 km/h bis zu 0,55 km/h, so dass für den Einsatz des Umsetzers ausschließlich Schlepper mit einem Kriechgang- oder mit einem Variogetriebe eingesetzt werden konnten. Diese Anforderung an die Getriebeausstattung erhöht die Schleppekosten/h in einem gewissen Umfang.

Für die Erfassung der Arbeitszeit sowie der Verfahrenskosten wurde festgelegt, dass sowohl die Kosten für die Bereitstellung des Input-Materials als auch die Ausbringung des Output-Materials (Kompost) mit einbezogen.

Streng genommen würden bei den tierhaltenden Betrieben diese Kosten für die Mistausbringung ohnehin (also auch ohne eine Kompostierung) anfallen, während bei den Betrieben ohne Nutztierhaltung die Kosten für die Materialbereitstellung sowie für die Ausbringung in jedem Falls zusätzlich

berechnet werden müssen. Um jedoch eine Vergleichbarkeit zwischen den beiden Betriebstypen zu ermöglichen, wurden in beiden Fällen die Kosten für die Bereitstellung sowie für die Ausbringung in die Berechnung mit einbezogen.

### 3.5.2 Arbeitszeitbedarf

Der Arbeitszeitbedarf ergibt sich aus der Summe der Maschinenarbeiten sowie die Summe der manuellen Arbeiten. Aus der Zusammenstellung in Tab. 3.6.3 ergibt sich

Im günstigsten Fall wurde – bei einer allerdings recht extensiven Vorgehensweise – ein Arbeitsaufwand von 21,9 h/100m-Miete ermittelt; im ungünstigsten Fall 57,2 h/100m ermittelt, wobei dieser erhöhte Aufwand mit einer besseren Kompostqualität einherging.

Im Durchschnitt ergab sich ein Arbeitszeitaufwand ca. **35 h/100m-Miete**.

Bezogen auf die einzelnen Teilschritte der Kompostierung waren die Teilschritte „Materialbereitstellung“, „Logistik“ sowie „Ausbringung“ die zeitaufwendigsten Verfahrensschritte.

### 3.5.3 Verfahrenskosten

Schlepper- sowie Maschinenstunden wurden anhand der Datensätze der KTBL-Datenbank **MaKost** (fixe Kosten sowie variable Kosten) ermittelt und wurden in Tab.3.2.6 zusammengestellt. Hierbei wurden mit den Standardkostensätzen des KTBL gerechnet, die auf Erfahrungswerten der landwirtschaftlichen Praxis beruhen.

Ebenso wie bei dem Arbeitszeitbedarf ergibt sich aus der Summe der Verfahrenskosten aus der Summe der Maschinenarbeiten, die sich wiederum aus den Maschinenkosten sowie den Schlepperkosten ergeben. Die Maschinenkosten ergeben sich aus der Summe der variablen sowie aus den fixen Kosten der jeweiligen Arbeitsschritte. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass für jede Maschine eine Auslastungsschwelle unterstellt wurden, die somit als Kalkulationsgrundlage dient; da die jeweiligen Auslastungswerte nicht je Einzelbetrieb ermittelt werden konnten, wurden mit den Standardannahmen gerechnet, die in der KTBL-Datenbank hinterlegt sind.

Um eine Vergleichbarkeit der Kostenberechnung zwischen den viehhaltenden und den viehlos wirtschaftenden Betrieben zu ermöglichen, wurden in den Verfahrenskosten sowohl die Kosten für die Bereitstellung des Input-Materials als auch die Kosten für die Ausbringung des Komposts durchgängig für alle Betriebe mit einbezogen. Dies ist insofern erwähnenswert, da die viehhaltenden Betriebe auch ohne Kompostierung für die Zwischenlagerung sowie für die Ausbringung ihres Mists zutragen hätten. Um diese Differenzierung bei den Verfahrenskosten zu berücksichtigen, wurden in Tab. 3.6.3 die Verfahrenskosten auch in der Variante „ohne Mistladen; ohne Ausbringung“ jeweils getrennt dargestellt. In Abgrenzung dazu wurden jedoch – wie oben genannt – jeweils die gesamten Verfahrenskosten für die weitere Ergebnisdarstellung verwendet.

Tabelle 3.5.2 Verfahrenskosten der Arbeitsgänge anhand der KTBL-Datenbank MaKost

<b>MaKost - Maschinen- und Reparaturkosten (KTBL) für VELKO (Stand 20. März 2024)</b>	<b>Einheit</b>	<b>Gesamtkosten</b>		<b>Summe fixe Kosten</b>		<b>Summe variable Kosten</b>	
		<b>€/a</b>	<b>€/Einheit</b>	<b>€/a</b>	<b>€/Einheit</b>	<b>€/a</b>	<b>€/Einheit</b>
Standardtraktor, Allradantrieb, Schaltgetriebe, 40 km/h, 67 (60-74) kW	<b>h</b>	15.461	18,56	4.845	5,82	10.617	<b>12,74</b>
Standardtraktor, Allradantrieb, stufenloses Getriebe, 40 km/h, 102 (93-111) kW	<b>h</b>	26.552	31,86	11.952	14,34	14.600	<b>17,52</b>
Standardtraktor, Allradantrieb, stufenloses Getriebe, 40 km/h, 120 (112-129) kW	<b>h</b>	30.193	36,23	13.360	16,03	16.833	<b>20,20</b>
Standardtraktor, Allradantrieb, stufenloses Getriebe, 40 km/h, 138 (130-147) kW	<b>h</b>	33.834	40,60	14.767	17,72	19.067	<b>22,88</b>
Traktorfrontlader, vollhydraulisch, 2400 daN; für 75-100 kW	<b>h</b>	838	4,03	630	3,03	208	<b>1,00</b>
Dreiecksmietenumsetzer, angehängt, 25 km/h, Heckablage, 500 m³/h	<b>h</b>	8.204	12,30	5.404	8,10	2.800	<b>4,20</b>
Festmiststreuer, 40 km/h, Tandemachse 18 t (11,4 t), 6-22 m	<b>t</b>	7.449	1,17	4.897	0,77	2.552	<b>0,40</b>
Kreiselschwader, aufgesattelt, 2 Kreisel, Seitenablage, 7,0 m	<b>ha</b>	4.405	5,37	2.519	3,07	1.886	<b>2,30</b>
Ladewagen, 40 km/h, ohne Dosierwalzen, Tandemachse, 35 m³ DIN	<b>t</b>	11.475	3,28	10.600	3,03	875	<b>0,25</b>
Rotationsmähwerk, Front (3,1 m) und angebaut im Heck, (3,1 m) = 6,2 m AB	<b>ha</b>	4.850	11,26	3.149	7,31	1.702	<b>3,95</b>
Überladewagen. 40 km/h, Einzelachse, 19 m³	<b>t</b>	5.759	1,15	4.759	0,95	1.000	<b>0,20</b>
Vakuumtankfass (5 m³)	<b>m³</b>	3.232	0,80	2.032	0,50	1.200	<b>0,30</b>
Holzacker, Zapfwellenantrieb, 25 m³/h	<b>h</b>	5.548	18,49	3.748	12,49	1.800	<b>6,00</b>

Quelle KTBL (2024): <https://daten.ktbl.de/makost/#search?language=de-DE>

### 3.5.4 Verfahrenskosten

Die Verfahrenskosten der einzelnen Betriebe sind im Anhang 9.7 in den Tabellen 9.7.6 bis 9.7.10 dargestellt; diese Einzelergebnisse werden in der nachfolgende Tabelle 3.6.3 im Überblick zusammengefasst. Dabei ist anzumerken, dass die genannten Durchschnittswerte auf einer Grundgesamtheit von fünf Betrieben beruhen, so dass die hier genannten Durchschnittswerte nur unter Vorbehalt auf andere Betriebe übertragen werden können. Vielmehr wird mit dieser Zusammenstellung lediglich ein Überblick über die ermittelten Betriebsergebnisse vorgenommen.

Tabelle 3.5.3 Zusammenstellung ermittelte Arbeitszeit und Verfahrenskosten der Feldrandmietenkompostierung

Feldrandmietenkompostierung	Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)	Arbeitszeit je Arbeitsgang			Summe der Kosten (variable + fixe)			
		min.	max.	Ø (n = 5)	min.	max.	Ø	
	Materialbereitstellung (Mist)	h	4,5	15,0	8,0	208 €	864 €	526 €
	Materialbereitstellung Pflanzenaufwuchs	h	2,3	2,3	2,3	154 €	154 €	154 €
	Mischen + Aufsetzen	h	1,5	3,0	2,0	54 €	108 €	72 €
	Kompostieren	h	2,5	2,5	2,5	113 €	113 €	113 €
	Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	h	1,0	1,0	1,0	68 €	68 €	68 €
	allgemeiner Aufwand (Logistik)	h	2,0	15,0	6,1	----	----	----
	Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	h	0,5	3,5	1,7	----	----	----
	Bewässern	h	2,2	4,8	3,3	34 €	172 €	105 €
	Kompost laden + ausbringen	h	4,8	5,7	5,4	383 €	449 €	412 €
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>	h	<b>15,1</b>	<b>36,8</b>	<b>23,3</b>	je 100 m Miete (Input)		
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>	h	<b>21,9</b>	<b>57,2</b>	<b>34,7</b>	je 100 m Miete (Input)		
	<b>Variable Kosten gesamt (ohne Mistladen, ohne Ausbringen)</b>		<b>269 €</b>	<b>508 €</b>	<b>382 €</b>	je 100 m Miete (Input)		
	<b>Variable Kosten gesamt (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>		<b>872 €</b>	<b>1.754 €</b>	<b>1.202 €</b>	je 100 m Miete (Input)		
	<b>Variable Kosten je m<sup>3</sup> Kompost (ohne Mistladen)</b>		<b>0,97 €</b>	<b>2,49 €</b>	<b>1,66 €</b>	je m <sup>3</sup> Kompost (Output)		
	<b>Variable Kosten je m<sup>3</sup> Kompost (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>		<b>3,13 €</b>	<b>8,60 €</b>	<b>5,22 €</b>	je m <sup>3</sup> Kompost (Output)		
	* Volumen am Anfang der Kompostierung (l):	422	m <sup>3</sup>					
	** Volumen am Ende der Kompostierung (m <sup>3</sup> ):	237	m <sup>3</sup>					

Im günstigsten Fall ergaben sich – bei einer allerdings recht extensiven Vorgehensweise – Verfahrenskosten in Höhe von 872 €/100m-Miete ermittelt; im ungünstigsten Fall ergaben sich Verfahrenskosten in Höhe von 1.754 €/100m-Miete, wobei dieser erhöhte Aufwand mit einer besseren Kompostqualität einherging.

Im Durchschnitt betragen die Verfahrenskosten **1.202 €/100m-Miete**.

Diese Angaben beziehen sich auf die Miete mit einem Ausgangsvolumen von ca. 422 m<sup>3</sup> (Schwankungsbreite 400 m<sup>3</sup> bis 480 m<sup>3</sup>). Um die Kosten für die landwirtschaftliche Kompostierung mit den

Kosten für den Zukauf betriebsfremdem Kompost vergleichen zu können, ist eine Umrechnung der Verfahrenskosten auf das verbleibende Endvolumen des fertigen Kompostes erforderlich.

[Anmerkung: Um einen Vergleich betriebseigener Komposte mit Zukaufkomposten vornehmen zu können, wäre es auch erforderlich in diesen Vergleich die unterschiedlichen Nähr- und Inhaltsstoffe mit einzubeziehen. Da jedoch für die Region – zumindest derzeit - keine entsprechenden Grün-gutkomposte angeboten werde, die auch den Qualitätsanforderungen der Bioverbände Bio-land/Naturland genügen, konnte somit keine entsprechende Vergleichsbetrachtung vorgenom-men werden.

Bei einem Endvolumen von ca. 237 m<sup>3</sup>/100m<sub>Miete</sub> errechnen sich folgende Kosten je m<sup>3</sup> Kom-post:

Im günstigsten Fall betragen – bei einer allerdings recht extensiven Vorgehensweise – Verfahrenskosten 3,13 €/m<sup>3</sup>; im ungünstigsten Fall wurden Verfahrenskosten in Höhe von 8,60 €/m<sup>3</sup> berech-net, wobei auch hier zu beachten ist, dass tendenziell bei einem erhöhten Aufwand bessere Pro-duktsqualitäten festzustellen waren.

Im Durchschnitt betragen die Verfahrenskosten **5,22 €/m<sup>3</sup> Kompost**.

Umgerechnet über ein mittleres Volumengewicht von 388 g je Liter (siehe Tab. 3.3.1b) errechnen sich durchschnittliche Verfahrenskosten in Höhe von **13,45 €/t Kompost**.

#### Zur Maschinenauslastung (Umsetzer)

Bei der Bewertung der Verfahrenskosten ist zu beachten, dass bei den fixen Kosten der Maschinen eine jährliche Auslastungsschwelle bei den KTBL-Angaben unterstellt ist. Während bei Standard-maschinen (wie Schlepper, Erntemaschinen, Transportfahrzeiten, ...) bei den Betrieben in aller Regel eine Auslastung erreicht werden kann, besteht jedoch bei dem Umsetzer als Spezialmaschi-ne das Problem der ausreichenden Auslastung, da bei der vorausgegangenen Kalkulation ein jähr-licher Arbeitsumfang von 662 h unterstellt wurde.

Eine solche Auslastung ist – wenn überhaupt – lediglich im überbetrieblichen Einsatz der Maschine zu erreichen, da ansonsten deutlich höhere Kosten für den Maschineneinsatz kalkuliert werden müssen.

#### Vergleichsrechnung zu den Festkosten des Umsetzers

Würde ein Betrieb in der Größenordnung der Untersuchungsbetriebe alleine einen Umsetzer be-sitzen und ausschließlich auf seinem Betrieb einsetzen, so ergäben sich bei Annahme von 10 Mie-ten á 100m bei einem 4-maligen Umsetzen á 45 Minuten/Miete eine Jahresauslastung von ledig-lich **30** Stunden (2.200 m<sup>3</sup> p.a.).

<b>Auslastung des Umsetzers</b>	bei <b>662</b> Stunden p.a.	bei <b>30</b> Stunden p.a.
Festkosten Umsetzer	<b>8,10 €/h</b>	<b>134,50 €/h</b>
Zusatzkosten p.a.		<b>3.792 €</b>
bzw. Zusatzkosten bei 2.200 m <sup>3</sup> p.a.		<b>+ 1,72 €/m<sup>3</sup></b>
		<b>bzw. + 4,43 €/t</b>

Anhand dieses Beispiels ist nachvollziehbar, dass geringe Kosten je m<sup>3</sup> Kompost nur bei einer sehr guten Auslastung der Spezialtechnik (Umsetzer) erreicht werden kann. Diese Auslastung lässt sich nicht auf der betrieblichen Ebene, sondern nur im überbetrieblichen Einsatz erreichen.

### Fazit

Insgesamt unterliegen die betriebswirtschaftlichen Zahlen zur landwirtschaftlichen Kompostierung, da die zugrundeliegenden Daten in der Praxis erhebliche Schwankungen unterworfen sind. Dies gilt sowohl für die Anzahl der einzelnen Verfahrensschritte als auch hinsichtlich des Auslastungsgrads der auf dem Betrieb vorhandenen Maschinen.

Insbesondere der Kompostwender als Spezialmaschinen bedarf i.d.R. eines überbetrieblichen Einsatzes um die Fixkosten in einem erträglichen Rahmen halten zu können. Somit bedarf es einer sowohl einer Technik, die straßentransporttauglich ist, als auch eines Landwirts bzw. Lohnunternehmers, der diese Technik bzw. Dienstleistung überbetrieblich anbietet.

## 3.6 AP 7 Zusammenfassende Systembeschreibung und Praxisumsetzung

Das zu Projektbeginn formulierte Ziel, eine Beschreibung einer weitgehend standardisierten landwirtschaftlichen Kompostierung vorzulegen, konnte in dieser Form im Rahmen des Projektes nicht geleistet werden. Der wesentliche Grund hierfür ist in der Tatsache begründet, dass je nach den einzusetzenden Input-Materialien ganz unterschiedliche Eingangsvoraussetzungen für eine erfolgreiche landwirtschaftliche Kompostierung bestehen, so dass es keine Standardbeschreibung für die Kompostierung geben kann.

In Abwandlung davon lassen sich jedoch **Grundsätze für eine erfolgreiche Kompostierung** formulieren, die auf andere Betriebe übertragen werden können:

- Einen geeigneten Lagerplatz für die Miete auswählen (Lage, Befahrbarkeit, Beachten umweltrelevanter Bestimmungen).
- Ggf. den Platz so auswählen bzw. anlegen, dass straken Volumenreduktion zwei parallel angelegte Mieten zusammengeschoben werden können.
- Lagerplatz ggf. vorbereiten (einebnen) und bei feuchten Materialien eine „Matratze“ aus saugfähigem und zugleich strukturreichem Material aufbringen.
- Soll Stallmist kompostiert werden, muss dieser zuvor auf der Dunglege vorgerottet sein.
- Stallmist direkt in Mietenform abkippen; weitere Mischungspartner mit Frontlader bzw. Radlader auf Miete aufbringen.
- Mieten nicht zu klein anlegen (Breite ca. 3,0 bis 3,5 m); aber auch nicht zu hoch (i.d.R. < 2,0 m Höhe).
- Zielgrößen für die Miete sind: C:N-Verhältnis 25-30; Feuchte 55-65%; TS-Gehalt > 25%; N-Gehalt 0,6-1,0 % der Frischmasse sowie ein Mindestanteil an Strukturmaterial.

- Für die Zusammensetzung von Mieten aus Pflanzenaufwuchs und anderen Biomassen sind gelten ebenso die vorgenannten Angaben.
- Bei der Bergung frischer pflanzliche Materialien (z.B. Kleegrasaufwuchs, Zwischenfrüchte) sollten keine Messer eingesetzt werden, damit genügend Strukturanteile erhalten werden. Beim Abladen sollte der Ladewagen idealerweise mit Dosierwalzen ausgestattet sein, um eine möglichst homogene Ablagerung der Materials zu erreichen.
- Je nach Feuchtesituation muss bei der Bergung pflanzlicher Materialien darauf geachtet werden, dass je nach Struktur des Materials sowie je nach Witterung die Welkedauer nach der Mahd situationskonform gestaltet wird.
- Nach dem Aufsetzen der Mieten baldmöglichst Mischen des Materials mit einem Umsetzer. Dieser Sollte eine Mindestbreite von 3,5 bis 4,0 m aufweisen, damit die abgekippten Materialien auf aufgenommen werden können.
- Der Umsetzer muss von einem Schlepper gezogen werden, der über ausreichend Motorleistung sowie über ein Kriechgang- bzw. Variogetriebe verfügt.
- Nach dem ersten Umsetzen die Feuchte des Materials mittels Faustprobe bestimmen (siehe Kap. 2.4.3.2). Zudem auf eine guten Mietenstruktur achten.
- Falls die Miete zu trocken ist, soll bzw. muss die Miete bewässert werden. Hierzu muss der Landwirt die entsprechende Technik vorhalten. Soll während des Umsetzens Wasser über den Umsetzer eingesprüht werden, muss ein entsprechend großer Wassertank vorhanden sein, im dem Umsetzungsvorgang nicht unnötig unterbrechen zu müssen.
- Das Wassermanagement über ein flexibles Auf- und Abdecken der Mieten zu betreiben, hat sich in dem Projekt als wenig praktikabel erwiesen, da über den Niederschlag zu geringe Wassermengen in die Miete eindringen.
- Den Temperaturverlauf der Miete über Thermometer kontrollieren; stets an mehreren Stellen der Miete einstechen.
- Abdeckung der Miete erst nach der Heißphase der Miete vornehmen (zu Rottebeginn und ggf. nach dem 1./2. Umsetzen)
- Beim Abdecken darauf achten, dass das Kompostvlies ausreichend breit ist, damit auch die Mietenränder stets abgedeckt sind.
- Die Abdeckung muss gut fixiert sein und soll gelegentlich kontrolliert werden.
- Keine durchgehend unabgedeckten Mieten zulassen.
- Je nach Kompostierungsverlauf muss die Miete 3 bis 5mal gewendet werden.
- In keinem Fall darf die maximale Lagedauer von 6 Monate überschritten werden.
- Den Mietenplatz nach der Kompostierung auflockern und einsäen (Kultur mit hohem N-Bedarf)
- Den Mietenplatz nach der Räumung kontinuierlich wechseln; die Mietenplätze dokumentieren (wann hat wo welche Miete gelegen?).
- In regelmäßigen Abständen Analysen der Inputmaterialien sowie des Outputmaterials (= Kompost) vornehmen, die vorgenannten Arbeitsschritte zu verifizieren.

## 3.7 AP 8 Wissenstransfer/Veröffentlichungen

### 3.7.1 Wissenstransfer/Veröffentlichungen

Ein wesentlicher Beitrag des Projekts VELKO bestand darin, an einer Veröffentlichung des KTBL zum Thema „Kompostierung im landwirtschaftlichen Betrieb“ mitzuwirken, die in der zweiten Jahreshälfte 2024 veröffentlicht werden soll:

**KTBL (2024):** Kompostierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), in Vorbereitung.

Neben der Verfahrensbeschreibung und dem Bereitstellen von Praxisdaten, wurden im Rahmen dieser Veröffentlichung insbesondere der Rechtsrahmen für die landwirtschaftliche Kompostierung von Schultheis, U. (2024) und U. Zerger, U. (2024) beschrieben; siehe nachfolgendes Kapitel 3.8.2.

Diese Darstellung ist als Nebenergebnis des Projektes VELKO zu verstehen, da der Projektleiter U. Zerger Leiter der KTBL-Arbeitsgruppe „Landwirtschaftliche Kompostierung“ war, so dass zahlreiche Projekterkenntnisse aus VELKO in diese Veröffentlichung mit eingeflossen sind.

### 3.7.2 Beschreibung der rechtlichen Regelungen der landwirtschaftlichen Kompostierung

Im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Kompostierung stellen sich aus Sicht des Landwirts oder der Landwirtin drei wesentliche Fragen:

1. Welche Stoffe dürfen bei einer landwirtschaftlichen Kompostierung eingesetzt werden?
2. Welche Anforderungen sind für die Kompostierungsfläche und den Lagerplatz zu beachten?
3. Welche Regelungen bestehen bei der Kompostausbringung?

Nachfolgend werden die in Deutschland geltenden Regelungen dargestellt:

#### 3.7.2.1 Welche Stoffe dürfen bei einer landwirtschaftlichen Kompostierung eingesetzt werden?

Zunächst ist zu klären, ob es sich bei den zu kompostierenden Stoffen um Abfälle oder um tierische Nebenprodukte handelt. Besondere Regelungen gelten für Bioabfälle. Diese Fragestellung wird in erster Linie durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) sowie durch die Bioabfallverordnung (BioAbfV) geregelt.

#### **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)**

Das Gesetz soll die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen fördern und regelt u. a. den Umgang mit Abfällen. Für die landwirtschaftliche Kompostierung ist zu bewerten, ob es sich bei den eingesetzten Ausgangsstoffen um einen Abfall handelt oder nicht. Abfälle sind Stoffe, derer sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder muss (§ 3 Abs. 1).

Bioabfälle sind definiert als biologisch abbaubare pflanzliche, tierische oder aus Pilzmaterialien bestehende Garten- und Parkabfälle, Landschaftspflegeabfälle, Nahrungs- und Küchenabfälle (...)

und mit diesen Abfällen vergleichbare Stoffe (§ 3 Abs. 7). Sofern diese Stoffe für eine Kompostierung eingesetzt werden, sind die Vorgaben des KrWG zu beachten.

Ausgenommen vom Geltungsbereich der Verordnung sind tierische Nebenprodukte (§ 2 Abs. 2), zu denen gemäß Verordnung (EG) 1069/2009 Art. 9 und dem damit verbundenen Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG) Exkrememente mit oder ohne Einstreu gehören, z. B. Gülle, Stallmist, und natürliche nicht gefährliche land- und forstwirtschaftliche Materialien, sofern weder die Umwelt geschädigt noch die menschliche Gesundheit gefährdet werden (§ 2 Abs. 4).

Nach diesen Definitionen sind die meisten Stoffe, die als (Neben-) Produkt in der Landwirtschaft anfallen und als Ausgangsstoff zur landwirtschaftlichen Kompostierung dienen, nicht als Abfall nach dem KrWG einzustufen, d. h. es gelten keine abfallrechtlichen Anforderungen (z. B. BioAbfV).

### **Bioabfallverordnung (BioAbfV) - Bezug Substrate**

Die Verordnung gilt für Bioabfälle und Gemische, die zur Verwertung auf Böden aufgebracht, in Böden eingebracht oder zu einem dieser Zwecke abgegeben werden sowie die Behandlung und Untersuchung solcher Bioabfälle und Gemische (§ 1 Abs. 1). Ausgenommen ist die Eigenverwertung von Bioabfällen pflanzlicher Herkunft, mit Ausnahme der Aufbringung auf forstwirtschaftliche Flächen, wenn die Verwertung unter Beachtung bestimmter Vorgaben (§§ 6 bis 8; vgl. Kap. 3.3.1) auf selbst bewirtschafteten Betriebsflächen gewährleistet ist (§ 1 Abs. 3 Nr. 2).

Als Eigenverwertung (§ 2 Abs. 6) gilt die Aufbringung der auf selbst bewirtschafteten Betriebsflächen angefallenen pflanzlichen Bioabfälle auf selbst bewirtschaftete Betriebsflächen. Darunter fallen auch pflanzliche Bioabfälle, die bei gärtnerischen Dienstleistungen auf Fremdf Flächen anfallen, insofern diese auf selbst bewirtschafteten Flächen des Dienstleistungsbetriebs aufgebracht werden und des Weiteren wenn innerhalb von Erzeugergemeinschaften pflanzliche Bioabfälle (Wein-, Obst-, Gemüseanbau) anteilig zurückgenommen werden und auf den selbst bewirtschafteten Betriebsflächen aufgebracht werden, soweit die pflanzlichen Ausgangserzeugnisse auf Betriebsflächen von Mitgliedern des jeweiligen Erzeugerzusammenschlusses erzeugt wurden.

### **3.7.2.2 Welche baulich-technische Anforderungen werden an eine landwirtschaftliche Kompostierung gestellt?**

#### **Feldrandkompostierung**

Die Feldrandkompostierung ist die am meisten verbreitete Form der landwirtschaftlichen Kompostierung, da sie im Vergleich zur Kompostierung auf einer befestigten Fläche kostengünstiger ist. Sie wird am Feldrand auf eigenen Flächen durchgeführt und die Bereitstellung erfolgt nahe der Fläche, auf die später der Kompost aufgebracht werden soll. Die Kompostierung findet i. d. R ohne eine Untergrundbefestigung auf offenem Boden statt.

Bei der Feldrandkompostierung ist darauf zu achten, dass eine Dauer von sechs Monaten nicht überschritten wird, da es sich sonst nach Vorgaben der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (§ 2 Abs. 9 Nr. 2 AwSV) um eine Anlage handelt, für die weitergehende Anforderungen gelten (siehe 3.2.5). Generell dürfen Stoffe nur so gelagert oder abgelagert werden, dass keine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit zu besorgen ist und keine schädlichen Gewässerverunreinigungen, z. B. aufgrund von Sickerwasseranfall, eintreten (§ 32 Abs. 2, § 48 Abs. 2 WHG; § 4 AgrarZahlVerpflV).

Für die Feldrandkompostierung gibt es außer der Lagerungsdauer keine speziellen baulichen Anforderungen. Für die zwischenzeitliche Lagerung (unter sechs Monaten) von Festmist und Silage auf landwirtschaftlichen Flächen wurden wasserwirtschaftliche Anforderungen und Empfehlungen veröffentlicht (KTBL 2011, LAWA 2019), die z. T. von zuständigen Behörden verschiedener Bundesländer für Kompost herangezogen werden. Das Merkblatt der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2019) beschreibt, dass Silagesickersäfte, Jauche oder durch diese Stoffe verunreinigtes Niederschlagswasser nicht

- aus dem Lagergut austreten darf, sodass schädliche Bodenveränderungen oder eine Verlagerung in das Grundwasser zu besorgen sind oder
- in ein oberirdisches Gewässer gelangen darf, d. h. die Trockenmassegehalte sollten so hoch sein, dass keine Sickersäfte austreten.

In Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten, auf staunassen Flächen, in wasserwirtschaftlich besonders sensiblen Gebieten, bei hohem Grundwasserstand und auf wassererosionsgefährdeten Flächen ist die Feldrandlagerung ausgeschlossen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche ist bei wiederholten Lagerungen nach spätestens nach einem Jahr zu wechseln, der gleiche Lagerplatz sollte innerhalb von fünf Jahren nicht erneut genutzt werden. Die Lagerung ist nur auf tonigen oder lehmigen Böden zulässig, auf stark durchlässigen Böden, z. B. bei Sandböden, ist eine Unterflursicherung vorzunehmen. Auf hängigen Flächen ist das oberflächige Abfließen von Silagesickerwasser zu verhindern. Mindestabstände von 50 m zu oberirdischen Gewässern und Vorflutgräben sowie 100 m zu Brunnen zur Trinkwassergewinnung werden empfohlen.

Tabelle 3.7.1 Definition Feldrandkompostierung vs Anlage

	<b>Feldrandkompostierung</b>	<b>Anlagen</b>
<b>Durchführung</b>	nicht ortsfest, d. h. wechselnde Flächen	ortsfest / ortsfest genutzt
<b>Zeitdauer</b>	weniger als 6 Monate	über oder mehr als ab 6 Monaten
<b>Geltende Vorgaben</b>	Empfehlungen zum Lagerplatz und zur Bereitstellung	AwSV
<b>Bauliche Anforderungen</b>	keine	Anlagen müssen so beschaffen sein und betrieben werden, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können und mit einem Leckageerkennungssystem ausgerüstet sein (vgl. Anlage 7 AwSV, Kap. 3.2.5)

### **Landwirtschaftliche Kompostierung auf einer befestigten Platte**

Für eine regelmäßige Kompostierung sollte eine feste Platte oder eine ortsfeste Anlage vorhanden sein mit entsprechendem Auffangen von entstehenden Flüssigkeiten, um einem schädlichen Eintrag von Nährstoffen in Gewässer vorzubeugen. Bei Anlagen auf denen gehäckselt wird und/oder mit einem Überschreiten bestimmter Lagermengen an Inputmaterialien oder Kompost ab 100 t besteht eine Genehmigungspflicht nach BImSchV; dasselbe gilt für Verarbeitungsmengen der Anlage, die täglich 10 t überschreiten, kleinere Anlagen (< 10 t/Tag) sind nicht nach BImSchV genehmigungspflichtig, sofern nicht die beiden anderen o.g. Kriterien zutreffen. Sie unterliegen aber – je nach Bundesland - dem Baurecht. Letzteres gilt z.B. für Rheinland-Pfalz, jedoch nicht für Hessen.

Die Platte muss baurechtlich zugelassen sein (vgl. AwSV). Hier sollte eine Baubeschreibung bei der Bauaufsichtsbehörde eingereicht werden. Dies gilt auch, wenn für eine Platte bereits eine Genehmigung vorliegt (z. B. Silagebereitung) und geklärt werden soll, ob sich eine weitere Genehmigungserfordernis ergibt oder ob die vorliegende Genehmigung die geplante Tätigkeit (hier: Kompostierung) abdeckt.

**Die beschriebenen baulich-technischen Anforderungen werden mit den im Folgenden dargestellten gesetzlichen Regelungen begründet:**

#### **Agrarzahlungsverpflichtungsverordnung (AgrarZahlVerpflV)**

Diese Verordnung regelt die Anforderungen an die Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand. Festmist und Silage dürfen auf landwirtschaftlichen Flächen nur gelagert werden, wenn keine nachteilige Grundwasserveränderung durch das Austreten von Sickersäften zu besorgen ist (§ 4 Abs. 5 und 6). Festmist darf zudem für maximal 6 Monate auf einer nicht ortsfesten Anlage gelagert werden, der Lagerplatz ist jährlich zu wechseln.

Zur Erhaltung des guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustands sind die Vorgaben von Wasserschutzgebietsverordnungen und behördlichen Anordnungen einzuhalten (§ 52 Abs. 1 bis 3 des Wasserhaushaltsgesetzes), soweit sie die Lagerung von Silage und Festmist außerhalb von ortsfesten Anlagen betreffen. Kompost wird in der Verordnung nicht explizit geregelt.

#### **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)**

Zweck dieses Gesetzes ist es, die Gewässer als Bestandteil des Naturhaushalts, als Lebensgrundlage des Menschen, als Lebensraum für Tiere und Pflanzen sowie als nutzbares Gut zu schützen. Stoffe sollen nur so gelagert oder abgelagert werden, dass eine nachteilige Veränderung der Wasserbeschaffenheit von Oberflächen- und Grundwasser nicht zu besorgen ist (§ 32 Abs. 2, § 48 Abs. 2). Gemäß WHG sowie nach der AwSV (siehe Kap. 3.2.5) sind für Anlagen, die jenen Vorschriften unterliegen, verschiedene Anforderungen zu beachten. Anlagen zum Lagern, Abfüllen, Herstellen und Behandeln wassergefährdender Stoffe dürfen keine nachteilige Veränderung der Eigenschaften von Gewässern nach sich ziehen (§ 62 Abs. 1). Anlagen gelten als ortsfest oder ortsfest benutzt und unterliegen damit der Verordnung, wenn sie länger als ein halbes Jahr an einem Ort zu einem bestimmten betrieblichen Zweck betrieben werden (§ 2 Abs. 9 AwSV).

#### **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)**

Diese Verordnung dient dem Schutz der Gewässer vor nachteiligen Veränderungen durch Freisetzungen von wassergefährdenden Stoffen aus Anlagen zum Umgang mit diesen Stoffen. In der

AwSV wird eine Einstufung von Wirtschaftsdüngemitteln, zu denen auch Kompost zählt (§ 2 Nr. 2 DüngG), als allgemein wassergefährdender Stoff vorgenommen (§ 3 Abs. 2).

Die Verordnung definiert den Begriff Anlagen. Als ortsfest gelten Einheiten, wenn sie länger als ein halbes Jahr an einem Ort zu einem bestimmten betrieblichen Zweck betrieben werden (§ 2 Abs. 9). Die AwSV findet keine Anwendung auf nicht ortsfesten Anlagen, in denen mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wird (§ 1 Abs. 2). Darunter fällt auch die Feldrandlagerung von Kompost, wenn weniger als sechs Monate auf derselben Fläche kompostiert wird.

Besondere Anforderungen gibt es für Jauche-, Gülle- und Silagesickersaftanlagen (JGS-Anlagen, Anlage 7), zu denen nach § 2 Abs. 13 auch andere Wirtschaftsdünger wie Festmist und nach § 2 Nr. 2 DüngG auch Komposte zählen. Kompostanlagen sind nicht explizit in der AwSV aufgeführt, aber aufgrund der Vergleichbarkeit der eingesetzten Materialien zu Festmist und Silage werden die Anforderungen zur Lagerung für eine solche Anlage (Anlage 7 Nr. 4) von zuständigen Behörden herangezogen.

Zu den allgemeinen Anforderungen (Anlage 7 Nr. 2) gehört, dass für die verwendeten Bauprodukte, Bauarten oder Bausätze Verwendbarkeitsnachweise unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Anforderungen vorliegen müssen. Zudem müssen die Anlagen die Anforderung erfüllen, dass keine wassergefährdenden Stoffe austreten können. JGS-Anlagen müssen flüssigkeitsundurchlässig, standsicher und gegen zu erwartende mechanische, thermische und chemische Einflüsse widerstandsfähig sein. Ab einem Volumen von > 1000 m<sup>3</sup> Lagerkapazität ist ein Fachbetrieb zum Errichten und Instandsetzen zu beauftragen. Generell sind Behälter aus Holz unzulässig. Die Anlage ist seitlich einzufassen und gegen das seitliche Eindringen von abfließendem Niederschlagswasser aus dem umgebenen Gelände zu schützen. Des Weiteren muss anfallender Sickersaft oder verunreinigter Niederschlag aufgefangen und sachgerecht verwendet, z. B. im Rahmen der guten fachlichen Praxis der Düngung, oder entsorgt werden (Anlage 7 Nr. 4).

### **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft**

Wird eine landwirtschaftliche Kompostierung auf einer befestigten Platte (= Anlage) durchgeführt, ist die Bauherrschaft verantwortlich für die Einhaltung der öffentlich-rechtlichen Belange. Hierzu zählen auch emissionsschutzrechtliche Aspekte, wie z. B. Geruchsemissionen (TA Luft 2021, Anhang 7). Je nach Bauordnung der Länder sind die Größengrenzen, ab denen ein Vorhaben genehmigungsfrei ist, unterschiedlich. Deshalb empfiehlt es sich, Kontakt mit der Genehmigungsbehörde vor Ort aufzunehmen.

Für Feldrandkompostierung wird empfohlen, einen ausreichenden Abstand zur Wohnbebauung einzuhalten werden, um Geruchsbelastungen aus Komposten, die teilweise anaerobe Verhältnisse aufweisen, zu vermeiden. Wird die Kompostierung am Feldrand unter aeroben Bedingungen sachgerecht als Dreiecksmiete (max. 2,5 m Mietenhöhe) durchgeführt, sind i. d. R. nur geringe Geruchsemissionen zu erwarten.

### 3.7.2.3 Was ist bei der Ausbringung von Kompost aus landwirtschaftlicher Kompostierung zu beachten?

#### **Bioabfallverordnung (BioAbfV) - Bezug Kompostausbringung**

Unter Beachtung düngemittelrechtlicher Regelungen dürfen auf Böden innerhalb von drei Jahren nicht mehr als 20 t/ha TM Bioabfälle oder Gemische alle drei Jahre aufgebracht werden (§ 6 Abs. 1). Die zulässige Aufbringungsmenge kann bis zu 30 t/ha TM innerhalb von drei Jahren betragen, wenn die gemessenen Schwermetallgehalte die festgelegten Grenzwerte (§ 4 Abs. 3 Satz 2) nicht überschreiten.

Auf Grünlandflächen und mehrschnittigen Feldfutterflächen dürfen nur ausgewählte Bioabfälle und Gemische aufgebracht werden (Anhang 1 Nr. 1 Spalte 3 und Nr. 2 Spalte 3). Im Übrigen dürfen Bioabfälle und Gemische auf Feldfutterflächen aufgebracht werden, wenn diese vor dem Anbau des Feldfutters aufgebracht und in den Boden eingearbeitet werden (§ 7 Abs. 1, 2).

Werden Bioabfälle tierischer Herkunft oder Gemische, die solche Bioabfälle enthalten, auf Grünland- oder auf Feldfutterflächen aufgebracht, darf eine Beweidung durch Nutztiere oder eine Futtermittelgewinnung erst 21 Tage nach der Aufbringung erfolgen (§ 7 Abs. 4).

Innerhalb von drei Jahren ist auf derselben Fläche nur die Aufbringung von Bioabfällen und Gemischen nach dieser Verordnung oder die Aufbringung von Klärschlamm nach der Klärschlammverordnung zulässig (§ 8); dies hat für den ökologischen Landbau aufgrund des Aufbringungsverbot für Klärschlamm keine Bedeutung (vgl. Positivliste VO (EU) 2021/1165 (Durchführungsverordnung)).

Bei der landwirtschaftlichen Kompostierung, bei der lediglich betriebseigene landwirtschaftliche Kulturen als Ausgangsstoffe eingesetzt werden und bei der Eigenverwertung gemäß BioAbfV sind die weitreichenden Anforderungen der BioAbfV, u. a. Hygienisierung, Nachweispflichten, Liefercheinverfahren, Kompostaufbringung sowie Anlagenbestimmungen nicht zu erfüllen.

#### **Düngegesetz (DüngG)**

Für die Kompostierung in der Landwirtschaft ist die Definition für Wirtschaftsdüngemittel relevant. Diese beinhaltet neben tierischen Ausscheidungen auch pflanzliche Stoffe im Rahmen der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft, auch in Mischungen oder nach aerober oder anaerober Behandlung (§ 2 Nr. 2). Demnach wird der bei der landwirtschaftlichen Kompostierung produzierte Kompost nach dem DüngG als Wirtschaftsdüngemittel eingestuft.

#### **Düngeverordnung (DüV)**

Die DüV regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die Düngebedarfsermittlung sieht standortbezogene Obergrenzen mit Stickstoffbedarfswerten für verschiedene Kulturen vor. Für die Ermittlung des Düngebedarfs sind die im Boden verfügbaren Stickstoffmengen und die voraussichtliche Stickstoffnachlieferung im Laufe der Vegetation unter dem Einfluss der Standortbedingungen und der Anbaubedingungen (z. B. Vorfrucht, organische Düngung) einzubeziehen. Die Mindestwirksamkeit im Jahr des Aufbringens beträgt für Grünschnittkompost 3 % des Gesamtstickstoffgehaltes und für sonstige Komposte 5 %.

Bei der Ermittlung des Düngebedarfs ist die Nachlieferung von Stickstoff aus der Anwendung von organischen oder organisch-mineralischen Düngemitteln zu den Vorkulturen des Vorjahres als Abschlag zu berücksichtigen, bei der Aufbringung von Kompost beträgt dies für die drei Folgejahre einen jährlichen Abschlag von 4 % im ersten Folgejahr und danach jeweils 3 % der mit dem Kompost aufgebrauchten Menge an Gesamtstickstoff (§ 6 Abs. 4 Satz 2).

Die maximale jährliche N-Obergrenze von 170 kg/ha Gesamtstickstoff bezogen auf den Betriebsdurchschnitt gilt für den Einsatz von Gülle, Jauche und Stallmist sowie für Gärrückstände, Kompost, Klärschlamm, d. h. alle organische und organisch-mineralischen Düngemittel (§ 6 Abs. 4). Wird ausschließlich Kompost zur Düngung eingesetzt, so darf innerhalb von drei Jahren eine Menge von 510 kg/ha Gesamt-N ausgebracht werden, eine Einarbeitung ist nicht vorgeschrieben.

Viele der Regelungen in der DüV betreffen die Aufbringungen wesentlicher Nährstoffmengen - > 50 kg/ha Gesamtstickstoff oder 30 kg Phosphat ( $P_2O_5$ ) jährlich - und wesentlicher Nährstoffgehalte > 1,5 % Gesamtstickstoff oder >0,5 % Phosphat in der Trockenmasse.

Komposte gelten i. d. R. als organische Düngemittel, da sie meist mehr als 1,5 % Stickstoff oder mehr als 0,5 %  $P_2O_5$  in der Trockenmasse enthalten und damit nicht als Bodenhilfsstoffe deklariert werden dürfen (§ 4 Abs. 3 DüMV). Bei reinem Pilzsubstrat (Champost) ohne Vermischungen mit anderen Stoffen handelt es sich aufgrund der Nährstoffgehalte und -zusammensetzung grundsätzlich um Kompost i. S. d. der DüV. Demgegenüber sind Rindenmulch oder ein grob abgeseibter Kompost, deren Nährstoffgehalte unter 1,5 % Stickstoff oder unter 0,5 %  $P_2O_5$  in der Trockenmasse liegen, den Bodenhilfsstoffen zuzurechnen (§ 4 Abs. 3 Nr. 1 DüMV). Auf das Produkt bezogene Anwendungsempfehlungen dürfen, bezogen auf eine einmalige Anwendung, allerdings maximal zu einer Aufbringung von 50 kg N/ha oder 30 kg  $P_2O_5$ /ha führen (§ 4 Abs. 3 Nr. 2 DüMV).

Das Aufbringen von stickstoff- oder phosphathaltigen Düngemitteln ist untersagt, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist. Zur Vermeidung direkter Einträge oder Abschwemmungen von Düngemitteln in Oberflächengewässer sind verschiedene Abstände zu diesen Gewässern sowie Einarbeitungsregeln einzuhalten (§ 5 Abs. 1 bis 3). Innerhalb von einem Meter zur Böschungsoberkante eines oberirdischen Gewässers ist das Aufbringen gänzlich verboten. Weitere Einschränkungen ergeben sich in Abhängigkeit der Hangneigung.

Für das Aufbringen von Düngemitteln mit einem wesentlichen Gehalt an Stickstoff gibt es zeitliche Beschränkungen (§ 6 Abs. 8 und 9). Die Sperrzeit für das Aufbringen von Festmist von Huf- oder Klautieren oder Kompost auf Ackerland dauert vom 01.12. bis zum 15.01.

Aufgrund dieser zeitlichen Aufbringungsbeschränkungen sowie dem begrenzten Nährstoffbedarf der Kulturpflanzen im Winterhalbjahr ist es notwendig, ausreichend Lagerkapazität vorzuhalten. Für Festmist von Huf- oder Klautieren, feste Gärrückstände und Kompost beträgt die erforderliche Lagerkapazität zwei Monate (§ 12 Abs. 4).

### **Düngemittelverordnung (DüMV)**

Die Verordnung regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln, ausgenommen EG-Düngemittel, sowie von Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln.

Da es sich bei der landwirtschaftlichen Kompostierung um eine Verwertung des Komposts auf betriebseigenen Flächen handelt, ist keine düngemittelrechtliche Kennzeichnung, die für das Inverkehrbringen gilt, erforderlich. Werden Komposte in den Verkehr gebracht, sind neben der Kennzeichnung auch die Regelungen und Grenzwerte der DüMV einzuhalten.

### **Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)**

Für verpflichtete Betriebe ist jährlich eine betriebliche Stoffstrombilanz zu erstellen, die die Zufuhr von z. B. Nährstoffen in Pflanzenaufwüchsen oder Festmist – bezogen von Dritten - sowie die Zufuhr und die Abgabe von Nährstoffen in Komposten berücksichtigen muss, sofern Kompost nicht ausschließlich innerbetrieblich genutzt wird.

#### **3.7.2.4 Zusammenfassung**

Sollen betriebsfremde Stoffe, wie kommunaler Heckenschnitt oder pflanzliche Bioabfälle (Wein-, Obst-, Gemüseanbau), bei der landwirtschaftlichen Kompostierung eingesetzt werden, ist zu prüfen, ob es sich dabei um eine Eigenverwertung gemäß BioAbfV handelt oder ob diese betriebsfremden Ausgangsstoffe nach KrWG und BioAbfV als Abfälle eingestuft werden müssen und somit dem Abfallrecht unterliegen; für die Aufbringung gelten die düngerechtlichen Vorgaben.

Ein wichtiger Aspekt ist der Ort der Kompostierung, also Feldrandkompostierung mit Lagerung unter sechs Monaten oder ortsfeste Anlage mit entsprechenden baulichen Anforderungen gemäß AwSV. Wenn die Kompostierung auf einer wechselnden Fläche vorgenommen wird und die Lagerdauer unter sechs Monaten liegt, dann handelt es sich nicht um eine ortsfeste Anlage. Daher sind in diesem Fall die Anforderungen, die an eine solche Anlage gestellt werden, für eine Feldrandmietenkompostierung nicht zutreffend und müssen nicht umgesetzt werden.

Werden bei der landwirtschaftlichen Kompostierung Wirtschaftsdüngemittel oder pflanzliche Kulturen rein oder in Gemischen kompostiert, gilt für die Aufbringung vornehmlich das Düngerecht.

*Quelle: Schultheis, U., U. Zerger et al. (2024); ergänzt durch R. Gottschall (2024)*

### 3.7.3 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Die zu Projektbeginn genannten Zielsetzungen des EIP-Förderaufrufs waren:

1. Lösungsansätze für eine nachhaltige, ressourcen-, klima- und umweltschonende sowie tiergerechte Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft entwickeln.
2. Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Eindämmung des Klimawandels und zur Anpassung an seine Folgen.
3. Verbesserung der wirtschaftlichen Rentabilität für die Primärerzeuger und Stärkung der Akteure entlang regionaler Wertschöpfungsketten in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft.

Zusammenfassend kann für das EIP-Projekt VELKO festgestellt werden:

Zu 1.: Die landwirtschaftliche Kompostierung bietet die Möglichkeit landwirtschaftliche Materialien zu kompostieren, ohne dass damit eine relevante Klima- oder Umweltbelastung verbunden wäre. Vielmehr überwiegen die positiven Effekte in Bezug auf eine ressourcen-, klima- und umweltschonende Landwirtschaft. Zudem wirkt die landwirtschaftliche Kompostierung als Türöffner für die vermehrte Umstellung auf ökologischen Landbau, da die Betriebe dadurch über verbesserte Möglichkeiten zum Bodenaufbau und zur Pflanzenernährung verfügen. Somit ist die vermehrte Umstellung auf Ökolandbau in Rheinland-Pfalz mit zahlreichen positiven Umwelt- und Ernährungseffekten verbunden.

Zu 2.: Der Aufbau der Humusgehalte auf landwirtschaftlichen Böden stellt einen Baustein dar, um dem Klimawandel entgegen zu wirken. Allerdings sind diese Effekte bezogen auf den Standort sehr unterschiedlich sowohl in quantitativer Hinsicht als auch hinsichtlich der zeitlichen Veränderungsdynamik.

Zu 3.: Hierzu sei an dieser Stelle auf den nachfolgenden Abschnitt verwiesen, der sich u.a. diese Fragestellung aufgreift.

Laut MWVLW (2024) werden folgende förderpolitischen Ziele für die Landwirtschaft benannt:

1. die Einkommen landwirtschaftlicher Unternehmen in Rheinland-Pfalz zu stabilisieren,
2. die Landwirtschaft wettbewerbsfähiger, umwelt- und tiergerechter sowie nachhaltiger und damit existenzfähig für die Zukunft zu machen und
3. die Entwicklung des ländlichen Raumes zu begleiten.

Bezugnehmend auf die Ergebnisse von VELKO konnten diese Ziele wie folgt erreicht bzw. umgesetzt werden:

Zu 1.: Aufgrund der ökonomischen Auswertung bleibt offen, in wieweit die landwirtschaftliche Kompostierung dazu beitragen kann die landwirtschaftlichen Einkommen zu stabilisieren, da zwar die Kosten der Kompostierung ermittelt werden konnten, während der ökonomische Nutzen der Kompostierung im Rahmen von VELKO nicht ermittelt werden konnte. Da der

Einsatz von Kompost dazu beiträgt, die Humusgehalte der Böden zu erhöhen und gleichzeitig Nährstoffe für das Pflanzenwachstum zur Verfügung zu stellen, trägt der Einsatz von Kompost dazu bei, den Zukauf externer Betriebs- und Düngemittel zu reduzieren. Somit bietet der Komposteinsatz die Option auf diesem Weg die landwirtschaftlichen Einkommen zu verbessern. Zu erwähnen sei an dieser Stelle, dass diese Aussage sowohl für die betrieblich hergestellten Komposte als auch im Grundsatz für Zukaufkomposte gilt.

Zu 2.: Neben den voran unter 1. beschriebenen Einkommenseffekten sind mit der landwirtschaftlichen Kompostierung umweltrelevante Aspekte verbunden. Diese sind im Wesentlichen:

- CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte durch den Aufbau von Humus durch den Komposteinsatz
- CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte durch die Reduktion der zugekauften Nährstoffmengen, die ihrerseits durch Herstellung und Transport mit einer CO<sub>2</sub>-Belastung einhergehen.
- Neben die genannten Effekten hinsichtlich Humusgehalte und Nährstoffe steht die Frage im Raum, in welchem Maß die Kompostanwendung dazu beiträgt durch die Belebung der bodenbiologischen Prozesse einen Beitrag zur Erhöhung der Artenvielfalt zu gewährleisten. Diese Aussage kann jedoch lediglich als Hypothese formuliert werden, da diese Effekte bisher kaum untersucht wurden und somit keine belastbaren Ergebnisse hierzu vorliegen.
- Erhöhung der Wasserhaltekapazität in den mit Kompost gedüngten Böden.

Zu 3.: Die landwirtschaftliche Kompostierung leistet keinen unmittelbaren Beitrag zur Entwicklung des ländlichen Raums, da sich diese bislang innerhalb landwirtschaftlichen Betriebskreislaufs abspielt. Jedoch „schlummern“ erhebliche Potentiale bei der landwirtschaftlichen Kompostierung wenn es gelänge, Grün- und Baumschnitt aus der kommunalen Sammlung der landwirtschaftlichen Kompostierung zuführen zu können. Solche Modelle werden seit vielen Jahren erfolgreich in den Nachbarländern Schweiz und Österreich praktiziert und könnten analog auch in Deutschland bzw. Rheinland-Pfalz durchgeführt werden, wenn die derzeit restriktiven Regelungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) und der Bioabfallverordnung (BioAbfV) praxisnäher auf die Erfordernisse der landwirtschaftlichen Betriebe angepasst würden.

### 3.7.4 Erreichung der Ziele des Vorhabens

Die zu Projektbeginn von VELKO genannten Zielsetzungen konnten wie folgt erreicht werden bzw. es kam zu folgenden Abweichungen:

#### **Grundlagen**

Aufgrund der betriebswirtschaftlichen Berechnungen kann festgestellt werden, dass aufgrund der ökonomischen Gegebenheiten sich die landwirtschaftliche Kompostierung vor allem für viehhaltende Betriebe anbietet, da diese über eine ausreichende Menge an Reststoffen verfügen, die ohnehin auf dem landwirtschaftlichen Betrieb anfallen und somit keine extra Bereitstellungskosten für diese Betriebe verursachen.

Obwohl zu Projektbeginn seitens mehrerer Weinbaubetrieben ein starkes Interesse an der landwirtschaftlichen Kompostierung festzustellen war, scheiterte deren Mitwirken an einer Kompostierung letztlich an den nicht in ausreichendem Maß vorhandenen Ausgangsmaterialien für die Kompostierung. Die Verwendung von betriebsfremden Materialien scheitert aber an den Vorgaben des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) sowie der Bioabfallverordnung (BioAbfV). Somit war es nicht möglich weinbaubetriebende Betriebe für das Projekt VELKO zu gewinnen.

#### **Rechtliche Fragestellungen**

Im Rahmen des Projektes VELKO konnten die rechtlichen Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Feldrandkompostierung geklärt und präzisiert werden. Demnach ist es für landwirtschaftliche Betriebe grundsätzlich möglich eine ordnungsgemäße Feldrandmietenkompostierung durchzuführen, wenn die in Kap. 3.8.2 genannten Anforderungen eingehalten werden. Ergänzend muss darauf hingewiesen werden, dass neben der eigentlichen Kompostierung und der Bereich bei der Sammlung bzw. Lagerung der zu kompostierenden Materialien die bestehenden Verordnungen und Bestimmungen einzuhalten sind.

#### **Prozesssteuerung und Produktqualität**

Durch Einbeziehung externer Fachberater konnte gewährleistet werden, dass die beteiligten Betriebe kompetent und zugleich zeitnah beraten und betreut werden konnten. Grundlage hierfür war eine umfangreiche Analytik der Input- sowie der Output-Materialien.

Im Rahmen der Fachberatung wurden die Parameter für die Qualitätssicherung des Kompostierungsprozesses sowie der gewonnenen Produkte klar herausgearbeitet.

Die Gasmessungen an den Versuchsmieten ergaben, dass die landwirtschaftliche Kompostierung emissionsarm durchgeführt werden kann.

Die Analysen der erzeugten Proben ergaben, dass die Betriebe reife Komposte mit einer guten Pflanzenverträglichkeit hergestellt haben, die primär den Bodenaufbau und sekundär der direkten Pflanzenernährung dienen.

#### **Arbeitswirtschaft und Logistik**

Bei einer geeigneten Maschinenausstattung der Betriebe ist es möglich, die Kompostierung mit einem überschaubaren Arbeitsaufwand zu leisten; allerdings dürfen die Arbeitsabläufe nicht zu

sehr extensiviert werden, wenn dadurch die Kompostqualitäten leiden (z.B. Herrichten der Kompostierungsfläche, Bewässern, Umsetzen,...).

Nur durch einen überbetrieblichen Einsatz des Kompostwenders ist es möglich, die Fixkosten dieser Spezialmaschine in Grenzen zu halten. Der im Projekt eingesetzte Wender hat sich als gut straßentransporttauglich erwiesen, so dass ein Aktionsradius von 30 – 50 km denkbar ist.

### **Kompostmengen und Anwendung**

Je nach Ausgangsmaterial und Verfahrensablauf entsteht bei der Kompostierung ein Volumenverlust zwischen 50 – 60 % gegenüber dem Ausgangsvolumen. Generell gab es zwischen den beteiligten Betrieben erheblich Unterschiede hinsichtlich der eingesetzten Mengen.

Zur Frage der Anforderungen an den Reifegrad der erzeugten Komposte kann festgestellt werden, dass die Betriebe (bis auf wenige Ausnahmen) reife Komposte der Rottestufe-V herstellt haben; die Rottedauer betrug im Mittel 150 Tage.

Im Rahmen des Projekts VELKO war es nicht möglich, die Wirkung von Kompost auf unterschiedliche Kulturen im Freiland zu untersuchen. Der beim DLR Bad Kreuznach durchgeführte Topfversuch lässt aufgrund der kurzen Versuchsdauer keine Rückschlüsse auf eine direkte Düngewirkung zu; es konnte jedoch eine verbesserte Wasserhaltefähigkeit der Böden durch den Komposteinsatz nachgewiesen werden.

### **Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte**

Die Kosten für die betriebliche Kompostierung lagen (bezogen auf den Output (= Kompost) in einer Spanne von min. 3,13 €/m<sup>3</sup> bis max. 8,60 €/m<sup>3</sup>; die mittleren Kosten je m<sup>3</sup> Kompost betragen 5,22€ (bei einem voll ausgelasteten Umsetzer). Bezogen auf die Ausgangsmenge (= Inputmenge) lagen die mittleren Kosten bei 2,85 €/m<sup>3</sup> Input-Material.

Der Arbeitsaufwand je 100 m<sup>2</sup> Fläche variierte zwischen 21,9 h (min) und bis zu 57,2 h; der mittlere Zeitaufwand für die Kompostierung betrug 34,7 h/100 m<sup>2</sup> Fläche.

Im Rahmen des VELKO-Projekts konnte der Nutzen der Kompostierung nicht quantifiziert werden; somit war es auch nicht möglich, eine gesicherte Aussage zum volkswirtschaftlichen Nutzen treffen zu können.

Durch die Untersuchung möglicher Umweltbelastungen, die bei einer landwirtschaftlichen Kompostierung immer wieder vermutet werden, konnte anhand der Projektergebnisse keine nennenswerte Belastungssituation in Hinblick auf hydraulische sowie gasförmige Emissionen festgestellt werden. Daraus kann zumindest gefolgert werden, dass der Gesellschaft (= Volkswirtschaft) kein Schaden durch die landwirtschaftliche Kompostierung entsteht. Vielmehr ist in der Literatur belegt, dass durch die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit sowie einer Erhöhung der Humusgehalte ein volkswirtschaftlicher Nutzen durch den Komposteinsatz generiert wird.

### **Fazit**

Im Wesentlichen konnten die im Projektantrag formulierten Arbeitspakete umgesetzt werden. Somit konnten auch die zentralen Ziele des Vorhabens – wie zuvor dargestellt - umgesetzt werden.

Zentrale „Knackpunkte“ für die landwirtschaftliche Kompostierung sind die Verfügbarkeit eines passenden Umsetzers in der Region, sowie die Klärung der Rechts- und Fachfragen mit den örtlichen Behörden.

## 4 Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung

### 4.1 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Für die landwirtschaftliche Praxis kann aus dem Projekt VELKO folgender Nutzen abgeleitet werden:

- Das Projekt hat die erfolgreiche Kooperation von 6 Betrieben des ökologischen Landbaus bzgl. der überbetrieblichen Kompostierung in einem regionalen Umfeld demonstriert. Diese Zusammenarbeit wird auch bei einem Teil der Betriebe nach dem Projektende fortgeführt werden. Weitere interessierte Landwirte\*innen und Winzer\*innen (s. 4.2), die ggf. ein ähnliches Projekt planen, finden hier ein relevantes Praxismodell und können sich bei den VELKO-Kollegen informieren.
- Bei der überbetrieblichen Kooperation wurde eine „Standardvorgehensweise“ erarbeitet, in deren Rahmen sowohl eine kontinuierliche Abstimmung zwischen den Betrieben als auch bzgl. der „Hardware“ (zu kompostierende Materialien, Portalachsumsetzer, Datenerfassungstechnik) aber auch der „Software“ (in Form von Wissenstransfer (intern und aus externer Beratung) sowie Erfahrungsaustausch) erfolgten.
- Im Projekt VELKO konnte gezeigt werden, dass für den überregionalen Einsatz zur Kompostierung eine geeignete Maschinenteknik (portabler Portalachsumsetzer) einsetzbar ist, die in vollem Umfang auch die Anforderungen im öffentlichen Straßenverkehr erfüllt.
- Es konnte gezeigt werden, dass eine Datenerfassungs- und Übertragungstechnik zur Verfügung steht, die standortunabhängig eine Überwachung des Kompostierverlaufs in Echtzeit ermöglicht.
- Es konnte gezeigt werden, dass bei den richtigen Zusammensetzungen der Mietenmischung ein gewünschter Kompostierungsverlauf möglich ist, der unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis die Herstellung eines hygienisierten Kompostes sicher gewährleistet.
- Es konnte gezeigt werden, dass ein Bewässerungsmanagement für die Kompostbereitung in den meisten Fällen erforderlich ist.
- Es konnte gezeigt werden, dass unter der Einhaltung der guten fachlichen Praxis der Kompostierung hydraulische sowie gasförmige Umweltbelastungen weitgehend vermieden werden können und dadurch eine Verunreinigung insbesondere von Grundwasser und Oberflächengewässern nicht zu besorgen ist.
- Aus dem Projekt heraus konnte eine Kalkulationsbasis erstellt werden, um betriebsindividuell die Kosten der landwirtschaftlichen Kompostierung ermitteln zu können.
- Es konnte gezeigt werden, welcher Rechtsrahmen für die Durchführung der landwirtschaftlichen Kompostierung treffend ist, so dass für die Betriebe eine höhere Rechtssicherheit bzw. Rechtstransparenz erarbeitet werden konnte.

Ein zusätzlicher Nutzen für die Betriebe könnte dann erreicht werden, wenn es gelänge Kooperationsvorhaben zur dezentralen Kompostierung von kommunalem Grünschnittgut mit landwirtschaftlichen Substraten umzusetzen.

Durch das Projekt VELKO wurde die Grundlage gelegt, wie unter den Praxisbedingungen eine geeignete Kompostierung stattfinden kann, was in der Summe dazu führt, dass mehr betriebseigene Materialien als Kompost dem Boden zugeführt werden können. Dies verbessert insgesamt die Nährstoffdynamik, das Wasserhaltevermögen der Böden sowie die Humusversorgung der Böden. Durch eine Erhöhung der Humusgehalte wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden und über längere Zeiträume im Boden gebunden.

Ein zusätzlicher Nutzen für die Betriebe könnte dann erreicht werden, wenn es gelänge Kooperationsvorhaben zur dezentralen Kompostierung von kommunalem Grünschnittgut mit landwirtschaftlichen Substraten umzusetzen.

## 4.2 Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse

Folgende Veranstaltungen wurden im Rahmen des VELKO-Projekts durchgeführt

- VELKO interne Schulungsmaßnahme "**Beurteilung der Qualität des Rotteprozesses und der Kompostqualität**" am **02.03.2022** in Tiefenthal (Pfalz) gemeinsam mit dem KÖL (DLR). Im Rahmen der Veranstaltung wurden die beteiligten Landwirte geschult, wie die korrekte Probenentnahme zu erfolgen hat und wie die Kompostqualitäten zu beurteilen sind. An dieser Schulungsmaßnahme nahmen die 6 Landwirte (Mitglieder der OG) sowie insgesamt 15 externe TeilnehmerInnen teil, darunter zahlreiche weitere Landwirte und Winzer, die an einer Kompostierung interessiert waren
- VELKO-Fachinformationsveranstaltung „**Landwirtschaftliche Kompostierung im ökologischen Landbau**“ am **10.02.2023** in Tiefenthal (Pfalz) gemeinsam mit dem KÖL (DLR) Themen waren die Grundlagen der Kompostierung, Beurteilung der Kompostqualität, Projektpräsentation VELKO sowie Besichtigung der Praxismieten auf dem Nackterhof; an der Veranstaltung nahmen 40 TeilnehmerInnen teil.
- Fachinformationsveranstaltung „**Grüngut- und Biogutkomposte: Wichtige Betriebsmittel für den ökologischen Weinbau und Ackerbau**“ am **15. März 2023** am DLR in Oppenheim; Mitveranstalter war die Regionale Gütegemeinschaft Kompost Südwest e.V. Themen waren die Grundlagen der Kompostierung, gesetzliche Regelungen und Richtlinien, Kompostanwendung sowie die Besichtigung der Anlage zur Grüngutkompostierung der Stadt Worms; an der Veranstaltung nahmen 80 TeilnehmerInnen teil.
- Abschlussveranstaltung „**Perspektiven der landwirtschaftlichen Kompostierung**“ **Erfahrungen aus dem EIP-Projekt VELKO** am **31. Okt. 2023** in Tiefenthal gemeinsam mit dem KÖL (DLR); an der Veranstaltung nahmen 31 TeilnehmerInnen teil.

Bei den folgenden Veranstaltungen war das VELKO Projekt darüber hinaus einbezogen und konnte vorgestellt werden:

- Workshop zu Kompostierung Im Rahmen der **16. Wissenschaftstagung** Ökologischer Landbau, die vom 8. bis 10. März 2023 auf dem Campus des FiBL Schweiz in Frick stattfand.
- Vortrag zum Projekt VELKO im Rahmen des Kompostforums auf den **4. Öko-Feldtagen**, die im Juni 2023 auf dem Gladbacherhof (Versuchsbetrieb der Uni Gießen) stattfanden.
- Vorstellung des Projekts VELKO am 29.11.2022 auf der **EIP-Projektbörse** in Mainz, die durch das IFLS (Innovationsdienstleister für EIP-Agri in Rheinland-Pfalz) durchgeführt wurde.
- Workshop zu Kompostierung Im Rahmen der **17. Wissenschaftstagung** Ökologischer Landbau, die vom 5. bis 8. März 2024 in der Justus-Liebig-Universität in Gießen stattfand.

Es ist geplant nach Abschluss des Projekts eine Veröffentlichung in der Zeitschrift Ökologie & Landbau vorzunehmen und die Ergebnisse bei weiteren Tagungen vorzustellen.

Derzeit gibt es Gespräche mit dem MKUEM mit dem Anliegen ein Arbeitsgespräch zum Thema „Ökolandbau braucht mehr Kompost“ durchzuführen (Stand März 2024) und Umsetzungsmaßnahmen abzustimmen.

### 4.3 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die optimale Nutzung betriebsinterner Ressourcen ist eine der wichtigsten Grundlagen für alle landwirtschaftliche Betriebe, speziell aber für den ökologischen Landbau, da dieser nur bedingt die Möglichkeit hat, den suboptimalen Einsatz betriebsinterner Ressourcen durch betriebsexterne Mittel auszugleichen.

In diesem Kontext spielt die optimale Aufbereitung betriebseigener Wirtschaftsdünger eine große Rolle. Dies gilt im ökologischen Landbau nicht nur für Wirtschaftsdünger tierischen Ursprungs, sondern zunehmend auch für pflanzliche Wirtschaftsdünger. Die starke Zunahme viehloser Ackerbau-/Marktfruchtbetriebe und ein erheblicher Anbau von Luzerne-/Klee-/Grasgemengen (im Folgenden vereinfacht „Kleegras“) als einem zentralen Fruchtfolgeglied im ökologischen Landbau auch in diesen Betrieben, lässt vielfach eine Futternutzung nicht mehr zu (außer über Futter-/Mistkooperationen). Größtenteils aber muss das Kleegras bei reinen Ackerbaubetrieben betriebsintern verwertet werden.

Da das Mulchen auf der Fläche als einfachste Form der innerbetrieblichen Kleegras-Verwertung jedoch mittlerweile wegen damit einhergehender deutlich reduzierter Stickstofffixierungsleistungen des Kleegrasbestandes als suboptimale Maßnahmen erkannt wurde, spielen andere Verwertungsverfahren für Kleegras nach dessen Bergung von der Fläche inzwischen eine große Rolle im ökologischen Landbau. Neben Silierung und Vergärung schließt dies v. a. die Kompostierung von Kleegras ein. Hierfür existieren bisher jedoch keine standardisierten Verfahren. Vielmehr wird aus einer Reihe von „Praxisversuchen“ und wenigen Forschungsvorhaben zur Kompostierung von Kleegras bundesweit deutlich, dass in diesem Verfahren bei fehlender Standardisierung und in der Folge oft nicht sachgerechter Vorgehensweisen durchaus sehr relevante N-Verluste, auch über Sickerwasser, auftreten können. Das Hauptproblem sind jedoch hohe gasförmige N-Verluste bei suboptimaler Kompostierung von Kleegras bis über 50 % des Ausgangsgehaltes (Bruns et. al., 2022). Dies konterkariert nicht nur das Schließen der Nährstoffkreisläufe im ökologischen Landbau, sondern kann auch zu erheblichen THG-Belastungen der Umwelt führen.

Nachdem im Projekt VELKO gezeigt wurde, dass eine gemeinsame Kompostierung von Kleegras z. B. mit Festmistern **logistisch, arbeitswirtschaftlich und verfahrenstechnisch erfolgreich** möglich ist, müssten in einem zweiten Schritt aufbauend auf dieser Basis Verfahren zu einer **optimierten Kleegraskompostierung** entwickelt und standardisiert werden. Zusätzlich wäre hierbei die Integration von Grüngut (betriebseigenen, aber auch aus kommunalen Quellen, die dem Abfallrecht unterliegen) von besonderer Relevanz.

Im Hinblick auf eine **wirtschaftliche** Anschlussfähigkeit liegt daher aus Sicht der Projektbearbeiter ein Fokus auf **der Projektierung einer optimierten Kleegraskompostierung** mit folgenden Zielsetzungen und Maßnahmen:

- **Verfahrensentwicklung** mit der **Zielsetzung einer Minimierung** von hydraulischen, insbesondere aber **gasförmigen Stickstoffverlusten** und von **THG-Emissionen** (Methan, Stickoxide,  $\text{NH}_3$ ).
- **Standardisierung** und **Anpassung dieser neuen Verfahren zur optimierten Kompostierung** von Klee gras auf **verschiedene betriebliche Rahmenbedingungen**, insbesondere in Kombination mit **weiteren betriebseigenen Wirtschaftsdüngern** (z.B. Festmist, Stroh, sonstige organische Reststoffe des Betriebs wie Gemüseputzabfälle, Getreideausputz, Schälgut von Sonnenblumen und Dinkel etc.) sowie **betriebsexternen holzreichen Grüngutmaterialien**, auch aus dem kommunalen Anfall, sowie Landschaftspflegeabfällen.

Letzteres ist schon deshalb von besonderer Bedeutung für optimierte Verfahren, da durch die i. d. R. weiten C/N-Verhältnisse solcher Zuschlagstoffe eine organische Einbindung des ansonsten gasförmig über  $\text{NH}_3$  verloren gehenden Stickstoffs aus dem Klee gras erwartet werden kann.

Ein wesentlicher zusätzlicher Effekt der Verarbeitung kommunalen Grünguts in Kombination mit v.a. Klee gras auf Ökolandbaubetrieben ist darin zu sehen, dass damit eine **erhebliche Wertschöpfung im ländlichen, ggf. strukturschwachen, Bereich und speziell in der Landwirtschaft** verbleiben könnte (Annahmeerlöse für kommunales Grüngut und Landschaftspflegeabfälle, Optimierung der betriebseigenen Dünger).

- Evaluierung **rechtlicher Rahmenbedingungen** und **sachlicher Möglichkeiten** für eine Integration von **kommunalem Grüngut** in die betriebseigene landwirtschaftliche Kompostierung.
- **Arbeits- und betriebswirtschaftliche Optimierung** des Verfahrens.

Einem solchen praxisorientierten F- u. E-Projekt käme hohe betriebswirtschaftliche, volkswirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung zu:

- **Betriebswirtschaftlich:** Eine Reduktion der in der Praxis beobachteten, gasförmigen Stickstoffverluste einer reinen Klee graskompostierung um 50 % auf übliche Werte einer optimierten Mietenkompostierung um 20 % (Bruns et. al., 2022), würde bei üblichen Klee graserträgen und -inhalten zu einer Reduktion der betrieblichen Stickstoffverluste von 90 kg N/ha Klee gras führen. Bei einem 20 %-igen Klee grasanteil würden hieraus auf jeden Hektar der gesamten Betriebs-LN umgerechnet durchschnittlich +18 kg N/ha\*a resultieren, die zusätzlich ertragswirksam zur Verfügung stünden. Dies entspricht einem Ertragspotential von rund 5-8 dt GE/ha\*a.
- **Volkswirtschaftlich:** Eine optimierte Kompostierung kann die Emission von THG bezüglich  $\text{NH}_3$  bis über 90 %, bei Stickoxiden zwischen 50 bis 70 % und bei Methan zwischen 50 bis 90 % reduzieren (Cuhls et. al., 2015; Pardo et. al., 2015; Cuhls, 2023). Je nach einbezogener Menge an organischen Reststoffen und Wirtschaftsdüngern wird das dadurch gegebene Potential an THG-Reduktionen bundesweit im 6-7-stelligen Tonnagebereich (Mg  $\text{CO}_2$ -Äquivalent) p. a. gesehen (Gottschall et. al., 2022). Die volkswirtschaftliche Relevanz wird darüber hinaus in den aktuellen und weiter wachsenden Mengen an Klee gras deutlich, die über andere Verfahren betriebsintern verwertet werden müssen, da sie nicht mehr verfüttert werden können und bundesweit im Ökolandbau bis zu 1 Mio. Mg erreichen.
- **Gesellschaftlich:** Eine Optimierung der Kompostierung zur bestmöglichen Nutzung betriebsterner Ressourcen, insbesondere von Klee gras, kann entsprechend den im ersten Spiegelstrich

dargestellten Zusammenhängen wesentlich zu einer Stabilisierung und Absicherung des gesellschaftlich gewünschten Wachstums des ökologischen Landbaus beitragen. Dadurch wird nach aktueller Literatur auch der Klimaschutz und die Biodiversität wesentlich unterstützt (Sanders et. al., 2019; Hülsbergen et. al., 2023).

Auch im Hinblick auf die **wissenschaftliche** Anschlussfähigkeit ist eine **optimierte Kleegraskompostierung** von großem Interesse. Die Entwicklung standardisierter Kompostierungsverfahren zwecks Minimierung von THG-Emissionen stellt eine große und sehr relevante wissenschaftliche Herausforderung dar. Dies betrifft nicht allein die Verarbeitung von tierischen und pflanzlichen Wirtschaftsdüngern wie Klee gras, sondern generell organischer Reststoffe auch aus dem Siedlungsbereich wie Grün gut oder diverse Bioabfälle.

Darüber hinaus ist die **(Weiter-)Entwicklung von Systemkomponenten zur Sicherung und Unterstützung des Wachstums des ökologischen Landbaus** ebenfalls wissenschaftlich von hohem Interesse. Im zentralen Bereich „Nährstoffmanagement im Ökolandbau“ stellt dabei eine optimierte Kompostierung betriebsinterner Ressourcen zwecks Minimierung von betriebsinternen Nährstoffverlusten und einer verbesserten Schließung von Nährstoffkreisläufen einen der wichtigsten Verfahrensansätze dar.

Ein weiterer wesentlicher Punkt im wissenschaftlichen Fokus betrifft die **hydraulischen Emissionen** und daraus folgend die **Verluste an Nährstoffen bei der Kompostierung für den Betrieb** sowie deren **Eintrag in die Umwelt**, was im Rahmen der gegebenen Projektmöglichkeiten nicht im nötigen Umfang, mit der notwendigen methodischen Genauigkeit und damit natürlich auch nicht abschließend bearbeitet werden konnte.

Aufgrund der Unzulänglichkeiten, die mit Untersuchungen auf Praxisbetrieben einhergehen, muss festgestellt werden, dass in erster Linie die **exakte Erfassung der Sickerwassermengen** einer genaueren und methodisch optimierten Vorgehensweise bedürfen, um zu gesicherten Aussagen zu gelangen. Gerade vor dem Hintergrund des – auch von Seiten der Behörden vielfach im Blickpunkt stehenden – Umweltbelastungspotentials durch mögliche Auswaschungen, sollte auf diesen Aspekt in nachfolgenden Untersuchungen (bspw. mittels Lysimeteranlagen) genauer abgehoben werden.

Im Projekt VELKO konnte nachgewiesen werden, dass N-Belastungen des Grundwassers bei fachgerechter Kompostierung mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen sind. Die Fragestellung aber, in welchem Ausmaß genau die Sickerwassermengen mittels einer ordnungsgemäßen Abdeckung der Mieten mit Kompostvlies reduziert werden können, und welche entsprechenden verfahrenstechnischen Optimierungspotentiale gerade im Hinblick auf einen noch weiter verbesserten Umwelt- und Gewässerschutz ggf. zu heben sind, waren im Rahmen des Praxisprojekts VELKO nur unvollständig zu erfassen. Daher müsste bei Folgeuntersuchungen diese Fragestellung erneut aufgegriffen, stärker differenziert betrachtet und mit wissenschaftlich exakten Methoden geprüft werden (z.B. auch Untersuchung verschiedener Vliesqualitäten), um zu gesicherten Aussagen für die Praxis gelangen zu können.

## 5 Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG)

### 5.1 Gestaltung der Zusammenarbeit

Der Operationellen Gruppe im EIP-Vorhaben VELKO gehören die folgenden Teilnehmer an:

- Leadpartner ist die Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim  
Ansprechpartner Dr. Uli Zerger.

Weitere Mitglieder sind landwirtschaftlichen Betriebe aus den Landkreisen KIB, DÜW und dem Rhein-Pfalz-Kreis:

- Gerbachhof GbR, Bolanden, Ansprechpartner Markus Reisle
- Kleinsägmüherhof Neuleiningen, Ansprechpartner Richard Danner
- Bio-Betrieb Waßner, Nackterhof, Ansprechpartner Peter Waßner
- BioBauernBiedesheim, Biedesheim, Ansprechpartner Kurt Hellwig-Büscher
- Weinbaubetrieb Janson-Bernhard, Harxheim, Ansprechpartnerin Christine Bernhard
- Hof Morgentau, Kleinniedesheim, Ansprechpartner Benjamin Gräf

Als weitere Mitglieder waren in der OG vertreten:

- Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau Rheinland-Pfalz (KÖL) am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück
- Universität Stuttgart (Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft (Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert)

Das Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau Rheinland-Pfalz (KÖL) am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück koordiniert landesweit die Beratung im Ökologischen Anbau über alle Kulturen. Als Schnittstelle zwischen der landwirtschaftlichen Praxis und den wissenschaftlichen Institutionen des Ökologischen Landbaus sichert das KÖL den gegenseitigen Informationsfluss zwischen Wissenschaft und Praxis. Unter der Betreuung des KÖL wurde der Gefäßversuch am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR) durchgeführt.

Als wissenschaftliche Einrichtung ist die Universität Stuttgart (Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft Prof. Dr.-Ing. Martin Kranert) beteiligt, da das Institut über eine langjährige Erfahrung im Bereich der Messung gasförmiger Schadstoffe verfügt. Da Prof. Kranert 2022 in den Ruhestand trat, wurde die Mitarbeit des ISWA durch seinen Nachfolger Dr. Martin Reiser wahrgenommen.

Die Operationelle Gruppe (OG) traf sich an folgenden Terminen:

- 09. Juni 2020 (Gründung der OG)
- 20. Jan. 2021 (per Video)
- 04. Okt. 2021
- 23. Feb. 2022 (per Video)
- 2. März 2022
- 04. Juli 2022
- 11. Feb. 2023
- 30. Okt. 2023

Somit fanden insgesamt 8 Treffen der OG statt; Corona-bedingt mussten zwei Treffen im Videoformat durchgeführt werden.

Mit Beschluss der Operationellen Gruppe vom 04.10.21 wurde der Betrieb Biolandhof Gallé aus Bolanden mit dem Ansprechpartner Ortwin Gallé als weiteres Mitglied in die Operationelle Gruppe aufgenommen.

Zu jedem Treffen wurde ein Protokoll angefertigt und allen Beteiligten zugänglich gemacht.

Mit Beschluss der Operationellen Gruppe vom 23.02.22 wurde der Betrieb Biolandhof Risser aus Kerzenheim mit dem Ansprechpartner Hartmut Risser als weiteres Mitglied in die Operationelle Gruppe aufgenommen.

Die Betriebe Weinbaubetrieb Janson-Bernhard sowie das Hofgut Morgentau beteiligten sich aus betriebsinternen Gründen im Jahr 2022 nicht mehr an den Aktivitäten des VELKO-Projekts.

Als Mehrwert der OG wurde seitens der Betriebe festgestellt, dass es durch das EIP-Vorhaben gelungen ist Kontakte zur gewerblichen Kompostwirtschaft aufzubauen und die dort erzeugten Kompostqualitäten kennengelernt zu haben.

## 5.2 Mehrwert des Formats einer OG

Der Mehrwert in der Zusammenarbeit der OG bestand in erster Linie darin, ein gemeinsames Bild über die Ziele sowie die Umsetzung des Projektes zu gewinnen.

Als weiterer Mehrwert ist zu benennen, dass der Projektansatz von den einzelnen nicht alleine hätte gestemmt werden können.

Erst die Zusammenarbeit in der OG ermöglichte es den Betrieben, einen „niedrigschwelligen“ Einstieg in die praktische Kompostierung gehen zu können, da die Betriebe keine nennenswerten Investitionsentscheidungen treffen mussten.

Die Motivation sich intensiv mit dem Thema landwirtschaftliche Kompostierung auseinanderzusetzen und dies auf dem eigenen Betrieb umzusetzen, wurde ganz wesentlich durch den Informations- und Motivationsaustausch zwischen den Betrieben befördert.

## 5.3 Weitere Zusammenarbeit

Zwischen einzelnen Betrieben der OG soll die Zusammenarbeit im Bereich der Kompostierung fortgeführt werden, da einer der beteiligten Betriebe den Kompostwender nach dem Projektende von dem Hersteller hat übernehmen können. Daher wird der Kompostwender in der Region verbleiben und steht als Dienstleistung weiteren Betrieben – auch außerhalb der OG – zur Verfügung.

Jedoch haben sich auch zwei Betriebe der OG dafür entschieden die Kompostierung nicht fortzusetzen, da sie sich aus einer Aufwand-Nutzen-Betrachtung gegen die Fortführung der Kompostierung entschieden haben.

## 6 Verwendung der Zuwendung

Tab. 6.1 VELKO-Finanzübersicht und Mittelverwendung

VELKO - Mittelverwendung			Bewilligung		Summe
			förderfähige		gesamt
	Nr.	Bezeichnung	Ausgaben		in Euro
M16.1		Direkte Personalkosten incl. 15% P.	107.558 €		111.190 €
M16.1	1	Uli Zerger	89.549 €		86.971 €
M16.1	1	Uli Zerger - Pauschale 15 %			
M16.1	2	Eva Mundkowski	18.009 €		24.218 €
M16.1	2	Eva Mundkowski - Pauschale 15 %			
M16.1	3	Sachkosten (Reisekosten et al.)	1.200 €		200 €
<b>M16.1</b>		<b>M16.1</b>	<b>108.758 €</b>		<b>111.390 €</b>
M16.2		Direkte Personalkosten incl. 15 %	100.238 €		111.540 €
M16.2	4	Markus Reisle / Uli Zerger (ab 2023)	23.991 €		37.438 €
M16.2	4	Markus Reisle / Uli Zerger - 15 %	4.234 €		5.616 €
M16.2	5	Kurt Hellwig	35.835 €		32.442 €
M16.2	5	Kurt Hellwig - 15 %	6.324 €		4.866 €
M16.2	6	Manfred Kranert / Martin Reiser (Uni Stgt)	23.225 €		24.138 €
M16.2	6	M. Kranert / M. Reiser (Uni Stgt) - 15 %	4.099 €		3.621 €
M16.2	7	Clement Gelin (SÖL/ KÖL)	2.151 €		2.973 €
M16.2	7	Clement Gelin (SÖL/ KÖL) - 15 %	380 €		446 €
M16.2		externe Dienstleistungen	151.688 €		137.911 €
M16.2	8	ISA Ralf Gottschall			53.967 €
M16.2	9	Humus- Erden Kontor (M. Bieker)			53.407 €
M16.2	10 - 12	Analytik (Labor) Input/Rotte/Output			15.411 €
M16.2	13	Hygieneprozessprüfung			9.806 €
M16.2	14	Analytik Sickerwasser			1.433 €
M16.2	15	Analytik Boden			3.887 €
M16.2		Eigenleistungen / Sachleistungen	22.992 €		25.839 €
M16.2	16	Mitarbeit der Landwirte bei der Durchführung der Kompostierung			16.437 €
M16.2	17	Schlepperkosten je h			7.670 €
M16.2	18	Unterhaltungs-, Reparatur- bzw. Transportkosten			1.733 €
M16.2		Investitionen (KMU)	0 €		0 €
M16.2	19	Maschinenkauf: Kompoststreuer			0 €
M16.2	21a	Maschinenkauf: Vlieswickler			0 €
M16.2	21b	Reserve: Maschinenanschaffung			0 €
M16.2		Untersuchungen, Sachkosten	70.324 €		67.146 €
M16.2	21a	Kompostüberwachungstechnik (Fernübertragung)			5.100 €
M16.2	21b	Temperaturmessgeräte			4.493 €
M16.2	21c	Feuchtigkeitsgemessgerät			0 €
M16.2	21d	Analoges CO2-Messgerät			0 €
M16.2	22	Vliese zur Abdeckung der Kompostmiete			10.371 €
M16.2	23	Verbrauchsmaterialien für Topfversuch			257 €
M16.2	24	Verbrauchsmaterialien für Gasmessungen und Sickerwasseruntersuchungen			141 €
M16.2	25	Maschinenkauf: Frontladerwaage digital			3.194 €
M16.2	26	Maschinenmiete: Kompostumsetzer			37.741 €
M16.2	27	Sachkosten			5.849 €
<b>M16.2</b>		<b>M16.2</b>	<b>345.243 €</b>		<b>342.436 €</b>
<b>M16.1 + 16.2</b>		<b>M16.1 und M16.2</b>	<b>454.000 €</b>		<b>453.825 €</b>

## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die im Projekt VELKO gewonnenen Erkenntnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die landwirtschaftlichen Betriebe sind durch den überbetrieblichen Einsatz eines für den Straßentransport zugelassenen Wenders in der Lage, mit einer geeigneten Technik qualitativ hochwertige Komposte herstellen zu können.
- Durch eine sorgfältige Analyse der Inputmaterialien sowie durch eine zielgerichtete Beratung waren die Betriebe in der Lage, geeignete Mischungen herzustellen.
- Das Bewässerungsmanagement die Mieten war bei allen beteiligten Betrieben nicht ausreichend, so dass für diesen Punkt ein Hauptaugenmerk der Betriebe erforderlich ist.
- Zugleich kann aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen resümiert werden, dass die Feldrandkompostierung einer sorgfältigen Pflege und Steuerung bedarf. Grundlage hierfür ist auch die genaue Beobachtung bzw. Prognose der Witterungsverläufe sowie der Temperaturverläufe, der Feuchtegehalte/Feuchteentwicklung sowie der Struktur in den Mieten.
- Die Steuerungsmaßnahmen für die Landwirte während der Kompostierung sind das Umsetzen, das Abdecken, neue bzw. zusätzliche Materialmischungen sowie das Bewässerungsmanagement der Mieten.
- Die Kosten für die Herstellung betriebseigener Komposte – bei einer guten Auslastung des Maschinen – betragen ca. 5,20 m<sup>3</sup>; der Arbeitsaufwand für die Kompostierung einer 100m-Miete beträgt ca. 35 Stunden; für eine vergleichende Betrachtung/Bewertung müssten die Kosten für das Verfahren „wilde Miete“ gegengerechnet werden.
- Durch die Zusammenstellung der gesetzlichen sowie fachlichen Bestimmungen rund um die Feldrandmietenkompostierung wird den interessierten Landwirten mehr Rechtssicherheit mit auf den Weg gegeben.
- Eine solcherart sachgerechte und gut „gepflegte“ Feldrandkompostierung von Wirtschaftsdüngern führt in aller Regel nicht zu erhöhten Umweltbelastungen.
- Aus den im Rahmen von VELKO erhobenen Daten zur Umweltauswirkung können keine nennenswerten Umweltrisiken durch eine fach- und sachgerechte Feldrandmietenkompostierung abgeleitet werden.
- Eine fach- und sachgerechte Vorgehensweise bei der Feldrandkompostierung ist für Betriebe des ökologischen Landbaus deshalb von zentraler Bedeutung, weil damit Auswaschungsverluste an Nährstoffen, die damit aus dem Betriebskreislauf ausgeschleust würden, minimiert bzw. vermieden werden können.
- Eine nicht sachgerecht durchgeführte Feldrandkompostierung kann hingegen – wie jede Art unsachgemäßer Lagerung von Wirtschaftsdüngern am Feldrand – zu erheblichen Auswaschungen an Nährstoffen führen, die somit dem Betrieb verloren gehen und die Umwelt belasten können.
- Angesichts der Tatsache, dass in der Praxis leider immer noch „wilde“ Festmistablagerungen ohne Abdeckung anzutreffen sind, kann festgestellt werden, dass eine sachgerecht durchgeführte Feldrandmieten**kompostierung** deutliche Vorteile mit sich bringt.
- Bei der Feldrandkompostierung handelt es sich um eine zielgerichtete Aufbereitungsmethode von festen Wirtschaftsdüngern mit klaren sachlichen Verfahrensvorgaben.

## 8 Literaturverzeichnis

- Agrarzahlungen-Verpflichtungenverordnung, AgrarZahlVerpfIV (2014):** Verordnung über die Einhaltung von Grundanforderungen und Standards im Rahmen unionsrechtlicher Vorschriften über Agrarzahlungen vom 17. Dezember 2014 (BAnz AT 23.12.2014 V1), zuletzt geändert durch Art. 2 der Verordnung vom 17. September 2021 (BGBl. I S. 4302)
- Amlinger, F.** et al. (2005). Stand der Technik der Kompostierung. In: BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Richtlinie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2005.
- AwSV (2017)** Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen; Erich Schmidt Verlag, Berlin 2022
- AGW (1992).** Kompostier- und Vergärungsanlagen im Kanton Zürich.  
Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich, Abt. Abfallwirtschaft. Walche-  
tor, Zürich
- Baier, U.;** Fuchs, J.; Galli, U. und Schleiss, K. (2022). Komposte und Vergärungsprodukte – Eigen-  
schaften, Qualitäten und Anwendungen, Qualitätsrichtlinie der Branche. Hrsg.: Verein In-  
spektorat der Kompostier- und Vergäranlagen der Schweiz.
- Berner, A.** (1990). Einfluss von Mistkompostmieten auf die Umwelt.  
Landwirtschaft Schweiz, Bd. 3 (3), 95-99
- Berner, A.;** Scherrer, D.; Niggli, U. (1995). Wird die Umwelt durch Feldrandkompostierung belastet?  
Agrarforschung 2 (3), 99-102
- Bidlingmaier, W.;** Kraft, E.;Seböck, E.; Springer, C. (2012): Energieeffizienz und CO<sub>2-eq</sub>-Bilanz von  
biologischen Verfahren zur Verwertung von Bioabfällen, EdDE-Dokumentation 14, EdDE  
e.V., Köln
- Bioabfallverordnung, BioAbfV (2013):** Bekanntmachung vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658), zuletzt  
geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 28. April 2022 (BGBl. I S. 700)
- Bruns, C.,** Jalane, V. (2023). Optimierung von Klee-grastransferstrategien im Ökolandbaubetrieb –  
OptiKG. Vortrag zum Tag des ökologischen Landbaus 2023 der Landesforschungsanstalt für  
Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) am 6.06.2023 in Gülzow.
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, BBodSchV** vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716);  
gem. Art. 5 Abs. 1 Satz 1 dieser Verordnung am 1.8.2023 in Kraft getreten
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.** (2016): Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel,  
Bodenverbesserungsmittel und Substrate.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.** (2022). Mittlere Gehalte und Qualitäten von gütegesicher-  
ten Komposten aus dem Jahr 2021, Stand 15.03.2022, persönliche Mitteilung.
- Bund-Länder-Arbeitsgruppe (2014):** „Hinweise zum Vollzug der BioAbfV“, Hinweise zum Vollzug der  
novellierten Bioabfallverordnung (2012);  
[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Abfallwirtschaft/bioabfv\\_hinweise\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/bioabfv_hinweise_bf.pdf)

- Cuhls, C.** et.al. (2015): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, UBA-Texte 39/2015, Umweltbundesamt, Berlin
- Düngegesetz, DüngG (2009):** zuletzt geändert durch Art. 2 Abs. 13 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2752)
- Düngemittelverordnung, DüMV (2019):** Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), zuletzt geändert durch Art. 1 der Verordnung vom 2. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1414)
- Düngeverordnung, DüV (2017):** Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Verordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), zuletzt geändert durch Art. 97 Gesetz vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436)
- Erhart, E.,** H. Schmid, W. Hartl, K-J. Hülsbergen (2016): Humus, nitrogen and energy balances, and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment with compost compared with mineral fertilisation, Soil Research 2016, 54, 254-263, CSIRO Publishing
- FNR – Fachagentur nachwachsende Rohstoffe** (Hrsg.) (2016): Biomassepotentiale von Rest- und Abfallstoffen. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der FNR, Bd. 36, Gülzow
- Fuchs, J.,** Gelencsér, T.; Kuhn, A.; Wiget, A.; Vetterli, D.; Niggli, J. und Mäder, P. (2022). Optimierte Kompostierung von Mist im biologisch-dynamischen System. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, CH-Frick .
- Gerke, H.H.,** M. Arning, H. Stöppler-Zimmer (1999): Modeling long-term compost application effects on nitrate leaching, Plant and Soil 213, 75-92
- Gerigk, P.,** Bruhn, D.; Danner D. (2009): Kraftfahrzeugtechnik, Westermann Schulbuchverlag
- Gottschall, R.,** Schüler, C.; Richter, C.; Vogtmann, H. (1992). Untersuchungen zu Qualität, Düngewert und Bodenverbesserungseigenschaften von Festmistkomposten bei unterschiedlicher Rottesteuerung. Zwischenbericht 1992 zum Projekt “Langfristige Landwirtschaft” am Fachgebiet Ökologischer Landbau d. Univ. Kassel, Witzenhausen
- Gottschall, R.** (1992): Kompostierung, Alternative Konzepte Bd.45, 5. Aufl., Verlag C. F. Müller, Karlsruhe
- Gottschall, R.,** U. Hampl, B. Kähny, H. Schmitz und C. Scholz (1995): Kompostieren - die technischen Aspekte der Kompostierung im ökologischen Landbau. SÖL-Sonderausgabe Nr. 53, 2. Aufl., Bad Dürkheim
- Heller, W.; Schwager, H.; Koch, W. (1994).** Unter Kompostmieten reichern sich Nährstoffe an. Agrarforschung 1 (9), 403-405
- Kern, M.,** H.-J. Siepenkothen (2019): Stand und Potenziale der Biogutverwertung in Deutschland in: Kern, M., T. Raussen (Hrsg.), Weiterentwicklung der Bioabfallwirtschaft, Tagungsband, S. 9 – 24, Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH, Witzenhausen
- Kluge, R.** et. al. (2008): **Nachhaltige** Kompostanwendung in der Landwirtschaft, Abschlussbericht, Itz – Landwirtschaftliches Technologiezentrum, Augustenberg/Karlsruhe

- Kranert, M.** (Hrsg.) (2017): Einführung in die Kreislaufwirtschaft, 5. Auflage, Springer-Vieweg, Wiesbaden
- Kreislaufwirtschaftsgesetz, KrWG (2012):** Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Art. 5 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56)
- KTBL** (2024), Online-Datenbank MaKost, <https://daten.ktbl.de/makost/#help?language=de-DE> aufgerufen am 20.03.2024
- KTBL (2024):** Kompostierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), in Vorbereitung
- LAWA, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2019):** LAWA-Merkblatt Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Lagerung von Silage und Festmist auf landwirtschaftlichen Flächen unter sechs Monaten. Bund-Länder-Arbeitskreis Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (BLAK UmwS), 8 S.
- Lintze, F.T.** (2019). Leitfaden zur Herstellung von betriebseigenen Klee gras-Kompost und Anwendung im Acker- und Gemüsebau der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen [https://www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Publikationen/Kompost\\_WEB.pdf](https://www.oekolandbau.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/Publikationen/Kompost_WEB.pdf), 9.03.2024.
- LLH, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (2023): Lagerung von Wirtschaftsdüngern.** <https://llh.hessen.de/pflanze/boden-und-duengung/wirtschaftsduenger/lagerung-von-wirtschaftsduengern/>; Abruf am 22.01.2024
- Möller, K.; Schultheiß, U.** (2014). Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau. Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. KTBL-Schrift 499, Darmstadt.
- MWVLW (2024) Förderziele;** <https://mwvlw.rlp.de/themen/landwirtschaft/agraerfoerderung>; Abruf am 04.03.2024
- Pardo G., R. Moral, E. Aguilera and A. D. Prado** (2015): Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. *Global Change Biology* 21/2015, 1313-1327
- Paulsen H.M., B. Blank, D. Schaub, K. Aulrich, G. Rahmann** (2013): Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. In: Hülsbergen K.-J., G. Rahmann (Hrsg.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben, Thünen Report 8, S.175-188, Braunschweig
- Raupp, J. und M. Oltmanns (2006),** Reduzierung von Nährstoffverlusten während der Stallmistrotte durch Beeinflussung der Rottebedingungen. IBDF Schriftenreihe, Band 19
- Roth, T.; Fricke, K.; Müller, W.; Vogtmann, H.** (1989). Menge und Qualität von Sickerwasser aus Bioabfällen und dessen Aufbereitungsmöglichkeiten. In: Fricke, K.; Turk, T.; Vogtmann, H. (1989): Grundlagen zur Kompostierung von Bioabfällen. Tagungsband "1. Witzenhäuser Abfalltage" 7.-9.6.1989, igw-Ingenieurgesellschaft Witzenhausen, Witzenhausen.
- Schuchardt, F., K.-D. Vorlop** (2010): Abschätzung des Aufkommens an Kohlenstoff in Biomasse-Reststoffen in Deutschland für eine Verwertung über Hydrothermale Carbonisierung (HTC)

und Einbringung von HTC-Kohle in den Boden, vTI-Agriculture and Forestry Research, 4/2010, (60) 205-212

**Schuchardt, F.** (1978): Einfluss der Haufwerkstruktur auf den Kompostierungsverlauf, dargestellt am Beispiel von Flüssigmist-Feststoff-Gemengen, Grndl. Landtechnik, Bd. 28 / Nr.2, 69 – 7

**Schultheiß, U.;** H. Döhler, M.; Schwab, D. (2010): Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft – jährliche Anfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland, Landtechnik 5/2010, 354 – 356

**Schultheiß, U. (2020):** In: Klages, S.; Schultheiß, U. (2022): Düngeverordnung 2020. Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 4. Auflage, 75 S.

**Schultheis et. al (2024)** in KTBL (2024): Kompostierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), in Vorbereitung

**Stöppler-Zimmer, H.;** Schüler, C.; Wedemeyer, R.; Pfozter, G.; Richter, C.; Vogtmann, H. (1993). Untersuchungen zu Qualität, Düngewert und Bodenverbesserungseigenschaften von Festmistkomposten bei unterschiedlicher Rottesteuerung. Zwischenbericht 1993 zum Projekt “Langfristige Landwirtschaft” am Fachgebiet Ökologischer Landbau d. Univ. Kassel, Witzenhausen

**Stoffstrombilanzverordnung, StoffBiV (2017):** Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360), zuletzt geändert durch Art. 98 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436)

**TA Luft (2021)** Anhang 7, [https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_18082021\\_IGI25025005.htm](https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm) aufgerufen am 20.03.2024

**Tierische Nebenprodukte Beseitigungsgesetz (TierNebG) (2004)**

**VO (EU) 2021/1165** (Durchführungsverordnung), Anhang II (Zugelassene Düngemittel, Bodenverbesserer und Nährstoffe)

**Verordnung (EG) Nr. 1069 (2009)**, <https://www.bmel.de/SharedDocs/ExterneLinks/DE/Rechtsgrundlagen/EU/VO-1069-2009.html>, aufgerufen am 25.03.2024

**Wasserhaushaltsgesetz, WHG (2009):** Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Art. 5 des Gesetzes vom 3. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176)

**Wurff, A.;** Van Der W. G.; Fuchs, J.; Raviv, M. und Termorshuizen A. (2016). Handbook for composting and compost use in organic horticulture. BioGreenhouse, Netherlands, NE.

**Zerger, U. (2024)** in KTBL (2024): Kompostierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), in Vorbereitung

## 9 Anhang

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1.1 Frische Kompostmiete des Weingutes Forster während der Rotte (Foto: Zerger)	12
Abbildung 2.1.2 mit Kompostvlies abgedeckte Mieten (Foto: Zerger)	12
Abbildung 2.3.1 Zusammengerolltes Kompostvlies neben umgesetzter Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)	22
Abbildung 2.3.2 Messtechnik mit digitaler Temperaturlaufzeichnung (Foto: Hellwig-Büscher)	24
Abbildung 2.3.3 Temperaturverläufe Kompostmieten (Quelle: Quanturi)	25
Abbildung 2.4.1 Basismatte aus Holzhäcksel (Foto: Hellwig-Büscher)	29
Abbildung 2.4.2 Luzerne auf Basismatte (Foto: Hellwig-Büscher)	29
Abbildung 2.4.3 Aufbringen des Champost auf Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)	29
Abbildung 2.4.4 Umsetzen der Kompostmiete (Foto: Hellwig-Büscher)	29
Abbildung 2.4.5 Erstellen einer Grundmischung mit Weichelumsetzer (Foto: Hellwig-Büscher)	30
Abbildung 2.4.6 Aufbringen von Material mittels seitlichem Ablageband (Foto: Hellwig-Büscher)	30
Abbildung 2.4.7 Einflussfaktoren (grüne Elipse), Wechselbeziehungen (blaue Pfeile) und Steuerungsmöglichkeiten (graue Pfeile) beim Kompostierungsprozess	33
Abbildung 2.4.8 Bestimmung der optimalen Feuchte mit Hilfe der Faustprobe (Fotos: HUMUS-UND ERDENKONTOR)	34
Abbildung 2.4.9 Hygieneprozessprüfung: Prüfgefäße, Einlage in das Rottematerial und Markierung der Einlagepositionen (Fotos: Zerger)	37
Abbildung 2.4.10 Erregerspezifische Nachweistests der Hygieneprozessprüfung (von links nach rechts): Tomatensamen, Kohlhernie, Tabakmosaikvirus (Fotos: PLANCO-TEC GmbH)	38
Abbildung 2.4.11 Planung Bodenprobennahme mittels Web-Portal (Quelle: FLO-RLP)	40
Abbildung 2.4.12 Bodenprobennahme mit mobilem Beprobungsfahrzeug (Foto: Zerger)	41
Abbildung 2.4.13 Bohrerergebnisse zu den drei Tiefen 30-60-90cm (Foto: Zerger)	41
Abbildung 2.4.14 Auffangwanne Unterkonstruktion (Foto: Zerger)	42
Abbildung 2.4.15 Auffangwanne Auskleidung mit Teichfolie (Foto: Zerger)	42
Abbildung 2.4.16 Mietenanordnung für Gasmessungen (eigene Darstellung Universität Stuttgart)	44
Abbildung 2.4.17 Versuchsaufbau (eigene Darstellung Universität Stuttgart)	45
Abbildung 2.5.1 Bestandsbild 09.05.2023 mit Datenlogger-Aufhängung (Foto: Gelin)	51
Abbildung 2.5.2 Bestandsbild 12.05.2023 (Foto: Gelin)	51
Abbildung 2.5.3 Bestandsbild 30.05.2023 nach drei Tagen ohne Wasserversorgung (Foto: Gelin)	51

Abbildung 2.5.4 Bestandsbild am 05.06. 2023, fünf Tage nach der Ernte mit erholtem Pflanzenbestand (Foto: Gelin)	51
Abbildung 2.5.5 Netzaufhängung am 24.05.2023 (Foto: Gelin)	52
Abbildung 2.5.6 Temperaturlaufzeichnung (zwei Messungen/Tag) mit der in Rot gekennzeichneten durchschnittlichen Temperaturentwicklung von der Aussaat (08.03.2023) bis zur letzten Ernte (04.07.2023)	53
Abbildung 2.5.7 Erste Ernte des Gefäßversuchs am 02.05.2023 (Foto: Gelin)	54
Abbildung 2.5.8 Bestandsbild am 28.06.2023 unter Wasserstress (Foto: Gelin)	54
Abbildung 2.6.1 Frontladerwaage (Foto: Zerger)	56
Abbildung 2.6.2 Einwiegen der definierten Volumenmenge (Foto: Zerger)	56
Abbildung 2.8.1 Grüngutannahme EBWO (Foto: Zerger)	62
Abbildung 2.8.2 abgesiebter Kompost EBWO (Foto: Zerger)	62
Abbildung 3.2.1 Temperaturmessung mit Datenaufzeichnung (Foto: Hellwig-Büscher)	74
Abbildung 3.2.2 Temperaturmessung mit Sonde und Thermometer (Foto: Hellwig-Büscher)	75
Abbildung 3.2.3 Temperaturverlauf Kompostmieten NHF/2022/22/7 und NHF/2022/22/8 (Quelle: Quanturi)	76
Abbildung 3.2.4 Vliesaufnahme mittels Wickelvorrichtung auf dem Umsetzer (Foto: Hellwig-Büscher)	77
Abbildung 3.2.5 Sichtbehinderung des Fahrers durch die Wickelvorrichtung (Foto: Hellwig-Büscher)	77
Abbildung 3.2.6 Temperaturverlauf Kompostmieten NHF 2023/21/12/2 und NHF 2023/21/12/3 (Quelle: Quanturi)	79
Abbildung 3.2.7 Temperaturverlauf Kompostierung Klee gras (Quelle: Quanturi)	80
Abbildung 3.2.8 Temperaturverlauf Kompostmiete BDH/2022/21/6 (Quelle: Quanturi)	81
Abbildung 3.2.9 Temperaturverlauf Kompostmiete KSM/2023/15/5 (Quelle: Quanturi)	82
Abbildung 3.2.10 Temperaturverlauf Kompostmiete NHF/2023/21/14 (Quelle: Quanturi)	83
Abbildung 3.2.11 Temperaturüberwachung NHF über den Prüfzeitraum (1. Prüfgang Hygieneprozessprüfung)	86
Abbildung 3.2.12 Temperaturüberwachung PLANCO-TEC über den Prüfzeitraum (1. Prüfgang Hygieneprozessprüfung)	86
Abbildung 3.2.13 Temperaturüberwachung NHF über den Prüfzeitraum (Prüfgang 2 Hygieneprozessprüfung)	87
Abbildung 3.2.14 Temperaturüberwachung PLANCO-TEC über den Prüfzeitraum (Prüfgang 2 Hygieneprozessprüfung)	87
Abbildung 3.3.1 wenig umgesetztes Kompostmaterial in Folge von Wassermangel in der Miete (Foto: Hellwig-Büscher)	89

Abbildung 3.3.2 Wenig verrottetes Material (Foto: Hellwig-Büscher)	90
Abbildung 3.3.3 Maximale Mietenformung bis zum Rahmenmaß des Umsetzers (Foto: Hellwig-Büscher)	92
Abbildung 3.3.4 Verstopfung am Weichelstreuer (Foto: Hellwig-Büscher)	92
Abbildung 3.3.5 Landschaftspflegematerial ohne Dosierwalze abgeladen (Foto: Hellwig-Büscher)	93
Abbildung 3.3.6 Landschaftspflegematerial mit Dosierwalze abgeladen (Foto: Hellwig-Büscher)	93
Abbildung 3.3.7 Landschaftspflegeheu mit Dosierwalze abgeladen (Foto: Hellwig-Büscher)	93
Abbildung 3.3.8 Landschaftspflegeheu ohne Dosierwalze abgeladen (Foto: Hellwig-Büscher)	93
Abbildung 3.3.9 Reduktion des Mietenvolumens bei zunehmender Rottedauer (Foto: Hellwig-Büscher)	95
Abbildung 3.3.10 Reduktion der Mietenbreite bei zunehmender Rottedauer (Foto: Hellwig-Büscher)	95
Abbildung 3.3.11 Kompostmiete BDH aus Landschaftspflegeheu (Foto: Hellwig-Büscher)	96
Abbildung 3.3.12 Kompostmiete mit geringem Strukturmaterialanteil (Foto: Hellwig-Büscher)	96
Abbildung 3.3.13 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H <sub>2</sub> O) der drei Inputkategorien ;(x= Mittelwerte)	98
Abbildung 3.3.14 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (CaCl <sub>2</sub> ) der drei Inputkategorien;(x= Mittelwerte)	99
Abbildung 3.3.15 Statistische Kenngrößen der Wassergehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in %; (x= Mittelwerte)	99
Abbildung 3.3.16 Statistische Kenngrößen der Stickstoff-(N)-Gehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in % TM; (x= Mittelwerte)	100
Abbildung. 3.3.17 Statistische Kenngrößen der Stickstoff-(N)-Gehalte der unterschiedlichen Inputkategorien in % FM (x= Mittelwerte)	100
Abbildung 3.3.18 Statistische Kenngrößen der Gehalte an organischer Substanz bei den unterschiedlichen Inputkategorien in % TM; (x= Mittelwerte)	101
Abbildung 3.3.19 Statistische Kenngrößen der Gehalte an organischer Substanz bei den unterschiedlichen Inputkategorien in % FM; (x= Mittelwerte)	102
Abbildung 3.3.20 Statistische Kenngrößen C/N-Verhältnisse der unterschiedlichen Inputkategorien; (x= Mittelwerte)	103
Abbildung 3.3.21 Wassergehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % der Frischmasse	107
Abbildung 3.3.22 Statistische Kenngrößen der Wassergehalte der verschiedenen Projektkomposte in % FM (x=Mittelwerte)	107
Abbildung 3.3.23 Rohdichten (Meridiane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte	108

Abbildung 3.3.24 Statistische Kenngrößen der Rohdichten der verschiedenen Projektkomposte in g/l Frischmasse (x=Mittelwerte)	109
Abbildung 3.3.25 pH-Werte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Grün- und Biogutkomposten	111
Abbildung 3.3.26 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H <sub>2</sub> O) der unterschiedlichen Projektkomposte (x=Mittelwerte)	111
Abbildung 3.3.27 Salzgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Grün- und Biogutkomposten in g KCl/l Frischmasse	113
Abbildung 3.3.28 Boxplot: Statistische Kenngrößen der Salzgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in g KCl/l Frischmasse (x=Mittelwerte)	113
Abbildung 3.3.29 Lösliche Stickstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten von RAL gütegesicherten Komposten in mg/l FM	115
Abbildung 3.3.30 Gesamtnährstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL-gütegesicherter Komposte in % d. Trockenmasse	118
Abb. 3.3.31 Statistische Kenngrößen der Gesamtnährstoffgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in % d. Trockenmasse (x= Mittelwerte)	120
Abbildung 3.3.32 Gesamtnährstoffgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in kg/m <sup>3</sup> Frischmasse	121
Abbildung 3.3.33 Lösliche Phosphor- und Kaliumgehalte (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in mg/l Frischmasse	121
Abbildung 3.3.34 Statistische Kenngrößen der löslichen Phosphor- und Kaliumgehalte der unterschiedlichen Projektkomposte in mg/l Frischmasse (x=Mittelwert)	122
Abbildung 3.3.35 Durchschnittliche Gehalte an organischer Substanz bei den Projektkomposten im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % der Trockenmasse	123
Abbildung 3.3.36 Durchschnittliche Gehalte an organischer Substanz und Humus C bei den Projektkomposten im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütege3sicherter Komposte in kg/m <sup>3</sup> Frischmasse	123
Abbildung 3.3.37 Gehalt an basisch wirksamen Stoffen (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in % CaO in der Trockenmasse	126
Abbildung 3.3.38 Gehalt an basisch wirksamen Stoffen (Mediane) der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu Durchschnittswerten RAL gütegesicherter Komposte in kg CaO/m <sup>3</sup> Frischmasse	127
Abbildung 3.3.39 Statistische Kenngrößen der Pflanzenverträglichkeit für die unterschiedlichen Projektkomposte (x=Mittelwert)	131
Abbildung 3.3.40 Mischen von Pferdemist und Klee gras mit dem Portalachswender beim Aufsetzten einer Miete (Foto: Gottschall)	136
Abbildung 3.3.41 Miete vor und nach dem Abdecken mit Kompostvlies (Foto: Gottschall)	136

Abbildung 3.3.42 Unbeschädigte Auffangwanne bei Versuchsende (Foto: Zerger)	138
Abbildung 3.3.43 Beschädigte Auffangwanne bei Versuchsende (Foto: Zerger)	138
Abbildung 3.3.44 Sickerwasseranfall während der gesamten Versuchszeit in den beiden Versuchen der Feldrandkompostierung mit und ohne Abdeckung	139
Abbildung 3.3.45 Verlauf des Sickerwasseranfalls im Sommersversuch bei der Feldrandkompostierung mit und ohne Abdeckung	140
Abbildung 3.3.46 Sickerwasseranfall bei der Kompostierung von Festmist ohne Abdeckung und mit Abdeckung Stroh und Silofolie (Quelle: Gottschall et al., 1992)	142
Abbildung 3.3.47 Kompostierung auf Praxisbetrieb (Foto: Zerger)	143
Abbildung 3.3.48 Verlauf CSB-Gehalte im Sickerwasser (mg O <sub>2</sub> /l FM) bei beiden Abdeckungsversuchen	146
Abbildung 3.3.49 Sickerwasseranfall, Rotte- und Nährstoffverluste bei der Kompostierung von Rinderfestmist mit unterschiedlichen Abdeckungen (Quelle: Gottschall et al. 1992)	149
Abbildung 3.3.50 NO <sub>3</sub> -N-Belastung im Boden des Mietenbereichs bei der Feldrandkompostierung mit Abdeckung im Sommer 2022/Herbst und Winter 2022/2023 <sup>2)</sup> (nach der Räumung, 0-90cm)	154
Abbildung 3.3.51 NO <sub>3</sub> -N-Belastung im Boden des Mietenbereichs bei der Feldrandkompostierung mit Abdeckung im Sommer 2023 <sup>1)</sup> (nach Räumung, 0-60cm)	155
Abbildung 3.3.52 Beispiele für problematische Festmist-Außenanlagen vor und nach der Räumung sowie Sickerwasseranfall (Fotos: Gottschall)	159
Abbildung 3.3.53 Gasemissionen der Miete 1	163
Abbildung 3.3.54 Gasemissionen der Miete 2	163
Abbildung 3.3.55 Gasemissionen der Miete 3	163
Abbildung 3.3.56 Gasemissionen der Miete 4	163
Abbildung 3.3.57 Gasemissionen der Miete 9	163
Abbildung 3.3.58 Gasemissionen der Miete 12	163
Abbildung 3.3.59 Gasemissionen der Miete 13	163
Abbildung 3.3.60 Emissionen der Miete 1 im zeitlichen Verlauf	165
Abbildung 3.3.61 Emissionen der Miete 2 im zeitlichen Verlauf	165
Abbildung 3.3.62 Emissionen der Miete 3 im zeitlichen Verlauf	166
Abbildung 3.3.63 Emissionen der Miete 4 im zeitlichen Verlauf	166
Abbildung 3.3.64 Emissionen der Miete 9 im zeitlichen Verlauf	167
Abbildung 3.3.65 Emissionen der Miete 12 im zeitlichen Verlauf	167
Abbildung 3.3.66 Emissionen der Miete 13 im zeitlichen Verlauf	168
Abbildung 3.3.67 Methanverlauf der Miete 13 und 14	169
Abbildung 3.3.68 Ammoniakverlauf der Miete 13 und 14	169

Abbildung 3.3.69 Kohlendioxidverlauf der Miete 13 und 14	169
Abbildung 3.3.70 Lachgasverlauf der Miete 13 und 14	169
Abbildung 3.3.71 Methanverlauf der Miete 2 und 8	170
Abbildung 3.3.72 Ammoniakverlauf der Miete 2 und 8	170
Abbildung 3.3.73 Kohlendioxidverlauf der Miete 2 und 8	170
Abbildung 3.3.74 Lachgasverlauf der Miete 2 und 8	170
Abbildung 3.3.75 Miete 2 am siebten Messtag (Foto: Universität Stuttgart)	171
Abbildung 3.3.76 Miete 8 am siebten Messtag (Foto: Universität Stuttgart)	171
Abbildung 3.3.77 Versuchsaufbau während dem Umsetzen (Foto Universität Stuttgart)	172
Abbildung 3.3.78 Beispielhafte Abgaszusammensetzung (Quelle: Gerigk 2009)	173
Abbildung 3.3.79 Kohlenstoffdioxidverlauf während des Umsetzens	174
Abbildung 3.3.80 Methanverlauf während des Umsetzens	174
Abbildung 3.4.1 Wasserkapazität (Mittelwert in %) der Kompostvarianten des Düngeversuchs	175
Abbildung 3.4.2 Weidelgras-Erntemengen je nach Kompostvariante	175

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.2.1 Art und C/N-Verhältnis von Ausgangsstoffen für die Kompostierung.....	16
Tabelle 2.2.2 Übersicht Parameter und Methoden zur Untersuchung der Rotteinputmaterialien..	17
Tabelle 2.3.1 Betriebsübersicht NHF .....	18
Tabelle 2.3.2 Betriebsübersicht KSM.....	18
Tabelle 2.3.3 Betriebsübersicht BDH.....	19
Tabelle 2.3.4 Betriebsübersicht RIS .....	20
Tabelle 2.3.5 Betriebsübersicht GER .....	20
Tabelle 2.3.6 Betriebsübersicht GAL .....	21
Tabelle 2.4.1 Zentrale Überwachungs- und Steuerungsparameter während des Kompostierungsprozesses.....	32
Tab.2.4.2: Übersicht Parameter und Methoden zur Untersuchung der Kompostqualität .....	36
Tabelle 2.5.1 Versuchsbezeichnungen der eingesetzten Komposte.....	46
Tab. 2.5.2: Randomisierungsplan nach der Ernte.....	50
Tabelle 2.6.1 Übersicht Inhalt Frontladerschaufel .....	57
Tabelle 3.1.1 Bestandsaufnahme Nackterhof (NHF): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung.....	63
Tabelle 3.1.2 Bestandsaufnahme Kleinsägmühlerhof (KSM): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung .....	65
Tabelle 3.1.3 Bestandsaufnahme BioBauern Biedesheim (BDH): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung .....	67
Tabelle 3.1.4 Bestandsaufnahme Gerbachhof (GBH), Hof Gallé (GAL): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung .....	69
Tabelle 3.1.5 Bestandsaufnahme Hof Morgentau (HMT): Rahmenbedingungen für die Umsetzung der gesteuerten Feldrandkompostierung .....	71
Tabelle 3.1.6 Einschätzung der Rohmaterialien hinsichtlich ihrer Eignung als Kompostierungsinput .....	72
Tabelle 3.2.1 Laborergebnisse Kompostproben KSM und NHF.....	84
Tabelle 3.2.2 Ergebnisse Hygieneprozessprüfung.....	85
Tabelle 3.2.3 Rottebegleitende Parameter zu Beginn und Ende des Prüfzeitraumes bei 1. Prüfgang der Hygieneprüfung.....	88
Tabelle 3.2.4 Rottebegleitende Parameter zu Beginn und Ende des Prüfzeitraumes beim 2. Prüfgang der Hygieneprozessprüfung .....	88
Tabelle 3.3.1 Statistische Kenngrößen der unterschiedlichen Inputmaterialmischungen .....	97

Tabelle 3.3.2 Statistische Kenngrößen der pH-Werte (H <sub>2</sub> O) und Salzgehalte der verschiedenen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Komposten .....	110
Tabelle 3.3.3 Statistische Kenngrößen für die unterschiedlichen Stickstofffraktionen der unterschiedlichen Projektkomposte im Vergleich zu RAL gütegesicherten Komposten .....	115
Tabelle 3.3.4 Nährstoffkonzentration im Sickerwasser <sub>1</sub> (mg/l FM) bei den beiden VELKO-Abdeckungsversuchen.....	145
Tabelle 3.3.5 Konzentrationen relevanter Parameter in Sickerwasser aus der Kompostierung organischer Reststoffe und Wirtschaftsdünger <sup>1)</sup> (nach verschiedenen Autoren).....	147
Tabelle 3.3.6 Berechnung der ausgewaschenen Frachten an N <sub>ges</sub> aus den Monatswerten der Mengenanfälle an Sickerwasser und der N-Konzentrationen im Sickerwasser .....	148
Tabelle 3.3.7 Sickerwasseranfall, Rotte- und Nährstoffverluste bei der Kompostierung von Rinderfestmist mit unterschiedlicher Abdeckung.....	150
Tabelle 3.3.8 Maßnahmenpaket für eine fachgerechte Feldrandkompostierung und zur Minimierung von N <sub>min</sub> -Auswaschungen .....	160
Tabelle 3.3.9 Zuordnung Datum und Messtag .....	161
Tabelle 3.3.10 Messergebnisse der Mieten mit Volumenbezug (mg/m <sup>3</sup> s).....	161
Tabelle 3.3.11 Gesamtemissionen in CO <sub>2</sub> -Äqu. ....	164
Tabelle 3.3.12 Absolute und prozentuale Unterschiede der gemessenen Werte bei den Mieten 2 und 8.....	171
Tabelle 3.3.13 Vergleich der Emissionen vor, während und nach dem Umsetzen .....	174
Tabelle 3.4.1 Weidelgras-Trockenmasse (in Gramm) der fünf untersuchten Kompostvarianten je nach Erntedatum und Tisch.....	176
Tabelle 3.5.1 Arbeitszeitbedarf für das Umsetzen (Wender).....	179
Tabelle 3.5.2 Verfahrenskosten der Arbeitsgänge anhand der KTBL-Datenbank MaKost.....	181
Tabelle 3.5.3 Zusammenstellung ermittelte Arbeitszeit und Verfahrenskosten der Feldrandmietenkompostierung.....	182
Tabelle 3.7.1 Definition Feldrandkompostierung vs Anlage .....	188
Tabelle 9.3.1 Übersicht Parameter und Methoden der Sickerwasseranalytik.....	224

**Anhang****9.1 Probenahme feste unbehandelte und behandelte Bioabfälle**

1	<p><b>Kurzbeschreibung des Verfahrens (Prinzip)</b></p> <p>Die Probenahme erfolgt auf Basis der Bioabfallverordnung (BioAbfV, § 4 Absatz 9 und Anhang 3, Absatz 1.1) sowie der Güte- und Prüfkriterien für die RAL Gütesicherung von Kompost und Gärprodukten der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate, Kap. I A).</p> <p>Demnach sind die Materialien in dem Zustand zu beproben wie sie an den weiteren Verwendungszweck abgegeben werden. Die Beprobung wird von geschulten und gelisteten Probenehmern gemäß unserem QMS durchgeführt, die in keinem Abhängigkeitsverhältnis mit dem Hersteller der zu beprobenden Materialien stehen.</p> <p>Die Probenahme muss so erfolgen, dass die Repräsentativität und Homogenität der Probe für die beprobte Partie (Charge) gewährleistet ist.</p> <p><u>Begriffsbestimmungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• eine <i>Partie</i> (Charge) ist die Menge eines Düngemittels, die sich nach ihrer Beschaffenheit, Kennzeichnung und räumlichen Zuordnung als eine Einheit darstellt,</li> <li>• eine <i>Einzelprobe</i> ist die Teilmenge einer Partie, die durch einen Entnahmevergang gebildet wird,</li> <li>• eine <i>Sammelprobe</i> ist die Gesamtmenge der einer Partie entnommenen Einzelproben,</li> <li>• eine <i>Endprobe</i> ist eine für die Untersuchung bestimmte Teilmenge einer Sammelprobe oder einer reduzierten Sammelprobe. Im Folgenden wird die Endprobe häufig auch als Laborprobe oder Originalprobe bezeichnet.</li> </ul>
2	<p><b>Benötigte Geräte und Materialien</b></p> <p>Die verwendeten Geräte müssen aus Materialien bestehen, die die Probe hinsichtlich der zu untersuchenden Eigenschaften und Inhaltsstoffe nicht beeinflussen bzw. kontaminieren.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Optional: Tragbarer, motorgetriebener Schraubenbohrer in Schneckenform,</li> <li>2. Radlader, Spaten, Schaufel, Hacke,</li> <li>3. Optional: Sieb mit 10 mm Maschenweite,</li> <li>4. Kunststoffwanne als Sammelgefäß,</li> <li>5. Handfeger, Besen</li> <li>6. Optional: Kunststoffolie zum Ausbreiten der Sammelprobe</li> <li>7. Kunststoffeimer oder 30-1-PE-Beutel für den Probentransport,</li> <li>8. Gläser mit Schraubverschluss</li> <li>9. Probenahmeprotokoll und Probenahmeetikett</li> <li>10. Sprühflasche mit Desinfektionsmittel (Sterillium, classic pur) zum Desinfizieren von Gerätschaften</li> <li>11. Papierhandtücher</li> </ol>

### 3 Durchführung

1	<p>Die Probenahme wird durch vollständiges Ausfüllen des Probenahmeprotokolls dokumentiert. Das Probenahmeprotokoll muss von Probenehmer und Auftraggeber bzw. einer beauftragten Person unterschrieben werden.</p> <p>Abweichungen, die während der Probenahme auftreten sind zu dokumentieren.</p>
2a	<p>Vor der Probenahme sind alle Gerätschaften die zur Probenahme benötigt werden zu desinfizieren. Dazu werden alle Gerätschaften mit dem Desinfektionsmittel besprüht/benetzt, und nach einer Einwirkzeit von ca. 5 Minuten und mit Papiereinem Tuch trocken gewischt.</p>
2b	<p>Um eine repräsentative Probe zu erhalten, ist das erforderliche Volumen der Einzelproben abhängig von der Korngröße der zu untersuchenden Charge. Bei einer Charge mit einer Korngröße bis 20 mm beträgt das Volumen der Einzelprobe 2 Liter und bei einer Korngröße &gt; 20 mm sind 3 Liter je Einzelprobe zu nehmen.</p>
	<p>Die Anzahl der zu nehmenden Einzelproben ist abhängig von Menge der zu untersuchenden Charge.</p> <p>Größe der Charge: &lt; 500 m<sup>3</sup> → mind. 20 Einzelproben</p> <p>Größe der Charge: &gt; 500 m<sup>3</sup> → mind. 40 Einzelproben</p>
3	<p>Abhängig von der Chargengröße sind an 20 bis 40 Stellen, die gleichmäßig über die zu beprobende Charge verteilt sind, Einzelproben zu entnehmen. Mit Hilfe der Schaufel, Harke oder Schraubenbohrers werden in verteilt über die gesamte Höhe und circa 0,5 m Tiefe die vorgesehene Anzahl an Einzelproben mittels Schaufel entnommen.</p> <p>HINWEIS für Mieten mit Höhe von &lt; 2,0 Meter: Kann für die Beprobung einer Charge der Radlader eingesetzt werden, dann werden bei einer Chargengröße bis 500 m<sup>3</sup> 2 Profile und bei mehr als 500 m<sup>3</sup> 4 Profile freigelegt. Vom Querschnitt jedes Profils werden dann entweder circa 30 Liter abgetragen oder es werden gleichmäßig über das Profil verteilt die erforderliche Anzahl Einzelproben genommen. Bei abgesackter Ware sind von mindestens 10 Säcken jeweils ca. 5 Liter zu einer Sammelprobe zu vereinigen.</p>
4	<p>Verfahren 1: Die Einzelproben werden auf einer festen, ebenen, glatten und sauberen Unterlage zu einem Kegel aufgehäuft, wobei der jeweils auf die Kegelspitze aufzugebende Probenteil möglichst gleichmäßig nach allen Seiten ablaufen soll. Anschließend wird die gehäufte Sammelprobe vom Fuß her aufgenommen und auf die gleiche Weise zu einem neuen Kegel umgesetzt. Dieser Mischvorgang ist insgesamt 3 mal zu wiederholen. Zum Herstellen der Endprobe ist die homogenisierte Sammelproben zu verjüngen. Hierzu wird ein Probenteilkreuz auf die Folie gelegt. Dann wird der Kegel zu einer flachen Torte (Höhe circa 10 cm) aufgeschüttet. Jeweils ein Viertel (circa 25 %) der Sammelprobe wird verworfen und die restliche Sammelprobe erneut gemischt und erneut durch Teilung verjüngt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt bis das Volumen Endprobe</p>

	<p>von mindestens 15 Liter erreicht wurde. Bei größeren Sammelproben können bei der Probenteilung auch zwei gegenüberliegende Probenviertel verworfen werden. Der Verjüngungsvorgang ist jedoch mindestens 2 mal durchzuführen.</p>
5	<p><b>Verfahren 2</b></p> <p>Die abgenommen Einzelproben werden durch mindestens 5 maliges Umschütten von Kunststoffwanne zu Kunststoffwanne homogenisiert. Das Wannenvolumen muss mind. 60 Liter betragen. Für die Probenteilung werden 3 große rechteckige Wannen benötigt. In einer Wanne befindet sich die Sammelprobe. Zwei leere Wannen werden parallel bündig nebeneinander gestellt. Beim Ausschütten der Wanne der Sammelproben wird das Probenmaterial zu gleichen Teilen in die beiden Wannen entleert. Der Inhalt einer Wanne wird verworfen. Die verbliebene Sammelprobe wird erneut gemischt und erneut durch Teilung verjüngt. Dieser Verjüngungsschritt wird solange wiederholt bis das Volumen der Endprobe von mindestens 15 Liter erreicht wird. In der Regel ist dies nach zwei Verjüngungsschritten erreicht.</p> <p>Liegen nach dem letzten Verjüngungsschritt mehr als 15 Liter, für einen weiteren Verjüngungsschritt allerdings zu wenig Probenmaterial vor, ist die komplette Probe als Endprobe zu betrachten und diese an das Labor weiterzugeben.</p>
6	<p>Die Endprobe ist in sauberen, luftdicht- und wasserdichten Behälter oder stabilen Kunststoffstoffsack zu füllen. Die Probenverpackung ist mit den Angaben zur Proben-identifizierung zu kennzeichnen (Probenehmer, Chargenbezeichnung, Herkunft und Datum), so dass eine eindeutige Zuordnung zum Probenahmeprotokoll gegeben ist. Werden Eimer als Probenverpackung eingesetzt, so ist die Kennzeichnung immer auf dem Eimer anzubringen und niemals auf dem Deckel.</p> <p><b>Optional:</b></p> <p>Nach Absprache werden 5 Liter Material aus der homogenisierten Sammelprobe in einem Plastikbeutel oder Plastikeimer als Rückstellmuster beim Hersteller hinterlegt.</p>
7	<p>Die Probe ist nach der Probenahme unverzüglich (max. nach 48 Stunden) in das untersuchende Labor einzuliefern.</p>

## 9.2 Schema: Kompost-Bonitur

**HUMUS-UND  
ERDEN KONTOR**
**KOMPOST- BONITUR**

**Achtung:** Diese Bonitur ersetzt nicht die Labor-  
analysen, sondern hat orientierenden Charakter!

**Bewertungsschema GERUCHLICHE EIGENSCHAFTEN**

Boniturnote	Merkmal
E	nach guter Walderde/ Gartenerde
N	neutral
P	nach Pilzen
⊗	unangenehm bis abstoßend (z.B. säuerlich, stechend, faulig, nach Mist, nach Rohmaterial)

**Bewertungsschema FEUCHTIGKEIT**

Boniturnote	Merkmal
1	optimale Feuchte - staubt nicht, glänzt nicht; Faustprobe: kaum formbar, nur winzige Klümpchen, etwas Schmutzrückstand in den Fingerrillen
2	gute Feuchte - staubt nicht, glänzt nicht; Faustprobe: etwas formbar, kleine Klümpchen, keine Wasserperlen zwischen den Fingern; deutlicher Schmutzrückstand in den Fingerrillen
3 T	etwas zu trocken - staubt, leicht mattes Aussehen, Faustprobe: kaum formbar, Pressprobe zerfällt; leichter Schmutzrückstand in den Fingerrillen- etwas wasserabweisend
3 F	etwas zu feucht - silbrig-glänzendes Aussehen, gut formbar, grobklumpig, Faustprobe: Wasserperlen treten zwischen den Fingern aus; Fingerkuppen flächig verschmutzt
4 T	deutlich zu trocken - staubt, mattes, gräuliches Aussehen, hart, körnig, Faustprobe: nicht formbar, kein Schmutzrückstand in den Fingerrillen
4 F	deutlich zu nass - matschig, silbrig-glänzendes Aussehen, großklumpig, Faustprobe: deutlicher Presswasseraustritt zwischen den Fingern, Fingerkuppen ganzflächig verschmutzt

**Bewertungsschema ZERSETZUNGSGRAD / STRUKTUR**

Boniturnote	Merkmal
1	völlig zersetzt, kein Strukturanteil mehr erkennbar, erdig
2	weitgehend zersetzt, geringer Strukturanteil, kleine Strukturanteile leicht zerreibbar, krümelig (außer bei hohen Sandanteilen), hoher Feinanteil
3	mäßig zersetzt, mäßiger Strukturanteil, deutlicher Feinanteil sichtbar
4	schwach zersetzt, Ausgangsmaterialien z. T. noch erkennbar (z.B. Laub, Streu), geringer Feinanteil, hoher Strukturanteil
5	Ausgangsmaterialien sehr gut erkennbar, kaum zersetzt, kein bzw. unerheblicher Feinanteil

**Gesamteinschätzung ROTTEFortschritt / REIFEZustand Kompost**

Boniturnote	Merkmal
1	„Reifkompost“; stark mineralisiert ⇒ erdiges Aussehen, Geruch neutral oder nach guter Pflanzenerde; Farbe dunkelbraun bis schwarz
2	„Fertigkompost“; stabile, locker aneinander gelagerte Krümel, die ohne großen Widerstand in der Hand zerbröseln; selbst „hartnäckige“ Rohstoffe (z.B. Aststücke) weitestgehend zersetzt; Geruch neutral bis walderdeähnlich; Farbe dunkelbraun bis schwarz
3	Fortgeschrittener Reifezustand von „Frisch“ zu „Fertigkompost“; Krümelbildung erkennbar, Geruch meist pilzig oder leicht muffig, Farbe dunkelbraun
4	Frischkompost, leichte zersetzbare Rohmaterialien z.T. noch erkennbar (z.B. Laub); wenig Krümel; ausgeprägter Rottegeruch nach den Ausgangsmaterialien (z.B. harzig, nach Bioabfällen)
5	Ausgangsmaterialien gut erkennbar, Farbe uneinheitlich hellbraun bis mittelbraun, starker Geruch (meist unangenehm, z.B. säuerlich)

Bei der Einschätzung zu beachten ist, dass

- je höher die Feuchtigkeit ist, desto dunkler ist die Farbe!
- wenn der Kompost ausgetrocknet ist, er in allen Rottestadien geruchlos sein oder leicht muffig riechen kann!

### 9.3 Untersuchung Sickerwasserproben

Auflistung der untersuchten Parameter sowie der angewandten Methoden für die Sickerwasseruntersuchungen

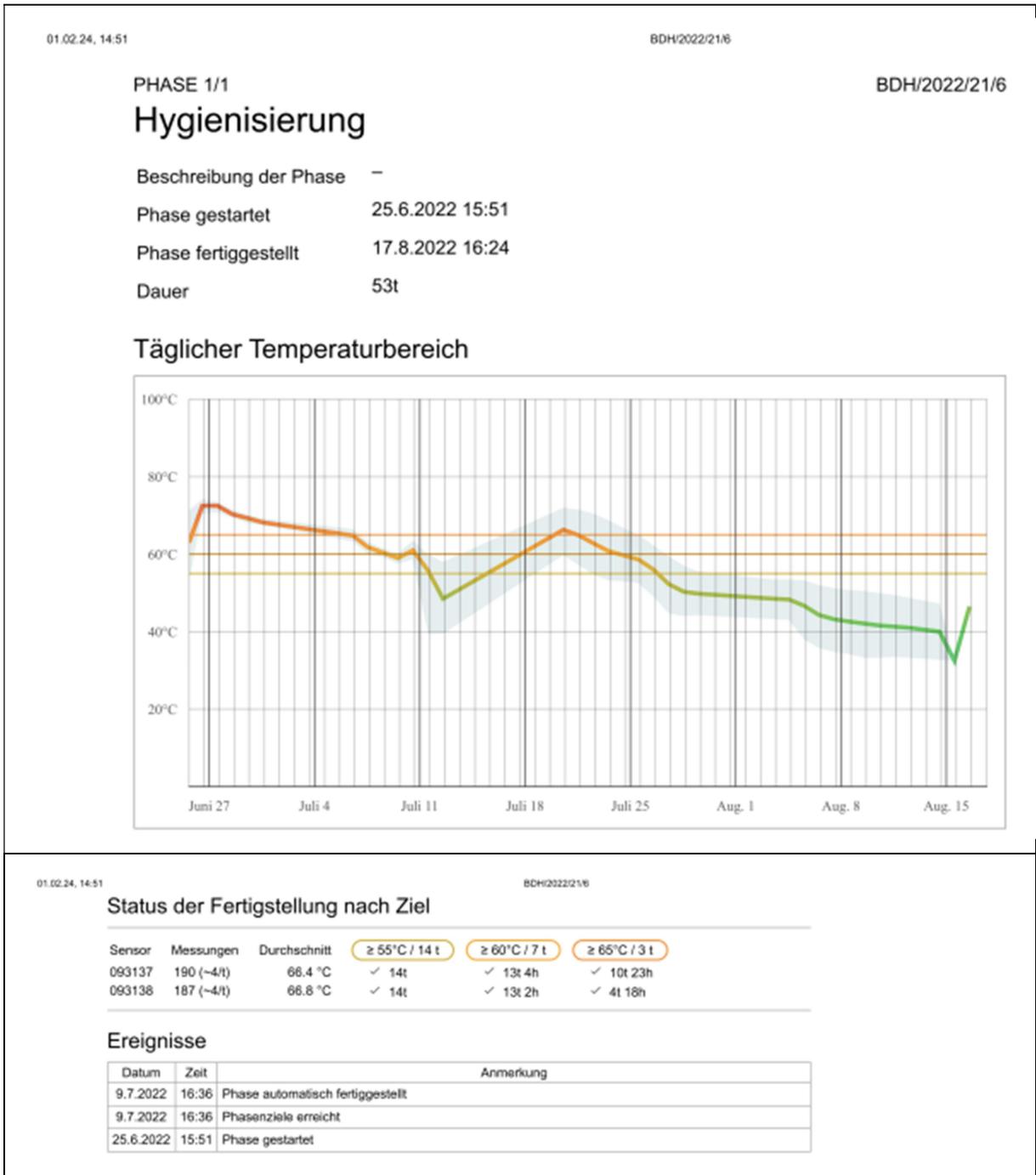
Tabelle 9.3.1 Übersicht Parameter und Methoden der Sickerwasseranalytik

Parameter	Methode
Leitfähigkeit	DIN EN 27888: 1993-11
pH-Wert	DIN EN 12176: 1998-06
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	DIN EN ISO 11732: 2005-05
Nitrat (NO <sub>2</sub> )	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07
Stickstoffges. gebunden (TNb)	DIN EN 12260: 2003-12
Chlorid (Cl)	DIN EN ISO 10304-1: 2009-07
Schwefel (S) ges.	DIN EN 11885: 2009-09
Magnesium (Mg)	DIN EN 11885: 2009-09
Natrium(Na)	DIN EN 11885: 2009-09
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	DIN 38409-41-2: 1980-12
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> )	DIN EN 1899-1: 1998-05

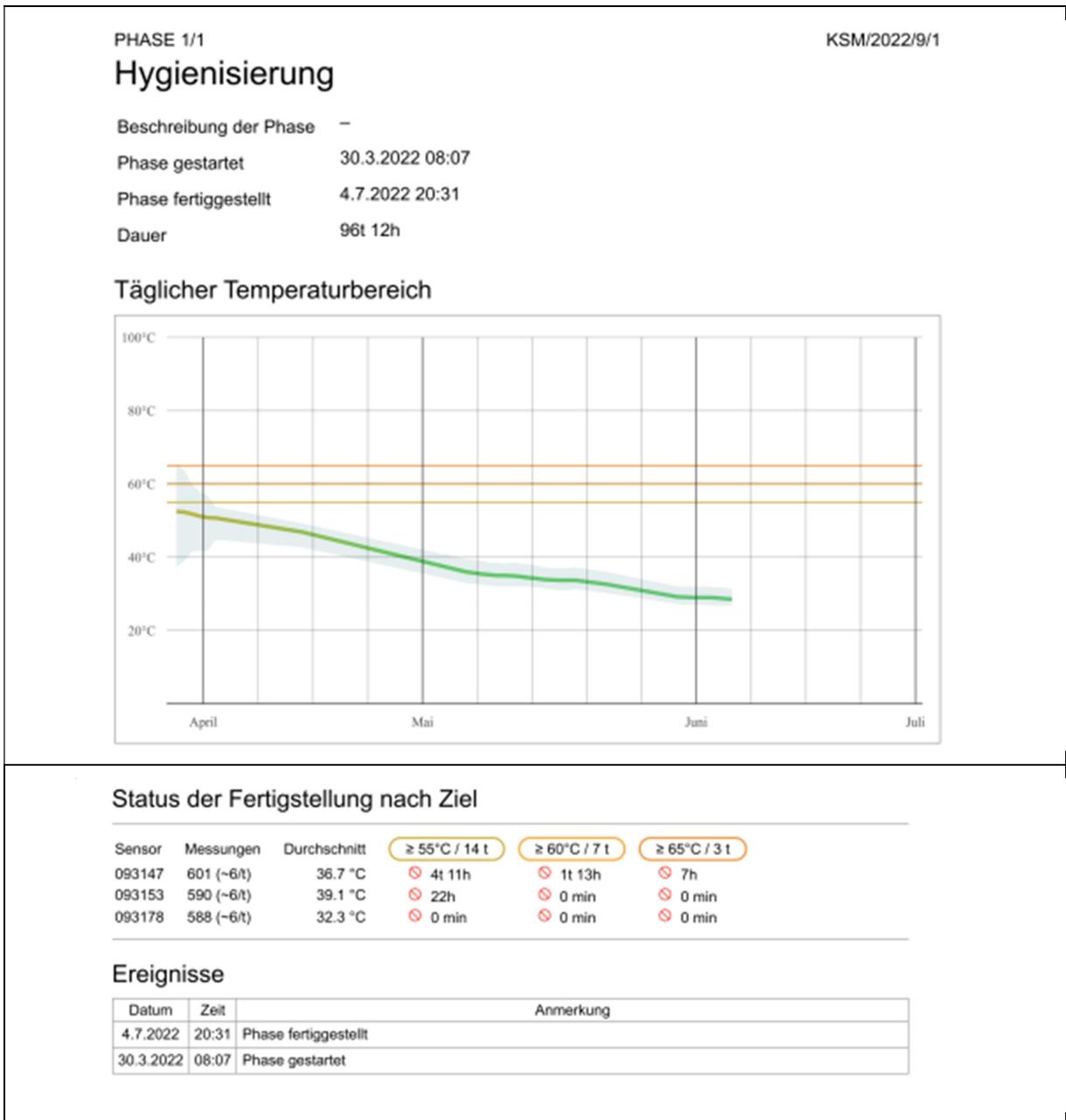
## 9.4 Temperaturverläufe einzelner Mieten

**Hinweis:** Nachfolgende Abbildungen dokumentieren die Temperaturverläufe an den gemessenen Mieten. Aufgrund unterschiedlicher Einflussfaktoren haben einzelne Mieten die Hygienisierung nicht erreicht (siehe Kap. 2.4.1). Aufgrund technischer Probleme sind zudem einzelne Verläufe zeitlich verkürzt dargestellt.

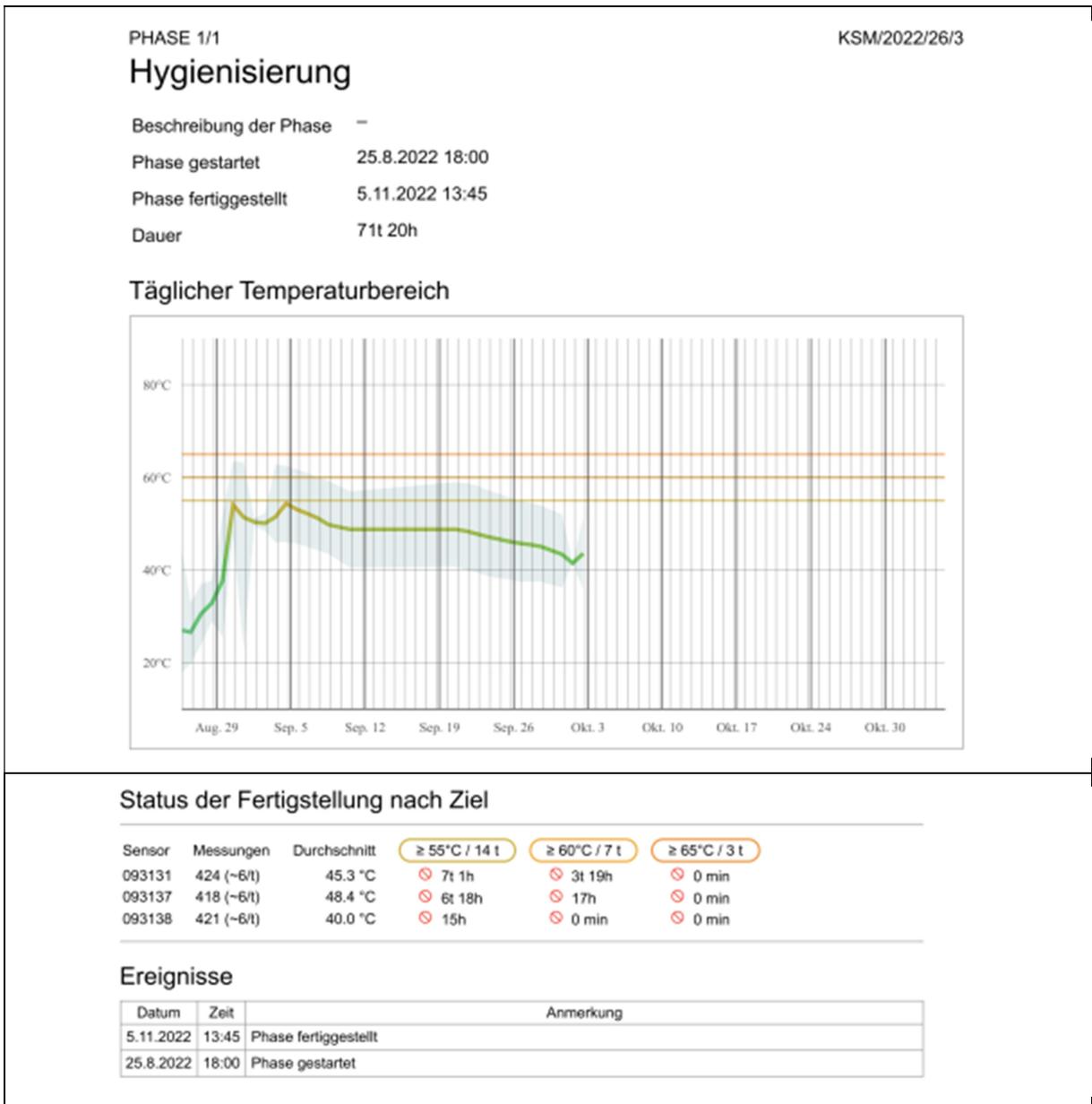
### Temperaturverlauf Miete BDH/2022/21/6



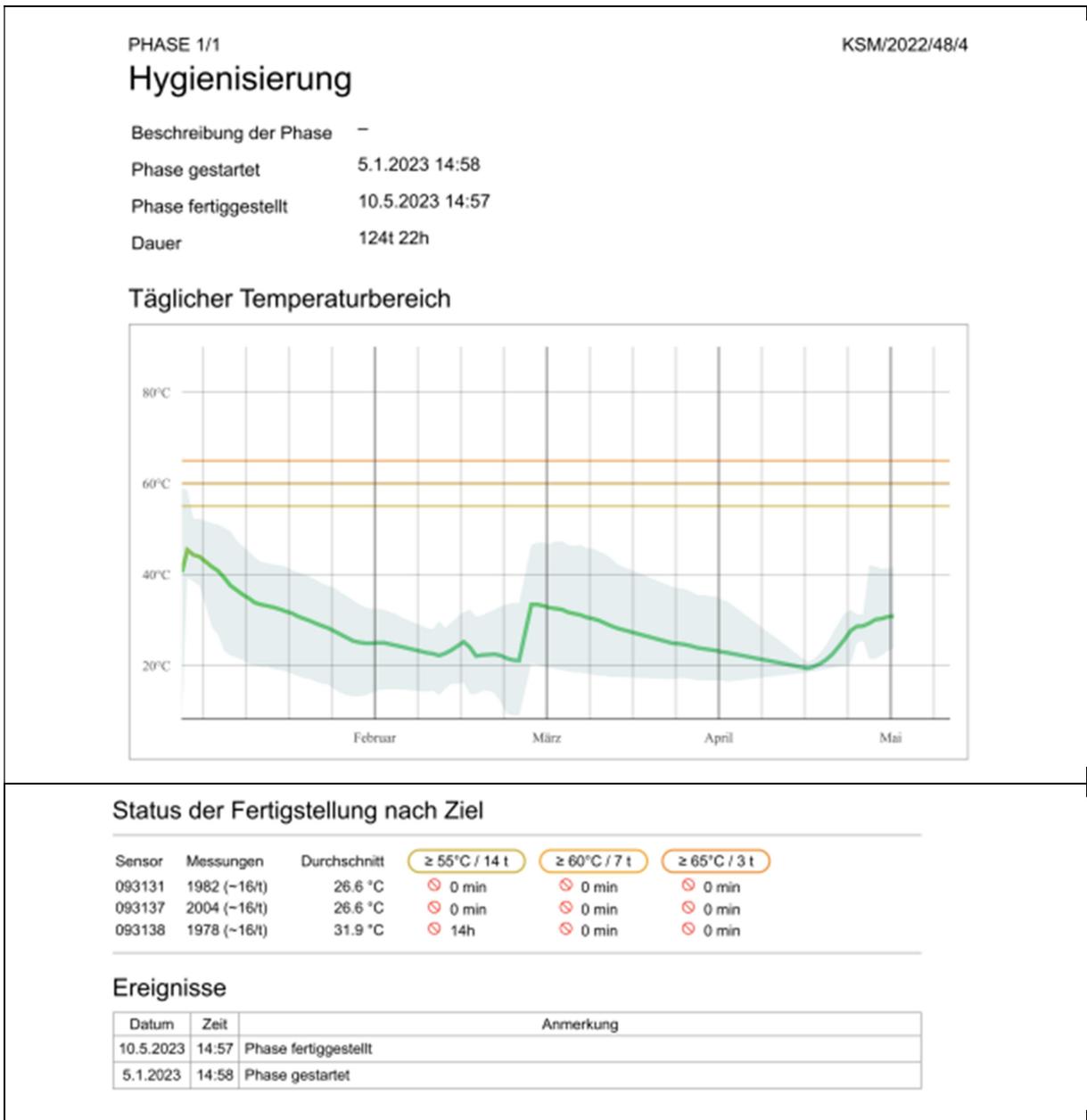
## Temperaturverlauf Miete KSM/2022/9/1



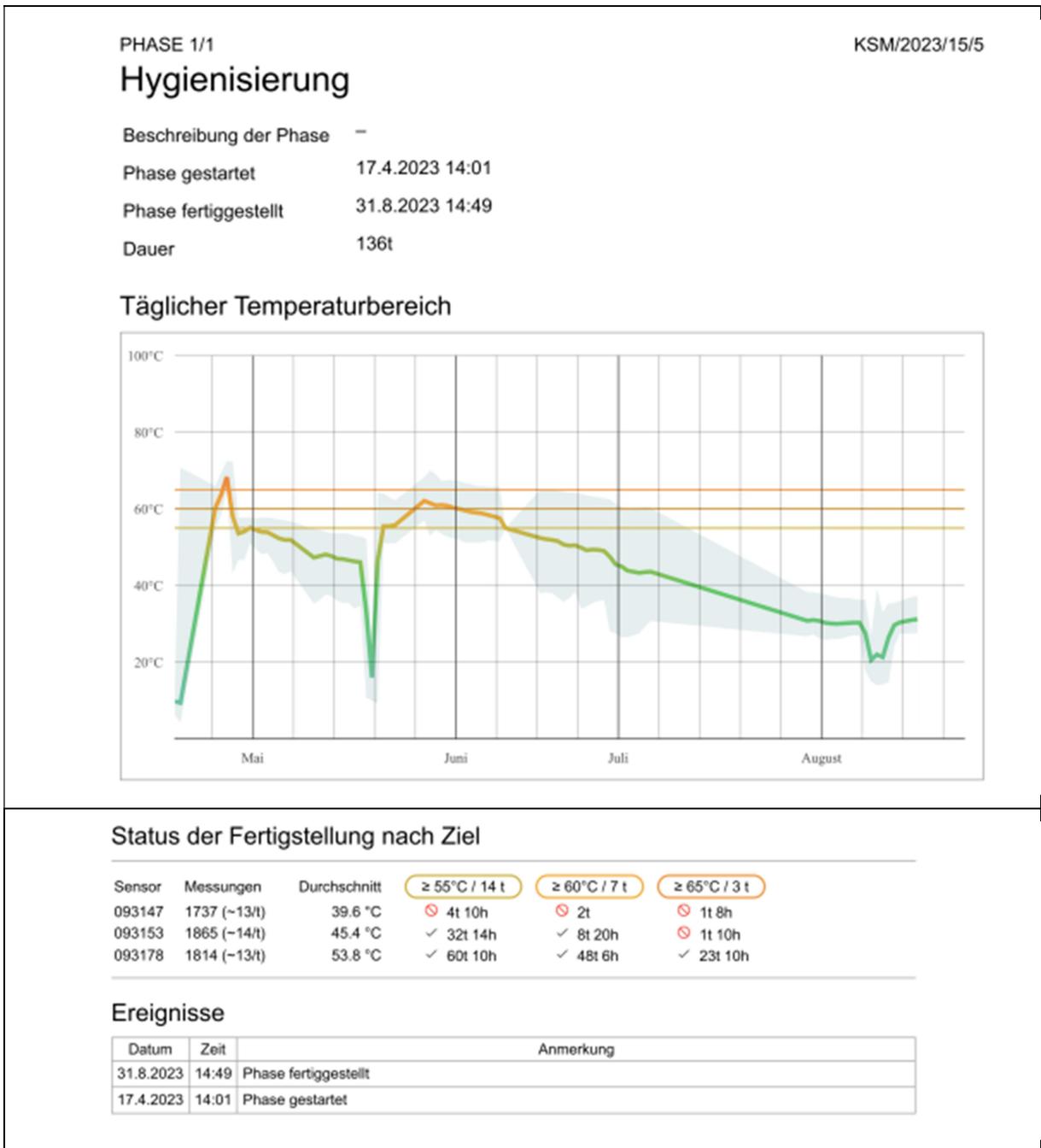
## Temperaturverlauf Miete KSM/2022/26/3



## Temperaturverlauf Miete KSM/2022/48/4



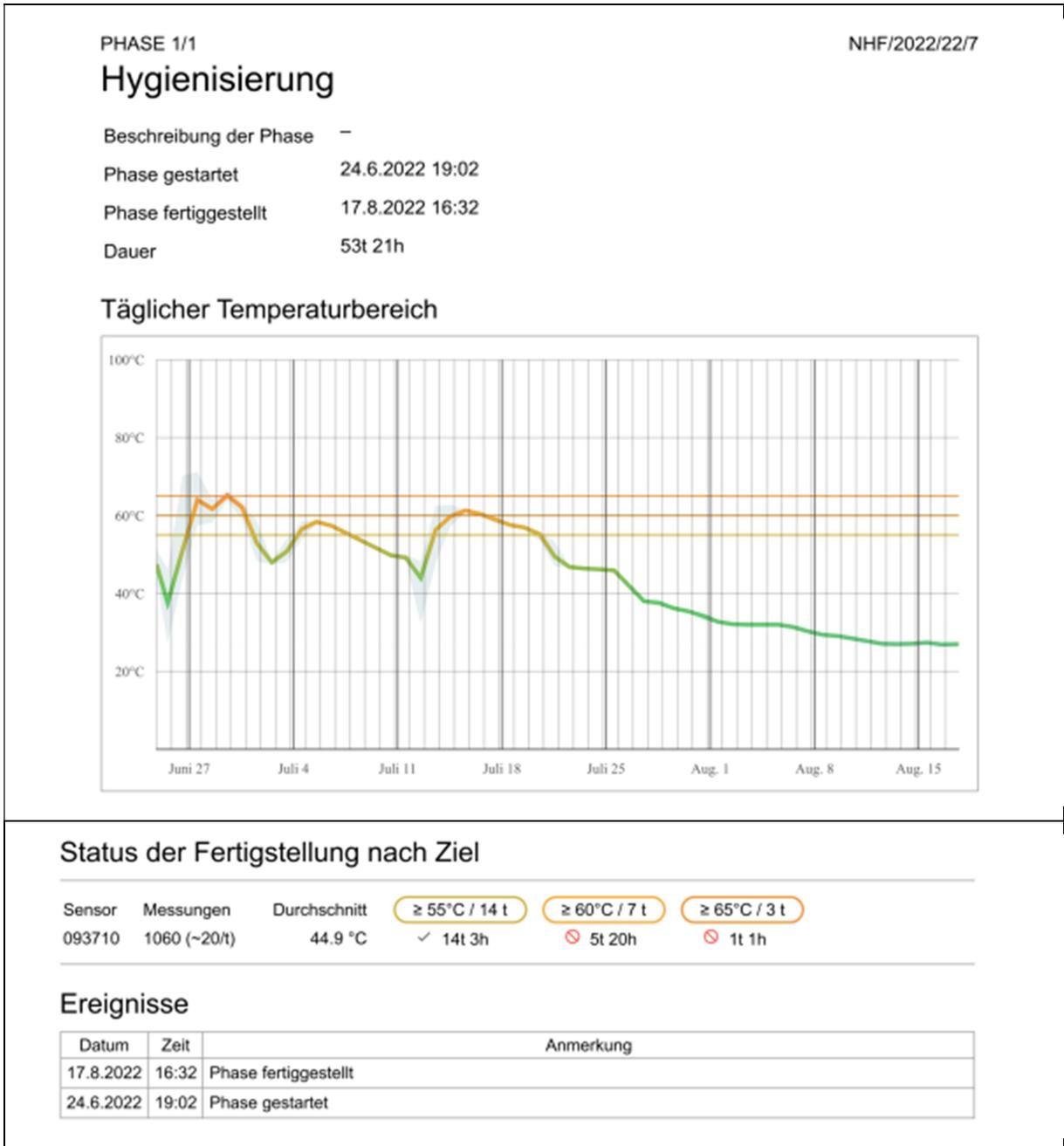
## Temperaturverlauf Miete KSM/2023/15/5



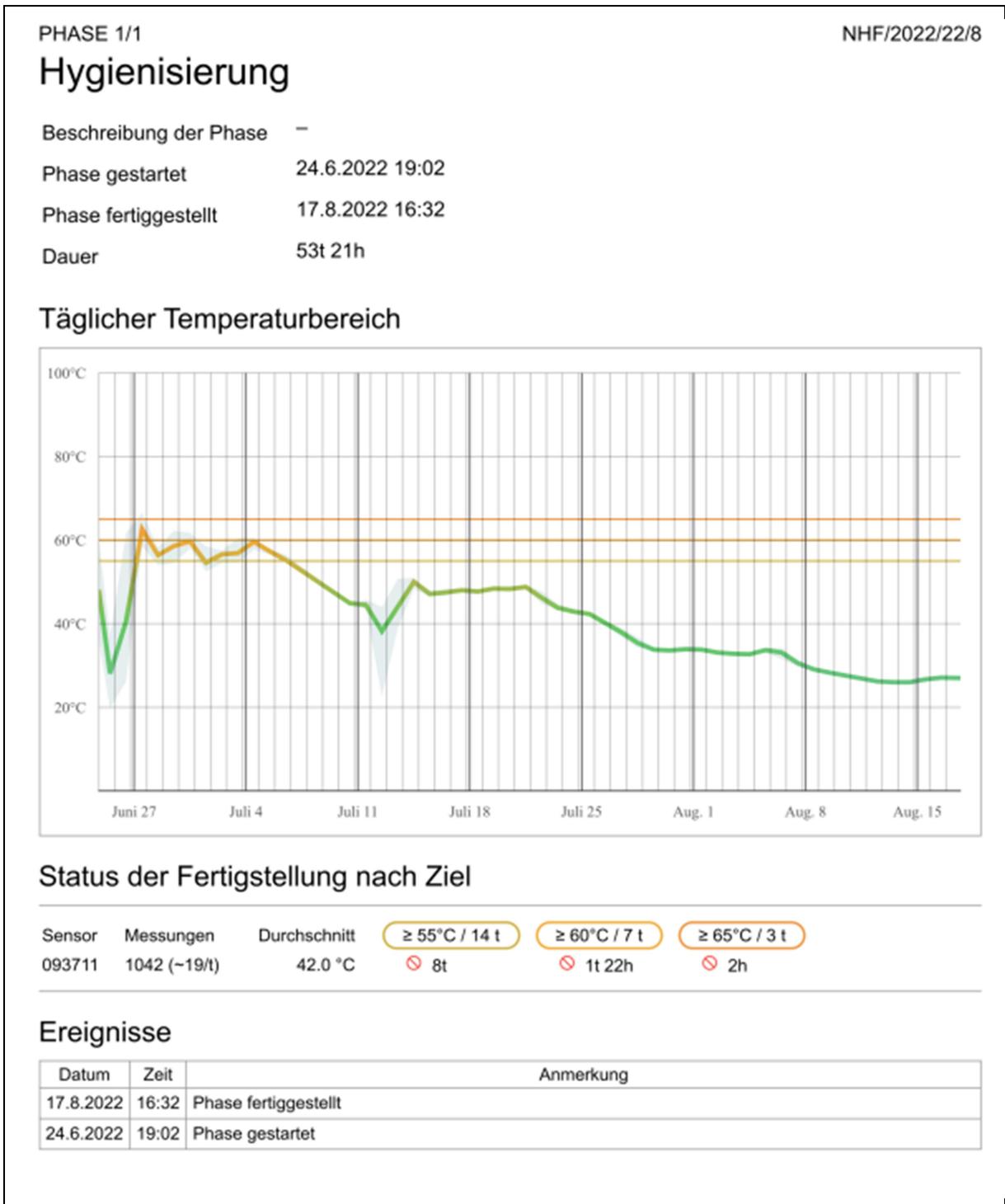
**Temperaturverlauf Miete NHF/2022/9/6 (zwei Messungen für zwei Phasen)**



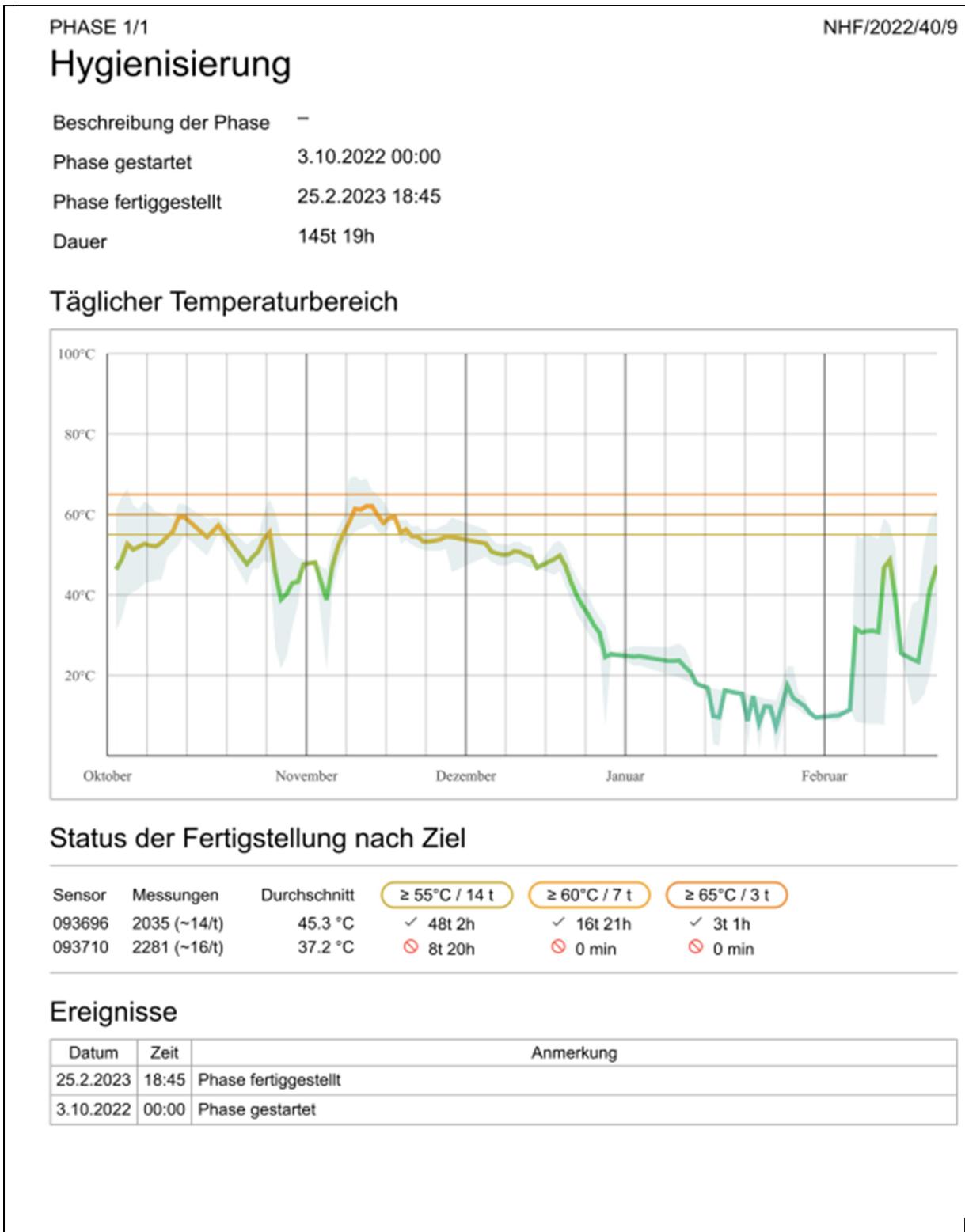
## Temperaturverlauf Miete NHF/2022/22/7



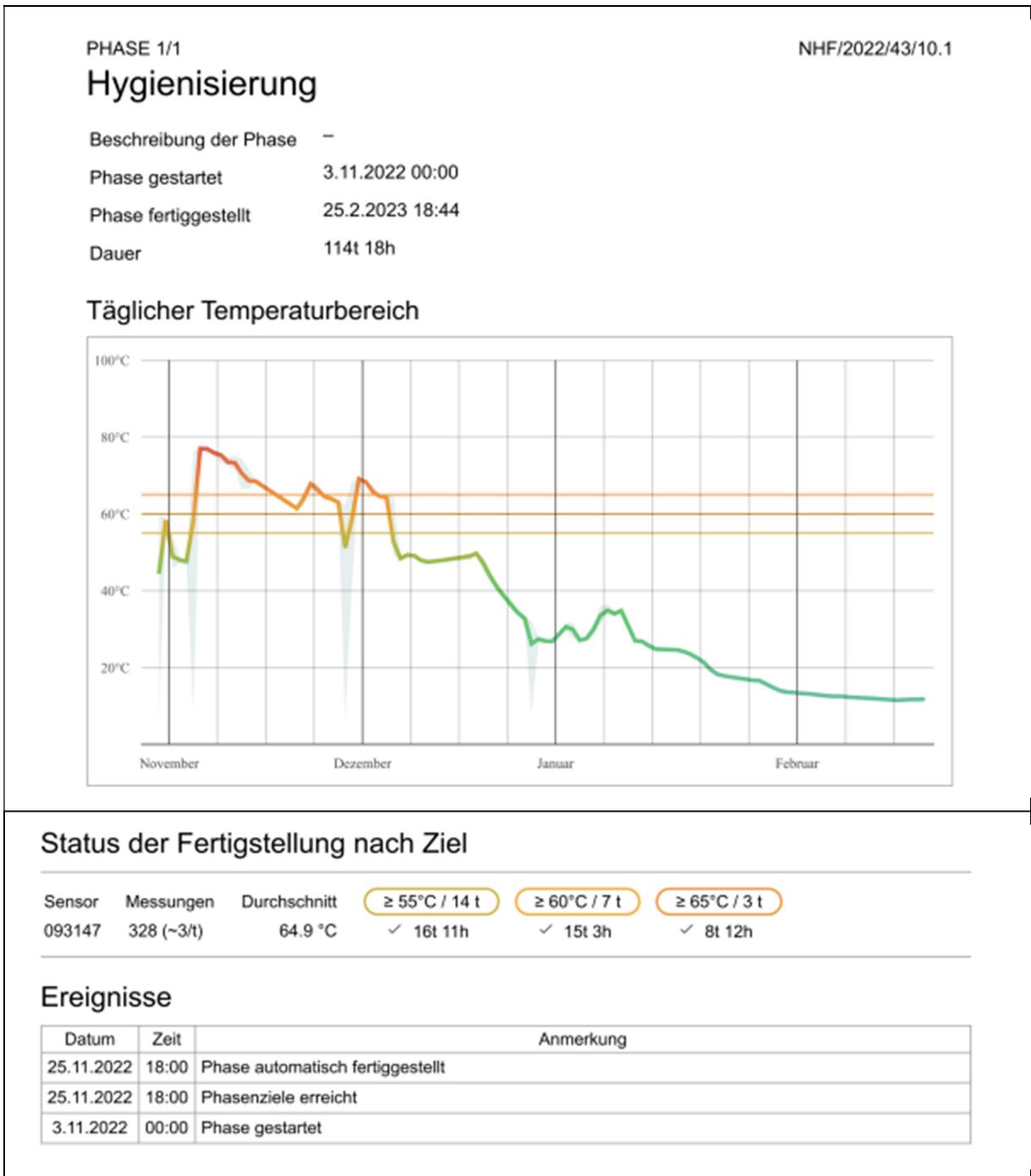
## Temperaturverlauf Miete NHF/2022/22/8



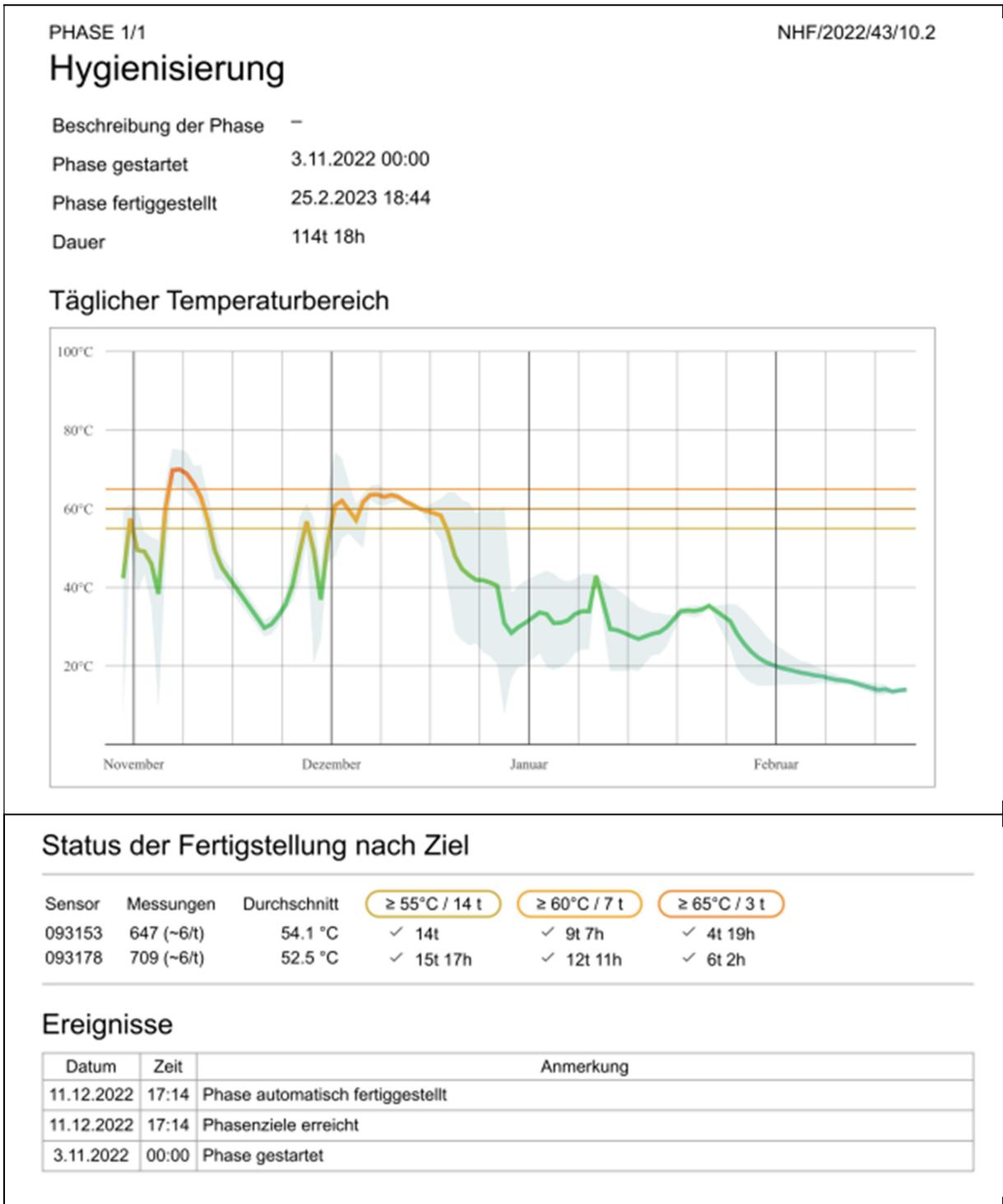
## Temperaturverlauf Miete NHF/2022/40/9



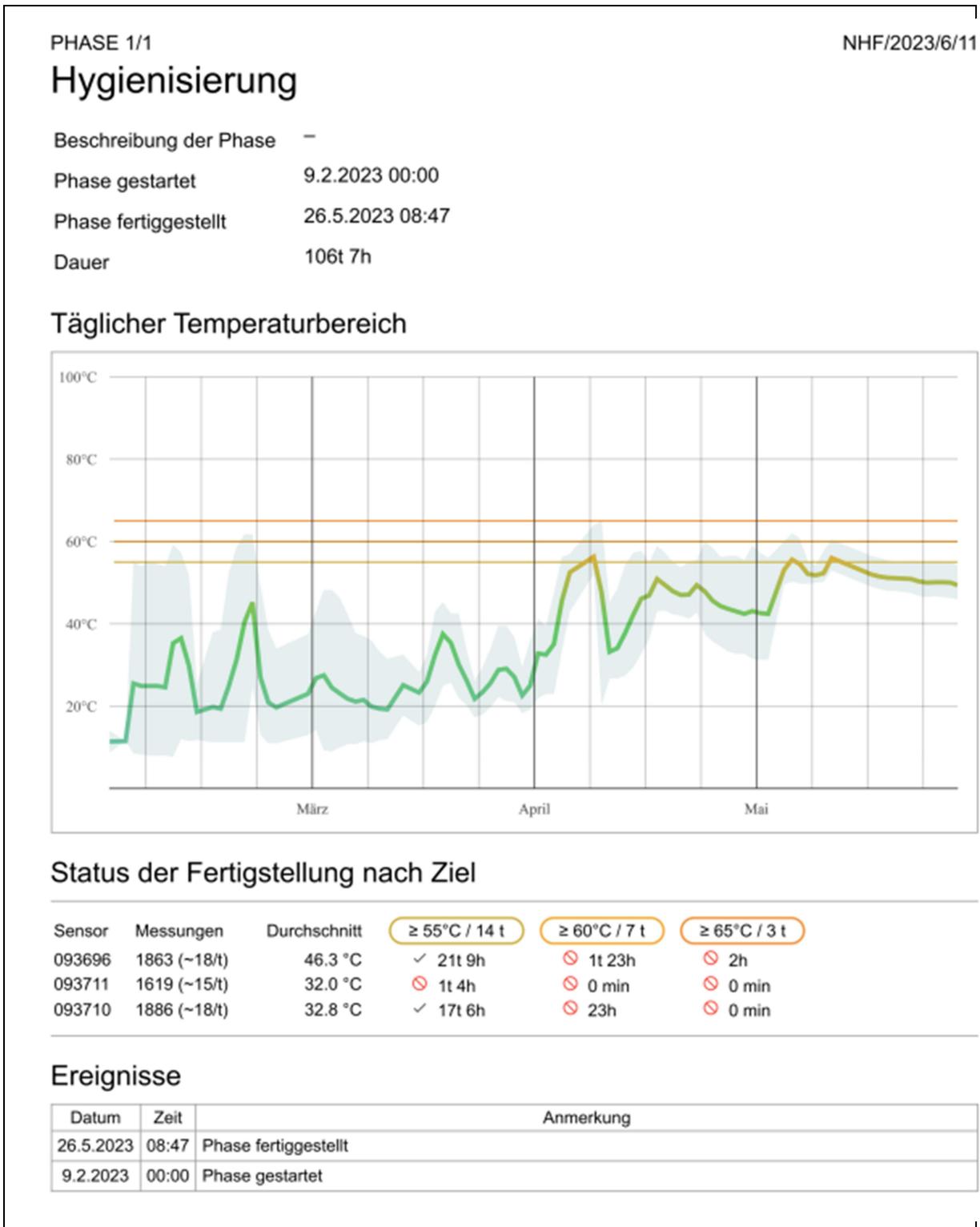
## Temperaturverlauf Miete NHF/2022/43/10.1



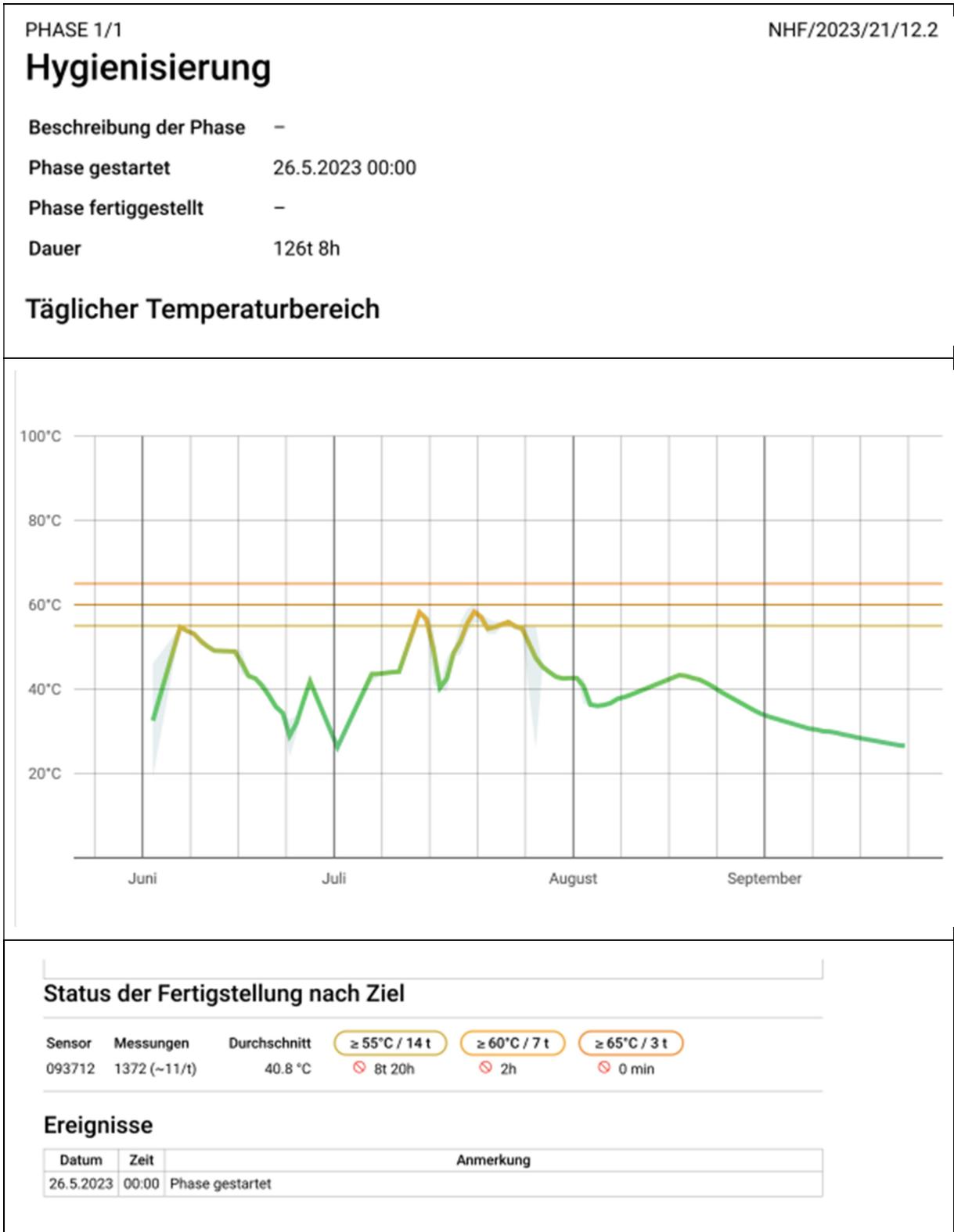
## Temperaturverlauf Miete NHF/2022/43/10.2



## Temperaturverlauf Miete NHF/2023/6/1



**Temperaturverlauf Miete NHF/2023/21/12.2**



**Temperaturverlauf Miete NHF/2023/21/12.3**

PHASE 1/1
NHF/2023/21/12.3

## Hygienisierung

**Beschreibung der Phase** -

**Phase gestartet** 26.5.2023 00:00

**Phase fertiggestellt** -

**Dauer** 126t 9h

### Täglicher Temperaturbereich

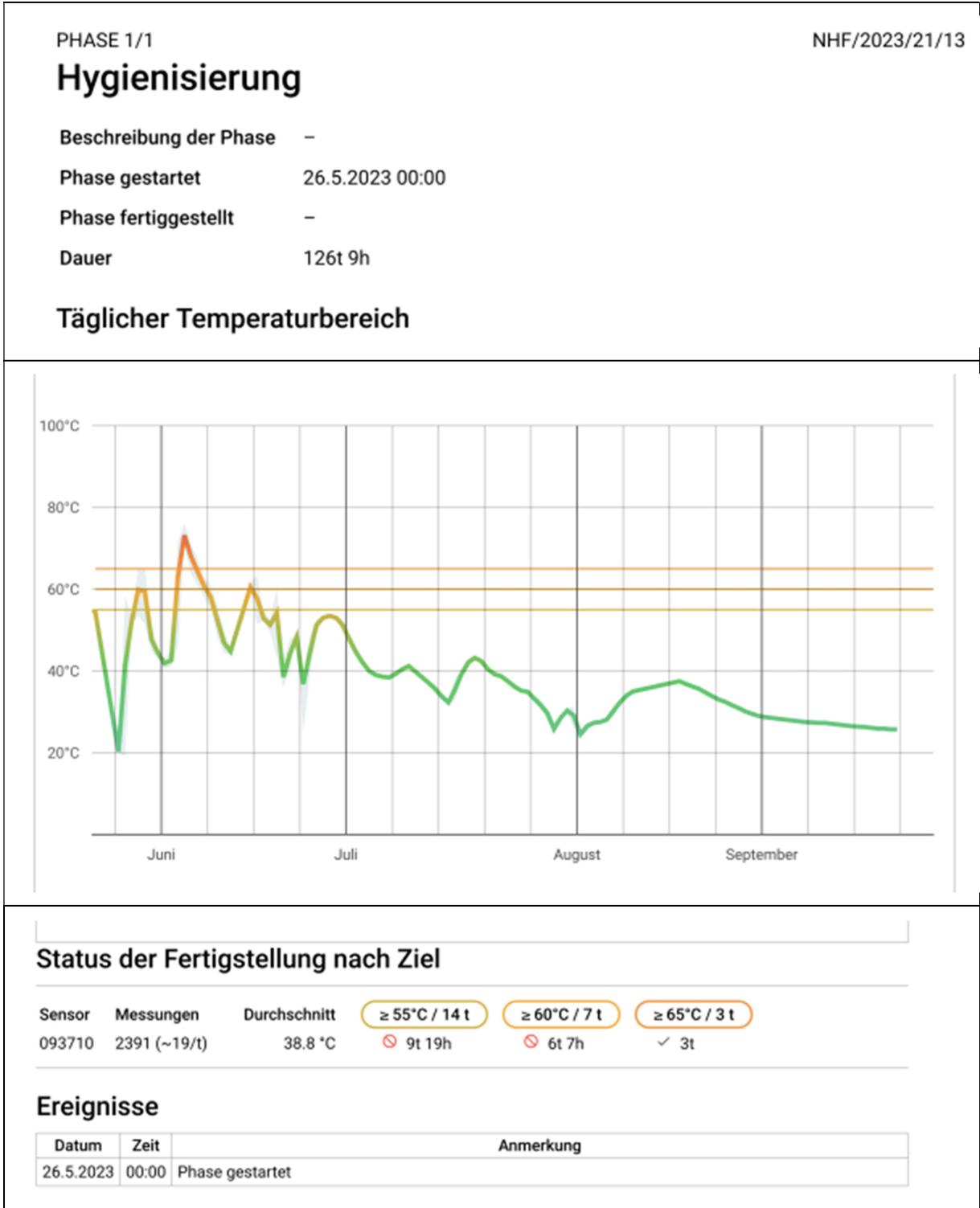
#### Status der Fertigstellung nach Ziel

Sensor	Messungen	Durchschnitt	≥ 55°C / 14 t	≥ 60°C / 7 t	≥ 65°C / 3 t
093696	711 (~6/t)	52.1 °C	✓ 18t 23h	✓ 10t 3h	✓ 3t

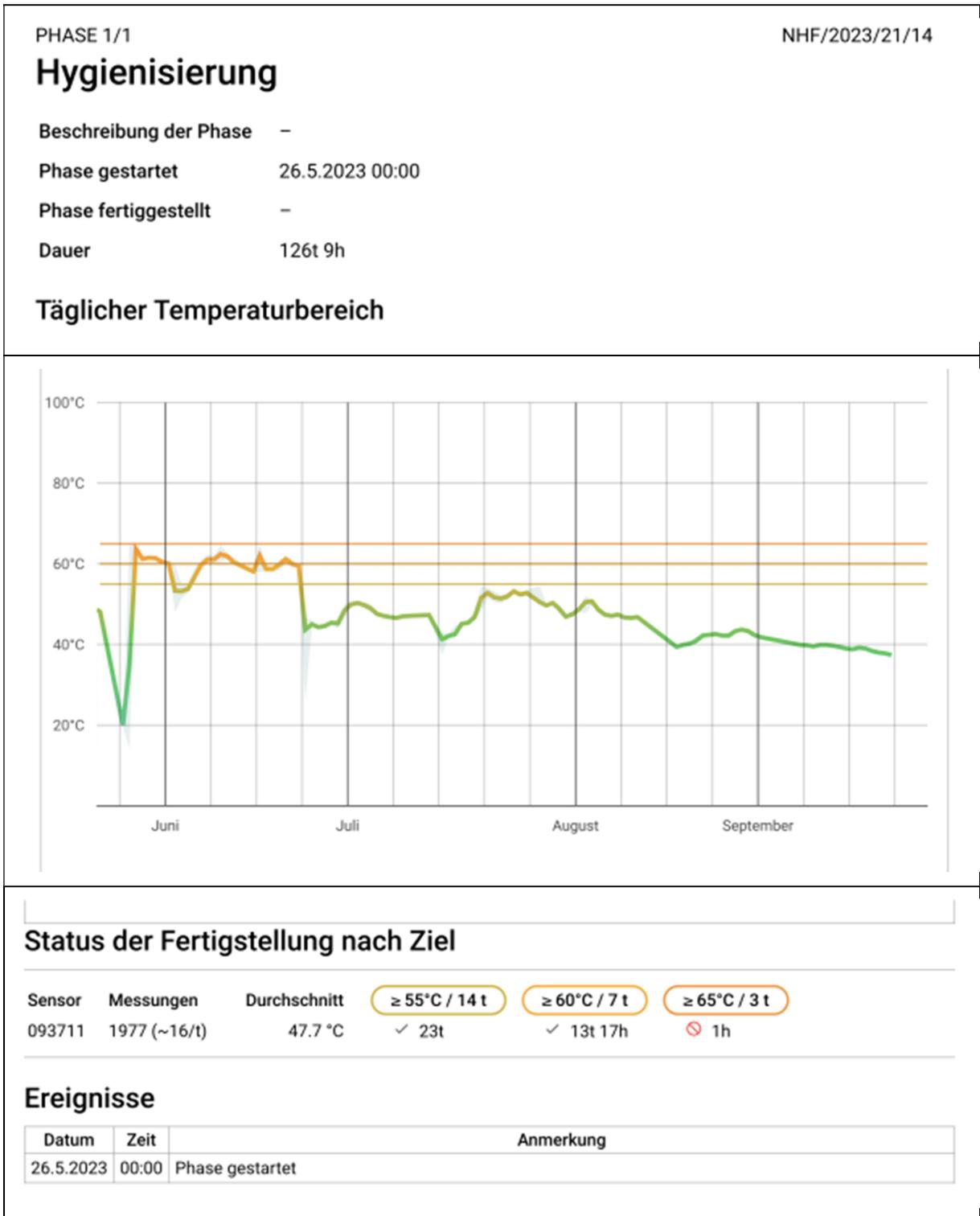
#### Ereignisse

Datum	Zeit	Anmerkung
1.7.2023	13:49	Phase automatisch fertiggestellt
1.7.2023	13:49	Phasenziele erreicht
26.5.2023	00:00	Phase gestartet

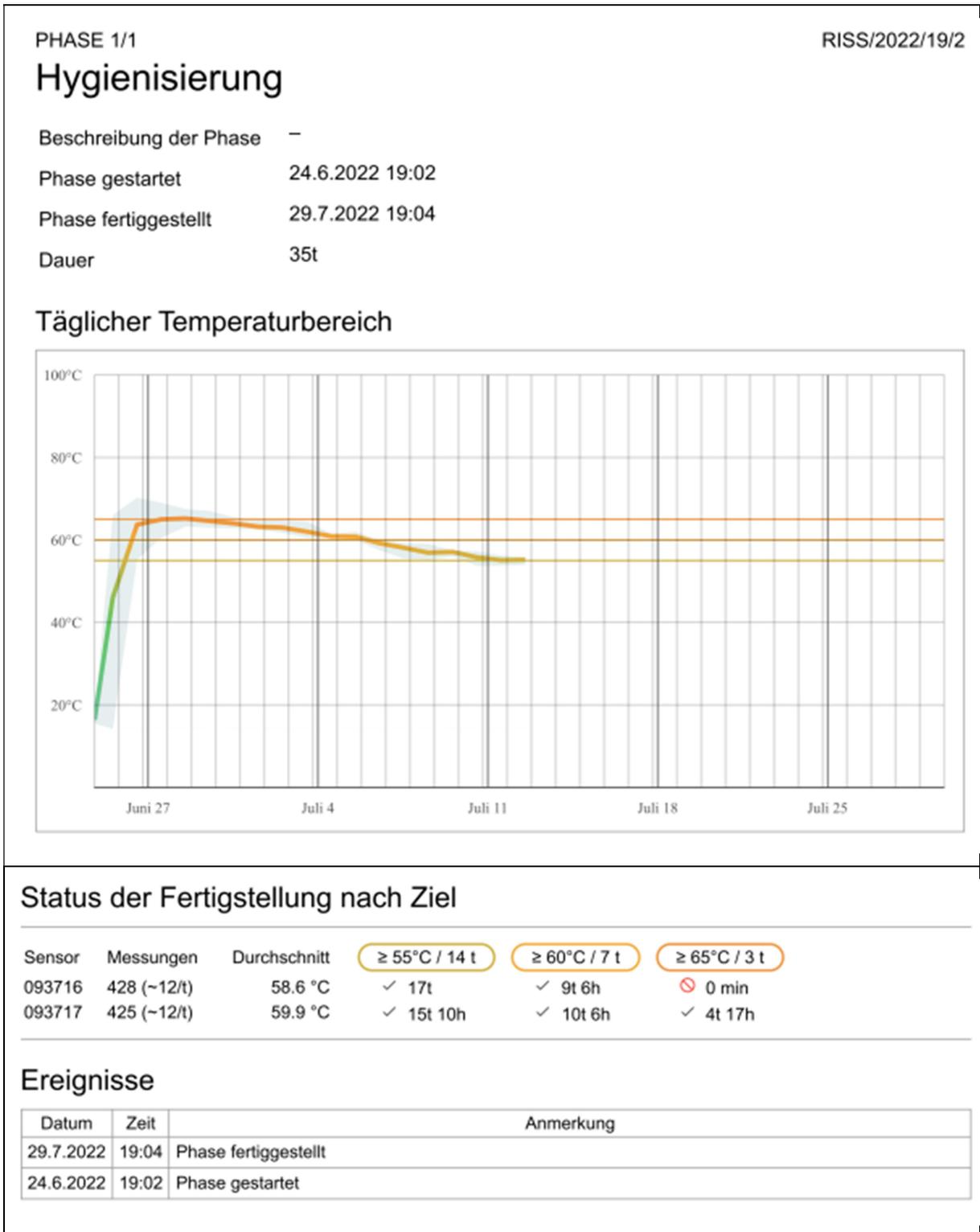
**Temperaturverlauf Miete NHF/2023/21/13**



## Temperaturverlauf Miete NHF/2023/21/14



## Temperaturverlauf Miete RIS/2022/19/2



### 9.5 Analysenergebnisse der untersuchten Komposte sowie der Ausgangssubstrate

Tabelle 9.5.1 Einzelergebnisse für die untersuchten Ausgangsmischungen

Inputkategorie	Chargenbez.	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	TS (%)	H <sub>2</sub> O (%)	OS (% TM)	OS (% FM)	N (% TM)	N (% FM)	C/N-Verhältnis
Pferdemist/-Mix	2021/44/1		7,9	29,7	70,3	65,1	19,3	1,60	0,48	23,6
Pferdemist/-Mix	2021/28/2		7,9	51,6	48,4	53,9	27,8	1,18	0,61	26,5
Pferdemist/-Mix	2021/15/3		7,8	43,7	56,3	46,3	20,2	1,64	0,72	16,4
Pferdemist/-Mix	2022/9/6		8,4	28,2	71,8	65,9	18,6	1,42	0,40	26,9
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1		8,1	41,4	58,6	61,4	25,4	2,01	0,83	17,7
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2		7,7	45,3	54,7	72,7	32,9	1,71	0,77	24,6
Pferdemist/-Mix	2023/6/11		9,9	32,4	67,6	72,8	23,6	1,24	0,40	34,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	7,6	9,4	36,5	63,5	84,6	30,9	1,78	0,65	27,6
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	7,7	9,0	36,7	63,3	68,2	25,0	1,41	0,52	28,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3	7,3	9,5	37,3	62,7	83,4	31,1	1,46	0,54	33,2
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	6,9	9,0	35,8	64,2	85,7	30,7	1,54	0,55	32,2
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	7,3	9,0	62,7	37,3	45,0	28,2	1,06	0,66	24,6
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	6,9	9,1	28,5	71,5	77,1	22,0	2,28	0,65	19,6
Mist-Mix	2021/44/1.1		8	55,3	44,7	57,8	32,0	1,56	0,86	21,5
Mist-Mix	2021/44/1.2		7,9	47,6	52,4	61,1	29,1	1,90	0,90	18,7
Mist-Mix	2022/9/2		8,7	26,1	73,9	61,5	16,1	1,61	0,42	22,1
Mist-Mix	2022/26/3		8,7	59,5	40,5	66,3	39,4	2,15	1,28	17,9
Mist-Mix	2022/48/4		8,8	39,3	60,7	55,7	21,9	2,35	0,92	13,7
Mist-Mix	2023/15/5	8,1	8,9	36,4	63,6	28,2	10,3	1,46	0,53	28,2
Mist-Mix	2022/48/4	8,5	9,2	36,8	63,2	76,6	28,4	2,03	0,75	21,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	8,6		43,7	56,3	45,4	19,8	1,95	0,85	13,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	8,4	9,6	48,1	51,9	84,4	40,6	2,05	0,99	23,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/24/9	7,2	8,4	59,6	40,4	42,2	25,2	1,83	1,09	13,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	7,7		59,1	40,9	85,6	50,6	2,62	1,55	18,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	6,8		48,2	51,8	85,0	41,0	2,39	1,15	20,6
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/1/2		6,0	23,4	76,6	86,5	20,2	2,67	0,62	18,8
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1		7,8	50,1	49,9	88,8	44,5	2,23	1,12	23,1
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2+3		5,8	25,1	74,9	88,5	22,2	2,79	0,70	18,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	7,9	8,9	48,9	51,1	27,1	13,3	1,24	0,61	12,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/26/1		7,9	24,5	75,5	85,5	20,9	1,94	0,48	26

Zielbereich: pH 7 - 9 gr. Schwankungsbreite (50) 55 - 65 % (70) gr. Schwankungsbreite gr. Schwankungsbreite (20) 25 - 30 (35)  
 = außerhalb Zielbereich

Tab. 9.5.2 Einzelergebnisse der Komposte für die Parameter Wassergehalt, pH-Wert und Salzgehalt

Bezeichnung		TS (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Rohdichte (g/l FM)	pH-Wert (H <sub>2</sub> O)	Salzgehalt (1:5) (g KCl/l FM)
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	44,2	55,8	750	9,3	8,4
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	38,8	61,2	650	9,3	7,2
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	34,9	65,1	650	8,8	6,4
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	39,6	60,4	580	8,7	5,6
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	57,9	42,1	492	8,9	7,2
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	45,7	54,3	510	8,7	6,3
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	46,7	53,3	330	9,3	4,3
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	44,2	55,8	490	8,0	5,7
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	36,4	63,6	510	9,3	4,5
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	37,0	63,0	430	9,2	5,8
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	54,6	45,4	51	9,2	3,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	44,0	56,0	610	9,1	6,7
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	57,2	42,8	240	9,4	4,9
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	64,9	35,1	150	9,4	4,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	73,0	27,0	690	8,6	5,7
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	54,6	45,4	300	9,4	8,7
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	51,4	58,6	560	8,8	9,3
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	43,5	56,5	170	9,1	4,1
Mist-Mix	2021/39/1	34,9	65,1	680	9,0	7,0
Mist-Mix	2022/9/2	43,4	56,6	623	9,5	12,9
Mist-Mix	2022/26/3	60,2	39,8	240	9,5	6,5
Mist-Mix	2022/26/3	65,6	34,4	310	9,8	6,7
Mist-Mix	2022/48/4	59,2	40,8	640	9,3	5,9
Mist-Mix	2023/15/5	75,3	24,7	300	9,2	4,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	47,0	53,0	160	9,4	3,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	69,0	31,0	205	9,4	3,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	80,2	19,8	308	8,9	4,3
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	75,8	24,2	245	9,0	6,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	43,7	56,3	536	8,6	6,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	69,2	30,8	150	9,1	5,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	63,3	36,7	92	8,6	5,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	48,3	51,7	230	9,1	4,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	80,5	19,5	219	9,6	7,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	75,9	24,1	540	8,8	7,8
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	30,3	69,7	160	8,9	2,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	29,3	70,7	346	7,4	7,6
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	73,2	26,8	110	10,0	5,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	57,2	42,8	1250	8,4	4,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	45,4	54,6	590	9,3	7,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	46,0	54,0	420	9,3	11,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	66,4	33,6	110	10,0	5,0

Tabelle 9.5.3 Einzelergebnisse der Komposte für die löslichen Nährstoffgehalte

Bezeichnung		N <sub>lös.</sub> (CaCl <sub>2</sub> ) (mg/l FM)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l FM)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l FM)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (CAL) (mg/l FM)	K <sub>2</sub> O (CAL) (mg/l FM)	Mg (CaCl <sub>2</sub> ) (mg/l FM)
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	291	5	286	1400	10300	128
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	183	5	178	1410	11200	111
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	97	36	61	1080	8250	131
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	30	9	21	1310	6140	137
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	248	4	244	1580	11000	111
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	51	15	36	1520	9290	94
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	6	5	1	969	6030	66
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	108	14	94	1200	7930	91
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	38	10	28	1020	6180	96
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	40	28	12	794	5640	123
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	3	2	1	85	1190	13
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	91	17	74	1170	7450	195
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	18	8	10	772	5750	46
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	6	5	1	527	3410	27
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	221	6	215	1390	6830	225
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	301	22	279	1180	10100	38
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	118	53	65	1400	9960	130
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	25	15	10	313	2980	55
Mist-Mix	2021/39/1	189	11	178	2310	7250	210
Mist-Mix	2022/9/2	217	5	212	2350	14800	93
Mist-Mix	2022/26/3	32	31	1	1250	6390	33
Mist-Mix	2022/26/3	70	27	43	1620	7920	23
Mist-Mix	2022/48/4	151	6	145	1800	6510	151
Mist-Mix	2023/15/5	73	26	47	776	4240	52
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	118	15	103	461	3270	44
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	165	27	138	475	2790	35
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	148	23	125	784	2870	56
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	142	74	68	881	3930	55
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	225	222	3	1850	4610	246
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	261	18	243	764	3600	51
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	43	16	27	398	1550	60
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	63	3	60	526	3370	62
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	58	37	21	759	6230	28
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	149	34	115	1910	10200	61
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	19	18	1	226	1720	56
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	321	315	6	836	5110	129
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	22	12	10	533	4250	18
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	12	1	11	1010	6610	290
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	257	9	248	1420	8220	147
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	73	72	1	1520	13200	83
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	10	5	5	325	2600	17

Tab. 9.5.4 Einzelergebnisse der Komposte für die Gesamtstickstoffgehalte und das C/N-Verhältnis

Bezeichnung		N ges. (% TM)	N ges. (% FM)	N ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)	C/N- Verhältnis
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	1,65	0,73	5,47	12,4
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	1,69	0,66	4,26	16,4
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	1,52	0,53	3,45	17,2
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	1,52	0,60	3,49	17,6
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	1,92	1,11	5,47	13,5
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	2,10	0,96	4,89	14,2
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	1,87	0,87	2,88	17,3
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	1,55	0,69	3,36	16,7
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	1,51	0,55	2,80	19,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	1,62	0,60	2,58	17,7
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	1,31	0,72	0,36	39,4
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	1,68	0,74	4,51	15,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	1,87	1,07	2,57	18,5
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	1,81	1,17	1,76	20,4
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	0,95	0,69	4,79	14,4
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	2,12	1,16	3,47	14,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	1,77	0,91	5,09	13,8
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	1,58	0,69	1,17	22,1
Mist-Mix	2021/39/1	1,93	0,67	4,58	15,3
Mist-Mix	2022/9/2	2,18	0,95	5,89	12,5
Mist-Mix	2022/26/3	1,79	1,08	2,59	19,5
Mist-Mix	2022/26/3	2,03	1,33	4,13	15,8
Mist-Mix	2022/48/4	1,14	0,67	4,32	14,9
Mist-Mix	2023/15/5	1,41	1,06	3,19	23,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	2,49	1,17	1,87	13,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	2,61	1,80	3,69	17,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	1,98	1,59	4,89	14,8
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	2,02	1,53	3,75	17,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	1,95	0,85	4,57	17,9
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	2,14	1,48	2,22	15,3
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	2,43	1,54	1,42	17,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	1,94	0,94	2,16	12,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	2,16	1,74	3,81	13,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	1,36	1,03	5,57	25,4
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	2,42	0,73	1,17	15,8
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	2,89	0,85	2,93	15,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	3,03	2,22	2,44	11,7
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	0,52	0,30	3,72	14,6
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	2,11	0,96	5,65	17,2
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	3,28	1,51	6,34	5,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	1,85	1,23	1,35	13,7

Tab. 9.5.5 Einzelergebnisse der Komposte für die Gesamtnährstoffgehalte P, K, Mg

Bezeichnung		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (% TM)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (% FM)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)	K <sub>2</sub> O ges. (% TM)	K <sub>2</sub> O ges. (% FM)	K <sub>2</sub> O ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)	MgO ges. (% TM)	MgO ges. (% FM)	MgO ges. (kg/m <sup>3</sup> FM)
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	0,87	0,38	2,88	3,32	1,47	11,01	0,61	0,27	2,02
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	1,04	0,40	2,62	4,22	1,64	10,64	0,59	0,23	1,49
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	0,93	0,32	2,11	3,78	1,32	8,57	0,57	0,20	1,29
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	1,18	0,47	2,71	3,15	1,25	7,23	0,54	0,21	1,24
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	1,18	0,68	3,36	3,88	2,25	11,05	0,73	0,42	2,08
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	1,32	0,60	3,08	4,15	1,90	9,67	0,64	0,29	1,49
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	1,27	0,59	1,96	3,78	1,77	5,83	0,59	0,28	0,91
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	1,05	0,46	2,27	3,46	1,53	7,49	0,56	0,25	1,21
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	1,10	0,40	2,04	3,46	1,26	6,42	0,58	0,21	1,08
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	1,05	0,39	1,67	3,09	1,14	4,92	0,67	0,25	1,07
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	0,47	0,26	0,13	3,25	1,77	0,90	0,29	0,16	0,08
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	1,20	0,53	3,22	3,95	1,74	10,60	0,76	0,33	2,04
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	1,05	0,60	1,44	3,91	2,24	5,37	0,69	0,39	0,95
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	1,08	0,70	1,05	3,63	2,36	3,53	0,56	0,36	0,55
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	0,49	0,36	2,47	1,48	1,08	7,45	0,77	0,56	3,88
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	0,12	0,07	0,20	4,71	2,57	7,71	0,83	0,45	1,36
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	1,13	0,58	3,25	3,83	1,97	11,02	0,74	0,38	2,13
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	0,87	0,38	0,64	2,89	1,26	2,14	0,54	0,23	0,40
Mist-Mix	2021/39/1	1,48	0,52	3,51	3,84	1,34	9,11	0,83	0,29	1,97
Mist-Mix	2022/9/2	1,90	0,82	5,14	6,31	2,74	17,06	1,00	0,43	2,70
Mist-Mix	2022/26/3	1,54	0,93	2,22	4,99	3,00	7,21	0,78	0,47	1,13
Mist-Mix	2022/26/3	1,52	1,00	3,09	4,58	3,00	9,31	0,80	0,52	1,63
Mist-Mix	2022/48/4	0,93	0,55	3,52	2,06	1,22	7,80	0,54	0,32	2,05
Mist-Mix	2023/15/5	0,73	0,55	1,65	2,50	1,88	5,65	0,64	0,48	1,45
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	1,15	0,54	0,86	4,09	1,92	3,08	0,85	0,40	0,64
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	1,02	0,70	1,44	3,70	2,55	5,23	0,82	0,57	1,16
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	1,38	1,11	3,41	2,76	2,21	6,82	0,98	0,79	2,42
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	1,23	0,93	2,28	3,28	2,49	6,09	0,94	0,71	1,75
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	1,93	0,84	4,52	2,41	1,05	5,64	1,35	0,59	3,16
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	1,17	0,81	1,21	3,70	2,56	3,84	0,93	0,64	0,97
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	1,19	0,75	0,69	2,89	1,83	1,68	0,80	0,51	0,47
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	0,85	0,41	0,94	3,68	1,78	4,09	0,81	0,39	0,90
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	1,04	0,84	1,83	4,91	3,95	8,66	0,82	0,66	1,45
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	0,90	0,68	3,69	3,59	2,72	14,71	1,13	0,86	4,63
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	0,96	0,29	0,47	3,47	1,05	1,68	0,72	0,22	0,35
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	1,27	0,37	1,29	5,97	1,75	6,05	0,55	0,16	0,56
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	1,31	0,96	1,05	6,47	4,74	5,21	0,61	0,45	0,49
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	0,38	0,22	2,72	1,60	0,92	11,44	1,15	0,66	8,22
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	1,24	0,56	3,32	4,05	1,84	10,85	1,40	0,64	3,75
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	1,54	0,71	2,98	6,39	2,94	12,35	0,76	0,35	1,47
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	1,19	0,79	0,87	6,71	4,46	4,90	0,50	0,33	0,37

Tab. 9.5.6 Einzelergebnisse der Komposte für die bodenverbessernden Parameter

Bezeichnung		Org. Substanz (% TM)	Org. Substanz (% FM)	Org. Substanz (kg/m <sup>3</sup> FM)	Humusproduktionswirs. C (kg/m <sup>3</sup> FM)	basisch wirks. Stoffe (CaO % TM)	basisch wirks. Stoffe (CaO % FM)	basisch wirks. Stoffe (CaO, kg/m <sup>3</sup> FM)
Pferdemist/- Mix	2021/15/3	35,2	15,6	117	34,5	2,97	1,31	9,85
Pferdemist/- Mix	2021/28/2	47,8	18,5	121	35,7	2,55	0,99	6,43
Pferdemist/- Mix	2021/44/1	45,1	15,7	102	30,3	2,87	1,00	6,51
Pferdemist/- Mix	2021/46/0	46,1	18,3	106	31,3	1,84	0,73	4,23
Pferdemist/- Mix	2022/9/6	44,8	25,9	128	37,8	2,75	1,59	7,83
Pferdemist/- Mix	2022/43/10.1	51,5	23,5	120	35,5	2,93	1,34	6,83
Pferdemist/- Mix	2022/43/10.2	55,8	26,1	86	25,4	2,97	1,39	4,58
Pferdemist/- Mix	2022/39/9	44,7	19,8	97	28,6	2,11	0,93	4,57
Pferdemist/- Mix	2022/48/10	49,5	18,0	92	27,2	2,41	0,88	4,47
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.1	49,4	18,3	79	23,2	2,99	1,11	4,76
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.3.4	89,0	48,6	25	7,3	1,21	0,66	0,34
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.2	43,5	19,1	117	34,5	3,35	1,47	8,99
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.3.1	59,7	34,1	82	24,2	3,60	2,06	4,94
Pferdemist/- Mix	2023/21/13	63,8	41,4	62	18,4	2,69	1,75	2,62
Pferdemist/- Mix	2023/21/14	23,6	17,2	119	35,2	3,45	2,52	17,38
Pferdemist/- Mix	2023/21/15	51,3	28,0	84	24,9	4,52	2,47	7,40
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.3.2	42,2	21,7	122	35,9	3,84	1,97	11,05
Pferdemist/- Mix	2023/21/12.3.3	60,2	32,2	55	16,2	2,45	1,07	1,81
Mist-Mix	2021/39/1	50,8	17,7	121	35,7	3,46	1,21	8,21
Mist-Mix	2022/9/2	47,0	20,4	127	37,6	4,27	1,85	11,55
Mist-Mix	2022/26/3	60,2	36,2	87	25,7	4,23	2,55	6,11
Mist-Mix	2022/26/3	55,4	36,3	113	33,3	3,74	2,45	7,61
Mist-Mix	2022/48/4	29,3	17,3	111	32,8	1,76	1,04	6,67
Mist-Mix	2023/15/5	58,0	43,7	131	38,8	3,14	2,36	7,09
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	45,4	19,8	106	31,5	4,05	1,90	3,05
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	75,3	35,4	57	16,7	3,34	2,30	4,72
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	66,4	45,8	94	27,8	4,22	3,38	10,42
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	58,1	46,6	144	42,5	4,15	3,15	7,71
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	62,2	47,1	116	34,2	7,52	3,29	17,61
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	56,6	39,2	59	17,4	5,10	3,53	5,29
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	71,1	45,0	41	12,2	3,92	2,48	2,28
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	44,3	20,1	119	35,1	2,00	0,97	2,22
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	74,5	34,3	144	42,6	2,09	1,68	3,68
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	81,1	53,9	59	17,5	2,45	1,86	10,04
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	52,8	25,5	59	17,4	3,48	1,05	1,69
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	56,5	45,5	100	29,5	0,51	0,15	0,52
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	27,4	20,8	112	33,2	3,10	2,27	2,50
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	78,6	39,0	62	18,5	6,03	3,45	43,11
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	83,8	24,6	85	25,1	11,62	5,28	31,13
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	80,6	59,0	65	19,2	3,62	1,67	6,99
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	12,3	7,0	88	26,0	2,79	1,85	2,04

Tab. 9.5.7 Einzelergebnisse der Komposte für die biologischen Parameter

Bezeichnung		Rottegrad	Maximal- temperatur (°C)	Pflanzenver- träglichkeit 25%	Pflanzenver- träglichkeit 50%	Keimfähige Samen und Pflanzenteile
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	V	21	83	33	0,0
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	V	21	98	81	0,0
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	V	21	99	70	1,0
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	V	21	102	93	0,0
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	V	23	103	94	1,0
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	V	23	113	101	0,0
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	IV	40	105	108	0,0
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	V	22	105	95	0,0
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	V	22	106	99	4,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	V	22	108	101	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	V	20	106	94	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	V	22	104	87	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	V	22	102	97	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	V	22	109	103	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	V	23	98	97	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	V	21	105	92	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	V	20	104	97	0,0
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	V	24	110	98	0,0
Mist-Mix	2021/39/1	V	21	90	62	0,0
Mist-Mix	2022/9/2	V	24	96	68	0,0
Mist-Mix	2022/26/3	V	22	109	95	0,0
Mist-Mix	2022/26/3	V	22	103	97	0,0
Mist-Mix	2022/48/4	V	22	113	100	0,0
Mist-Mix	2023/15/5	V	27	100	102	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	V	28	111	99	128,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	V	22	118	126	1,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	V	22	113	115	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	V	24	104	101	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	V	28	101	93	4,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	V	20	104	107	9,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	V	26	111	103	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	V	24	99	97	3,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	III	43	98	89	0,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	V	22	108	99	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	V	21	104	97	11,7
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	I	65	103	93	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	IV	34	94	69	0,5
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	IV	40	90	82	87,3
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	V	22	102	85	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	II	52	83	66	0,0
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	II	57	100	89	0,0

Tab. 9.5.8 Einzelergebnisse der Komposte für die Schwermetallgehalte

Bezeichnung		Blei mg/kg TM	Cadmium mg/kg TM	Chrom mg/kg TM	Kupfer mg/kg TM	Nickel mg/kg TM	Quecksilber mg/kg TM	Zink mg/kg TM
Pferdemist/-Mix	2021/15/3	6,1	0,14	8,9	11,8	7,0	0,05	53
Pferdemist/-Mix	2021/28/2	4,1	0,14	4,9	11,8	4,4	0,05	56
Pferdemist/-Mix	2021/44/1	3,6	0,13	5,1	10,9	3,6	0,03	55
Pferdemist/-Mix	2021/46/0	5,7	0,17	9,6	12,0	5,4	0,04	68
Pferdemist/-Mix	2022/9/6	4,7	0,20	7,3	15,3	5,6	0,03	81
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.1	5,3	0,23	5,8	15,4	5,7	0,03	84
Pferdemist/-Mix	2022/43/10.2	4,7	0,18	5,7	14,9	5,2	0,03	79
Pferdemist/-Mix	2022/39/9	4,1	0,17	5,7	12,7	5,0	0,05	69
Pferdemist/-Mix	2022/48/10	4,8	0,15	6,1	12,8	4,9	<0,02	77
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.1	5,8	0,16	7,9	13,7	6,1	0,04	79
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.4	<3,0	<0,10	2,2	5,7	2,0	<0,02	21
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.2	4,9	0,18	8,7	15,8	6,5	0,03	86
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.1	5,2	0,18	6,5	15,7	5,4	0,03	86
Pferdemist/-Mix	2023/21/13	3,7	0,14	5,7	13,8	4,6	0,02	71
Pferdemist/-Mix	2023/21/14	16,4	0,17	25,0	23,6	19,4	0,05	81
Pferdemist/-Mix	2023/21/15	4,7	0,14	14,9	15,2	10,1	0,03	68
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.2	5,4	0,19	9,6	14,9	7,1	0,04	80
Pferdemist/-Mix	2023/21/12.3.3	3,5	0,13	6,8	10,4	5,4	0,03	51
Mist-Mix	2021/39/1	4,7	0,18	6,6	19,8	5,1	0,04	133
Mist-Mix	2022/9/2	5,1	0,20	6,1	31,5	6,6	0,03	165
Mist-Mix	2022/26/3	4,0	0,16	5,0	26,4	5,3	< 0,02	158
Mist-Mix	2022/26/3	4,6	0,18	6,3	25,7	5,4	<0,02	142
Mist-Mix	2022/48/4	7,5	0,14	9,1	16,9	6,3	0,03	105
Mist-Mix	2023/15/5	7,8	0,23	16,0	19,7	10,7	0,08	88
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1+2	7,8	0,34	20,5	33,3	15,7	0,04	182
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	<3,0	0,19	6,8	17,2	5,1	0,04	58
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/51/3	4,2	0,14	10,1	16,0	8,0	0,03	77
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/21/5+6	6,1	0,22	13,4	24,4	11,3	0,03	120
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/0/0	6,0	0,17	10,6	25,6	10,4	0,02	83
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/8	6,1	0,17	3,7	0,9	10,2	0,03	69
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/9	<3,0	0,14	6,3	22,2	5,7	<0,02	85
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	9,7	0,23	27,50	21,90	24,8	0,05	86
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	4,0	<0,10	3,50	13,70	5,10	0,03	59
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/17/2	<3,0	<0,10	1,4	9,7	2,5	<0,02	41
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/39/1	7,2	0,10	14,6	11,3	9,8	0,05	51
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/2	6,7	0,11	12,8	13,4	11,2	0,02	80
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/20/3	12,8	0,15	24,1	16,6	18,9	0,03	88
Pflanzenaufwuchs-Mix	2021/40/1	<3,00	0,10	3,3	10,9	2,9	0,04	46
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/10/ 1	<3,0	<0,10	<1,0	9,7	2,8	<0,02	37
Pflanzenaufwuchs-Mix	2022/19/ 2+3	<3,0	<0,10	1,3	11,4	3,8	<0,02	43
Pflanzenaufwuchs-Mix	2023/23/4	23,7	0,23	27,6	14,5	19,0	0,07	49
<b>EU ÖkolandbauVO</b>		<b>45</b>	<b>0,7</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>0,4</b>	<b>200</b>

## 9.6 Einzelergebnisse der Gasmessungen

Tab. 9.6.1 Messergebnisse der Mieten ohne Volumenbezug

	Mess-tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10	
	$\dot{m}$ [mg/s]	$\dot{m}$ [mg/s]									
<b>Miete 1</b>	CH4	< 0.53	1.11	< 0.67	1.58	< 0.37	1.58	< 0.45	0.06	0.99	< 0.57
	CO2	967	52	< 67	540	323	257	493	258	204	< 57
	NH3	< 0.53	< 0.40	< 0.67	< 0.61	< 0.37	< 0.57	< 0.45	0.34	< 0.78	< 0.57
	N2O	0.31	< 0.04	< 0.07	< 0.06	< 0.04	< 0.06	< 0.05	0.08	< 0.08	< 0.06
<b>Miete 6</b>	CH4					6.57	1.62	4.72	0.76	< 0.78	< 0.31
	CO2					1075	79	1016	212	< 78	< 31
	NH3					< 1.12	< 0.32	7.03	1.27	1.89	1.09
	N2O					1.04	< 0.03	0.36	0.24	0.30	0.09
<b>Miete 2</b>	CH4	1.17	1.82	1.21	1.22	2.23	< 0.92	1.19	< 0.69	< 0.58	< 0.34
	CO2	458	217	1131	915	430	< 92	< 42	404	319	< 34
	NH3	2.98	< 0.35	< 0.87	< 0.81	< 0.39	< 0.92	< 0.42	< 0.69	< 0.58	< 0.34
	N2O	0.17	< 0.04	< 0.09	< 0.08	< 0.04	< 0.09	< 0.04	< 0.07	< 0.06	< 0.03
<b>Miete 8</b>	CH4			4.16	2.68		4.96	2.87	4.90	1.61	< 0.57
	CO2			941	1142		1037	< 55	903	204	59
	NH3			3.09	10.45		< 1.12	< 0.55	< 0.44	< 0.45	1.40
	N2O			< 0.16	0.50		0.54	< 0.06	0.20	0.12	0.13

		Mess-tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10
		$\dot{m}$ [mg/s]	$\dot{m}$ [mg/s]								
<b>Miete 3</b>	CH4	2.16	9.06	4.49	< 1.58	14.69	2.18	< 1.40	4.64	< 0.44	< 0.21
	CO2	546	839	598	< 158	615	51	988	612	< 44	< 21
	NH3	0.64	< 0.47	< 0.47	4.78	< 0.69	0.32	< 1.40	< 0.47	< 0.44	< 0.21
	N2O	0.13	< 0.05	< 0.05	< 0.16	< 0.07	0.04	< 0.14	0.34	< 0.04	< 0.02
<b>Miete 7</b>	CH4			6.57			0.84	< 0.48	< 0.41	< 1.09	< 0.35
	CO2			768			242	109	< 41	172	< 35
	NH3			6.42			< 0.42	< 0.48	2.79	2.20	0.38
	N2O			0.68			0.04	< 0.05	< 0.04	< 0.11	< 0.04
<b>Miete 4</b>	CH4	< 0.53	9.50	14.71	4.93	20.49	0.85	1.47	< 1.00	0.38	< 0.59
	CO2	1067	585	941	148	1429	< 55	< 75	581	307	< 59
	NH3	< 0.53	< 0.43	< 1.00	1.88	< 1.01	< 0.55	< 0.75	< 0.71	< 0.31	< 0.59
	N2O	0.12	< 0.04	< 0.10	0.61	0.53	< 0.06	< 0.07	< 0.1	0.04	< 0.06
<b>Miete 5</b>	CH4	< 0.53	< 0.96				0.34	1.46	0.64	0.68	< 0.52
	CO2	81	799				45	229	187	149	< 52
	NH3	< 0.53	0.96				< 0.40	4.70	1.61	< 0.34	1.01
	N2O	< 0.05	< 0.10				< 0.04	0.10	< 0.04	< 0.03	0.10
<b>Miete 9</b>	CH4	0.76	4.84	2.00	2.73	2.17	< 0.46	2.10	2.62	< 0.93	< 0.34
	CO2	< 53	429	507	466	487	< 46	1084	< 117	< 93	52
	NH3	< 0.53	< 0.39	14.56	1.55	< 0.43	< 0.46	6.84	< 1.17	3.40	1.01
	N2O	< 0.05	< 0.04	1.06	0.22	< 0.04	< 0.05	0.47	< 0.12	< 0.09	0.09
<b>Miete 10</b>	CH4					10.93	< 1.32	1.35	< 0.96	0.95	< 0.88
	CO2					340	894	489	326	< 35	273
	NH3					< 0.87	1.38	< 0.37	< 0.96	< 0.35	< 0.88
	N2O					< 0.09	0.27	< 0.04	0.18	< 0.04	0.29
<b>Miete 11</b>	CH4	< 0.53					2.96	2.22	2.61	< 0.49	< 0.34
	CO2	245					< 36	235	155	< 49	< 34
	NH3	0.95					< 0.36	1.04	< 0.53	2.97	0.56
	N2O	< 0.05					0.03	0.22	< 0.05	0.12	< 0.03
<b>Miete 12</b>	CH4	0.56	0.84	1.59	1.97	0.76	0.24	0.50	0.62	< 0.25	< 0.42
	CO2	761	365	219	< 92	257	94	77	< 50	114	< 42
	NH3	< 0.53	< 0.81	0.54	1.31	4.93	< 0.25	< 0.33	1.13	< 0.25	< 0.42
	N2O	0.16	< 0.08	0.10	< 0.09	< 0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	< 0.04

		Mess-tag 1	Mess-tag 2	Mess-tag 3	Mess-tag 4	Mess-tag 5	Mess-tag 6	Mess-tag 7	Mess-tag 8	Mess-tag 9	Mess-tag 10
		ṁ									
		[mg/s]									
<b>Miete 13</b>	CH4	7.19	10.55	2.55	2.83	1.29	< 0.67	3.80	0.89	0.74	< 0.45
	CO2	127	844	383	301	106	185	760	895	< 41	< 45
	NH3	< 0.53	< 0.52	< 0.55	1.04	< 0.31	< 0.67	< 0.79	< 0.75	< 0.41	< 0.45
	N2O	0.17	0.05	0.05	0.15	< 0.03	< 0.07	0.37	0.17	< 0.04	< 0.04
<b>Miete 14</b>	CH4				17.16		0.14	2.09	< 1.81	0.90	1.04
	CO2				1709		262	979	709	125	< 57
	NH3				7.44		2.99	0.48	0.96	< 0.25	< 0.57
	N2O				2.41		0.11	0.30	< 0.18	0.06	< 0.06

Für den Vergleich der Mieten untereinander werden die Emissionen auf das Volumen bezogen und in Tabelle 9.6.2 dargestellt. Die Voluminawerte wurden durch Messungen der Messungen der Stiftung Ökologie und Landbau ermittelt.

Tab. 9.6.2: Messergebnisse der Mieten mit Volumenbezug

		Mess-tag 1	Mess-tag 2	Mess-tag 3	Mess-tag 4	Mess-tag 5	Mess-tag 6	Mess-tag 7	Mess-tag 8	Mess-tag 9	Mess-tag 10
		[mg/m³s]									
<b>Miete 1</b>	CH4	< 0.01	0.02	< 0.03	0.07	< 0.02	0.08	< 0.02	0.005	0.08	< 0.05
	CO2	20	1	< 3	25	15	12	24	20	16	< 5
	NH3	< 0.01	< 0.01	< 0.03	< 0.03	< 0.02	< 0.03	< 0.02	0.03	< 0.06	< 0.05
	N2O	0.01	< 0.001	< 0.003	< 0.003	< 0.002	< 0.003	< 0.002	0.01	< 0.01	< 0.005
<b>Miete 6</b>	CH4					0.30	0.07	0.21	0.08	< 0.09	< 0.04
	CO2					48	4	46	23	< 9	< 4
	NH3					< 0.05	< 0.01	0.32	0.14	0.21	0.13
	N2O					0.05	< 0.001	0.02	0.03	0.03	0.01
<b>Miete 2</b>	CH4	0.03	0.04	0.05	0.05	0.10	< 0.04	0.05	< 0.05	< 0.04	< 0.03
	CO2	11	5	48	39	19	< 4	< 2	28	22	< 3
	NH3	0.07	< 0.01	< 0.04	< 0.03	< 0.02	< 0.04	< 0.02	< 0.05	< 0.04	< 0.03
	N2O	0.004	< 0.001	< 0.004	< 0.003	< 0.002	< 0.004	< 0.002	< 0.005	< 0.004	< 0.002
<b>Miete 8</b>	CH4			0.11	0.07		0.16	0.10	0.33	0.11	< 0.04
	CO2			26	31		34	< 2	62	14	4
	NH3			0.09	0.29		< 0.04	< 0.02	< 0.03	< 0.03	0.10
	N2O			< 0.004	0.01		0.02	< 0.002	0.01	0.01	0.01

		Mess- tag 1	Mess- tag 2	Mess- tag 3	Mess- tag 4	Mess- tag 5	Mess- tag 6	Mess- tag 7	Mess- tag 8	Mess- tag 9	Mess- tag 10
		[mg/m <sup>3</sup> s]									
<b>Miete 3</b>	CH4	0.06	0.25	0.28	< 0.10	0.98	0.14	< 0.09	0.54	< 0.05	< 0.03
	CO2	15	24	37	< 10	41	3	66	71	< 5	< 3
	NH3	0.02	< 0.01	< 0.03	0.30	< 0.05	0.02	< 0.09	< 0.05	< 0.05	< 0.03
	N2O	0.004	< 0.001	< 0.003	< 0.01	< 0.005	0.003	< 0.01	0.04	< 0.005	< 0.002
<b>Miete 7</b>	CH4			0.28			0.04	< 0.03	< 0.03	< 0.08	< 0.03
	CO2			32			10	5	< 3	13	< 3
	NH3			0.27			< 0.02	< 0.02	0.20	0.16	0.03
	N2O			0.03			0.002	< 0.002	< 0.003	< 0.01	< 0.003
<b>Miete 4</b>	CH4	< 0.01	0.23	0.73	0.24	1.15	0.05	0.08	< 0.08	0.03	< 0.05
	CO2	26	14	47	7	80	< 3	< 4	47	25	< 5
	NH3	< 0.01	< 0.01	< 0.05	0.09	< 0.06	< 0.03	< 0.04	< 0.06	< 0.03	< 0.05
	N2O	0.003	< 0.001	< 0.005	0.03	0.03	< 0.003	< 0.004	< 0.01	0.003	< 0.005
<b>Miete 5</b>	CH4	< 0.01	< 0.02				0.01	0.06	0.04	0.05	< 0.04
	CO2	2	16				2	9	12	10	< 4
	NH3	< 0.01	0.02				< 0.02	0.19	0.11	< 0.02	0.07
	N2O	< 0.001	< 0.002				< 0.002	0.004	< 0.003	< 0.002	0.01
<b>Miete 9</b>	CH4	0.02	0.15	0.08	0.12	0.09	< 0.02	0.09	0.12	< 0.04	< 0.02
	CO2	< 2	13	21	20	21	< 2	46	< 5	< 4	3
	NH3	< 0.02	< 0.01	0.62	0.07	< 0.02	< 0.02	0.29	< 0.05	0.16	0.05
	N2O	< 0.002	< 0.001	0.04	0.01	< 0.002	< 0.002	0.02	< 0.005	< 0.004	0.004
<b>Miete 10</b>	CH4					0.39	< 0.05	0.05	< 0.04	0.04	< 0.04
	CO2					12	32	17	13	< 1	11
	NH3					< 0.03	0.05	< 0.01	< 0.04	< 0.01	< 0.04
	N2O					< 0.003	0.01	< 0.001	0.01	< 0.002	0.01
<b>Miete 11</b>	CH4	< 0.01					0.43	0.32	0.42	< 0.08	< 0.06
	CO2	7					< 5	34	25	< 8	< 6
	NH3	0.03					< 0.05	0.15	< 0.09	0.48	0.10
	N2O	< 0.001					0.004	0.03	< 0.01	0.02	< 0.005
<b>Miete 12</b>	CH4	0.01	0.02	0.15	0.19	0.13	0.04	0.09	0.11	< 0.05	< 0.08
	CO2	18	9	21	< 9	44	16	13	< 9	21	< 8
	NH3	< 0.01	< 0.02	0.05	0.13	0.85	< 0.04	< 0.06	0.21	< 0.05	< 0.08
	N2O	0.004	< 0.002	0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	< 0.008
<b>Miete 13</b>	CH4	0.23	0.34	0.09	0.10	0.04	< 0.02	0.13	0.07	0.06	< 0.04
	CO2	4	27	13	10	4	6	26	73	< 3	< 4
	NH3	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.03	< 0.01	< 0.05	< 0.03	< 0.06	< 0.03	< 0.04
	N2O	0.01	0.002	0.002	0.005	< 0.001	< 0.002	0.01	0.01	< 0.003	< 0.003
<b>Miete 14</b>	CH4				0.51		0.004	0.06	< 0.09	0.05	0.06
	CO2				51		8	29	36	6	< 3
	NH3				0.22		0.09	0.01	0.05	< 0.01	< 0.03
	N2O				0.07		0.003	0.01	< 0.01	0.003	< 0.003

## 9.7 Betriebswirtschaftliche Angaben und Berechnungen

Tab. 9.7.1 Arbeitszeitermittlung Betrieb NHF

<b>Feldrandmietenkompostierung</b>	<b>NHF</b>	Arbeitszeit je Arbeits- gang	Ein- heit	Anzahl Verfahrens- gänge	h / 100-m- Miete*
<b>Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)</b>	<b>Technik</b>				
Mist laden (Schlepper mit Frontlader)	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,50	h	1	4,50
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ) bzw. 10 t Mist [2 km]	Schlepper 118 kW	1,00	h	1	1,00
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ) bzw. 10 t Mist [2 km]	Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ohne Schlepper	215	t	1	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 118 kW mit Frontlader	2,50	h	1	2,50
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	4,50	h	1	4,50
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	0,50	h	4	2,00
Bewässern 50m <sup>3</sup> (5 m <sup>3</sup> -Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m <sup>3</sup> ) mit Schlepper 95 kW	2,20	h	1	2,20
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,01	h	1	4,01
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>17,2</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>28,8</b>

Tab. 9.7.2 Arbeitszeitermittlung Betrieb KSM

<b>Feldrandmietenkompostierung</b>	<b>KSM</b>	<b>Arbeitszeit je Arbeits- gang</b>	<b>Ein- heit</b>	<b>Anzahl Verfahrens- gänge</b>	<b>h / 100-m- Miete*</b>
<b>Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)</b>	<b>Technik</b>				
Mist laden (Schlepper mit Frontlader)	Schlepper 118 kW mit Frontlader	10,00	h	1	10,00
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ) bzw. 10 t Mist [2 km]	Schlepper 118 kW	5,00	h	1	5,00
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ) bzw. 10 t Mist [2 km]	Muldenkipper 20 m <sup>3</sup> ohne Schlepper	200	t	1	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	3,00	h	1	3,00
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	15,00	h	1	15,00
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	2,00	h	4	8,00
Bewässern 50m <sup>3</sup> (5 m <sup>3</sup> -Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m <sup>3</sup> ) mit Schlepper 95 kW	4,80	h	1	4,80
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,40	h	1	3,40
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>36,8</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>57,3</b>

Tab. 9.7.3 Arbeitszeitermittlung Betrieb BDH

<b>Feldrandmietenkompostierung</b>	<b>BDH</b>	<b>Arbeitszeit je Arbeits- gang</b>	<b>Ein- heit</b>	<b>Anzahl Verfahrens- gänge</b>	<b>h / 100-m- Miete*</b>
<b>Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)</b>	<b>Technik</b>				
Holz hackschnitzel für Basismatte herstellen	Hacker mit Schlepper 95 kW	2,00	h	1	2,00
Basismatte mit Frontlader herstellen	Schlepper 118 kW mit Frontlader	2,50	h	1	2,50
Klee gras mähen (Kreiselmäherwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmäherwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44
Klee gras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50
Schlepper für Kurzschnittdewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33
Kurzschnittdewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittdewagen (36 m <sup>3</sup> ) bzw. 18 t	20,40	t	1	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	6,50	h	1	6,50
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	3,50	h	4	14,00
Bewässern 40m <sup>3</sup> (1,5 m <sup>3</sup> -Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Frontfass (1,5 m <sup>3</sup> ) mit Schlepper 95 kW	4,00	h	1	4,00
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,87	h	1	3,87
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>32,0</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>44,7</b>

Tab. 9.7.4 Arbeitszeitermittlung Betrieb RIS

<b>Feldrandmietenkompostierung</b>	<b>RIS</b>	<b>Arbeitszeit je Arbeits- gang</b>	<b>Ein- heit</b>	<b>Anzahl Verfahrens- gänge</b>	<b>h / 100-m- Miete*</b>
<b>Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)</b>	<b>Technik</b>				
Klee gras mähen (Kreiselmäherwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmäherwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44
Klee gras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50
Schlepper für Kurzschnittdewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33
Kurzschnittdewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittdewagen (36 m³) bzw. 18 t	20,40	t	1	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	2,00	h	1	2,00
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	1,40	h	4	5,60
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,64	h	1	4,64
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>15,1</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>24,1</b>

Tab. 9.7.5 Arbeitszeitermittlung Betrieb GBH

<b>Feldrandmietenkompostierung</b>	<b>GBH</b>	Arbeitszeit je Arbeits- gang	Ein- heit	Anzahl Verfahrens- gänge	h / 100-m- Miete*
<b>Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)</b>	<b>Technik</b>				
Kleegras mähen (Kreiselmähwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmähwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44
Kleegras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50
Schlepper für Kurzschnittladewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33
Kurzschnittladewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittladewagen (36 m <sup>3</sup> ) bzw. 18 t	20,40	t	1	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	2,50	h	1	2,50
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	1,00	h	3	3,00
Bewässern 50m <sup>3</sup> (5 m <sup>3</sup> -Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m <sup>3</sup> ) mit Schlepper 95 kW	2,20	h	1	2,20
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,87	h	1	3,87
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>15,2</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>23,4</b>

Tab. 9.7.6 Verfahrenskosten Betrieb NHF

Feldrandmietenkompostierung	NHF	Arbeitszeit je Arbeitsgang	Einheit	Anzahl Verfahrensgänge	h / 100-m-Miete*	Kosten lt. KTBL MaKost			Summe var. Kosten	Fixkosten Maschine	Fixkosten Schlepper	Summe Fixkosten	Summe var. Kosten + Fixkosten	Kosten 100-m-Miete*
						var. Kosten Maschine	var. Kosten Schlepper	Summe						
Mist laden (Schlepper mit Frontlader)	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,50	h	1	4,50	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	240 €	
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m³) bzw. 10 t Mist [2 km]	Schlepper 118 kW	1,00	h	1	1,00		20,20	20,20		16,03		20,20 €	20 €	
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m³) bzw. 10 t Mist [2 km]	Muldenkipper 20 m³ ohne Schlepper	215	t	1		0,20		0,20	0,95		0,95	1,15 €	247 €	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 118 kW mit Frontlader	2,50	h	1	2,50	1,00	17,52	18,52	3,03	14,34	17,37	35,89 €	90 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	37 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	35 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	31 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	45 €	
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00	1,00	12,74	13,74	3,03	5,82	8,85	22,59 €	68 €	
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	4,50	h	1	4,50							0,00 €	0 €	
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	0,50	h	4	2,00							0,00 €	0 €	
Bewässern 50m³ (5 m³-Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m³) mit Schlepper 95 kW	2,20	h	1	2,20	1,50	20,20	21,70	2,50	14,34	16,84	38,54 €	85 €	
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,01	h	1	4,01	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	214 €	
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	85 €	
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1		0,40		0,40	0,77		0,77	1,17 €	117 €	
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>				<b>17,2</b>				<b>Variable Kosten gesamt (ohne Mistladen, ohne Ausbringen)</b>				<b>390 €</b>	
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>				<b>28,8</b>				<b>Variable Kosten gesamt (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>				<b>1.312 €</b>	
* Volumen am Anfang der Kompostierung (m³):	430	44%	Schwund						<b>Variable Kosten je m³ Kompost (ohne Mistladen)</b>				<b>1,62 €</b>	
** Volumen am Ende der Kompostierung (m³):	241								<b>Variable Kosten je m³ Kompost (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>				<b>5,45 €</b>	

Tab. 9.7.7 Verfahrenskosten Betrieb KSM

Feldrandmietenkompostierung	KSM	Arbeitszeit je Arbeitsgang	Einheit	Anzahl Verfahrensgänge	h / 100-m-Miete*	Kosten lt. KTBL MaKost			Summe Fixkosten Maschine	Fixkosten Schlepper	Summe Fixkosten	Summe var. Kosten + Fixkosten	Kosten 100-m-Miete*
						var. Kosten Maschine	var. Kosten Schlepper	Summe var. Kosten					
Mist laden (Schlepper mit Frontlader)	Schlepper 118 kW mit Frontlader	10,00	h	1	10,00	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	533 €
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m³) bzw. 10 t Mist [2 km]	Schlepper 118 kW	5,00	h	1	5,00		20,20	20,20		16,03		20,20 €	101 €
Mist zur Miete fahren und abkippen; (Muldenkipper 20 m³) bzw. 10 t Mist [2 km]	Muldenkipper 20 m³ ohne Schlepper	200	t	1		0,20		0,20	0,95		0,95	1,15 €	230 €
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	3,00	h	1	3,00	1,00	17,52	18,52	3,03	14,34	17,37	35,89 €	108 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	37 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	35 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	31 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	45 €
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00	1,00	12,74	13,74	3,03	5,82	8,85	22,59 €	68 €
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	15,00	h	1	15,00							0,00 €	0 €
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	2,00	h	4	8,00							0,00 €	0 €
Bewässern 50m³ (5 m³-Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m³) mit Schlepper 95 kW	4,80	h	1	4,80	1,50	20,20	21,70	2,50	14,34	16,84	38,54 €	185 €
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,40	h	1	3,40	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	181 €
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	85 €
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1		0,40		0,40	0,77		0,77	1,17 €	117 €
	Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):	36,8							Variable Kosten gesamt (ohne Mistladen, ohne Ausbringen)			508 €	
	Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):	57,3							Variable Kosten gesamt (incl. Mistladen + Ausbringen)			1.754 €	
* Volumen am Anfang der Kompostierung (m³):	400	49%	Schwund						Variable Kosten je m³ Kompost (ohne Mistladen)			2,49 €	
** Volumen am Ende der Kompostierung (m³):	204								Variable Kosten je m³ Kompost (incl. Mistladen + Ausbringen)			8,60 €	

Tab. 9.7.8 Verfahrenskosten Betrieb BDH

Feldrandmietenkompostierung	BDH	Arbeitszeit je Arbeitsgang	Einheit	Anzahl Verfahrensgänge	h / 100-m-Miete*	Kosten lt. KTBL MaKost					Summe var. Kosten + Fixkosten	Kosten 100-m-Miete*	
						var. Kosten Maschine	var. Kosten Schlepper	Summe var. Kosten	Fixkosten Maschine	Fixkosten Schlepper			Summe Fixkosten
Holz hackschnitzel für Basismatte herstellen	Hacker mit Schlepper 95 kW	2,00	h	1	2,00	6,00	17,52	23,52	12,49	14,34	26,83	50,35 €	101 €
Basismatte mit Frontlader herstellen	Schlepper 118 kW mit Frontlader	2,50	h	1	2,50	1,00	22,88	23,88	3,03	16,03	19,06	42,94 €	107 €
Kleegras mähen (Kreiselmäherwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmäherwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44	3,95	20,20	24,15	7,31	16,03	23,34	47,49 €	21 €
Kleegras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50	2,30	12,74	15,04	3,07	5,82	8,89	23,93 €	12 €
Schlepper für Kurzschnittladewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	54 €
Kurzschnittladewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittladewagen (36 m³) bzw. 18 t	20,40	t	1		0,25		0,25	3,03		3,03	3,28 €	67 €
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50	1,00	17,52	18,52	3,03	14,34	17,37	35,89 €	54 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	37 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	35 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	31 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	45 €
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00	1,00	12,74	13,74	3,03	5,82	8,85	22,59 €	68 €
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	6,50	h	1	6,50							0,00 €	0 €
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	3,50	h	4	14,00							0,00 €	0 €
Bewässern 40m³ (1,5 m³-Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Frontfass (1,5 m³) mit Schlepper 95 kW	4,00	h	1	4,00	0,45	12,74	13,19	0,75	14,34	15,09	28,28 €	113 €
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,87	h	1	3,87	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	206 €
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	85 €
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1		0,40		0,40	0,77		0,77	1,17 €	117 €
		<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>			<b>32,0</b>	<b>Variable Kosten gesamt (ohne Mistladen, ohne Ausbringen)</b>					<b>382 €</b>		
		<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>			<b>44,7</b>	<b>Variable Kosten gesamt (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>					<b>1.152 €</b>		
* Volumen am Anfang der Kompostierung (m³):	400	42%	Schwund			<b>Variable Kosten je m³ Kompost (ohne Mistladen)</b>					<b>1,65 €</b>		
** Volumen am Ende der Kompostierung (m³):	232					<b>Variable Kosten je m³ Kompost (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>					<b>4,96 €</b>		

Tab. 9.7.9 Verfahrenskosten Betrieb RIS

Feldrandmietenkompostierung	RIS	Arbeitszeit je Arbeitsgang	Einheit	Anzahl Verfahrensgänge	h / 100-m-Miete*	Kosten lt. KTBL MaKost			Summe var. Kosten	Fixkosten Maschine	Fixkosten Schlepper	Summe Fixkosten	Summe var. Kosten + Fixkosten	Kosten 100-m-Miete*
						var. Kosten Maschine	var. Kosten Schlepper	Summe var. Kosten						
Kleegras mähen (Kreiselmäherwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmäherwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44	3,95	20,20	24,15	7,31	16,03	23,34	47,49 €	21 €	
Kleegras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50	2,30	12,74	15,04	3,07	5,82	8,89	23,93 €	12 €	
Schlepper für Kurzschnittladewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	54 €	
Kurzschnittladewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittladewagen (36 m³) bzw. 18 t	20,40	t	1		0,25		0,25	3,03		3,03	3,28 €	67 €	
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50	1,00	17,52	18,52	3,03	14,34	17,37	35,89 €	54 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	37 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	35 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	31 €	
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	45 €	
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00	1,00	12,74	13,74	3,03	5,82	8,85	22,59 €	68 €	
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	2,00	h	1	2,00							0,00 €	0 €	
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	1,40	h	4	5,60							0,00 €	0 €	
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	4,64	h	1	4,64	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	247 €	
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	85 €	
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1		0,40		0,40	0,77		0,77	1,17 €	117 €	
		<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>			<b>15,1</b>	<b>Variable Kosten gesamt (ohne Mistladen, ohne Ausbringen)</b>						<b>269 €</b>		
		<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>			<b>24,1</b>	<b>Variable Kosten gesamt (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>						<b>872 €</b>		
* Volumen am Anfang der Kompostierung (m³):	480	42%	Schwund			<b>Variable Kosten je m³ Kompost (ohne Mistladen)</b>						<b>0,97 €</b>		
** Volumen am Ende der Kompostierung (m³):	278					<b>Variable Kosten je m³ Kompost (incl. Mistladen + Ausbringen)</b>						<b>3,13 €</b>		

Tab. 9.7.10 Verfahrenskosten Betrieb GBH

Feldrandmietenkompostierung	GBH	Arbeitszeit je Arbeitsgang	Einheit	Anzahl Verfahrensgänge	h / 100-m-Miete*	Kosten lt. KTBL MaKost					Summe var. Kosten + Fixkosten	Kosten 100-m-Miete*	
						var. Kosten Maschine	var. Kosten Schlepper	Summe var. Kosten	Fixkosten Maschine	Fixkosten Schlepper			Summe Fixkosten
Verfahrensbeschreibung (100 m Miete)	Technik												0 €
													0 €
Kleegras mähen (Kreiselmäherwerk Front- und Heckanbau)	Front- und Heckmäherwerk (130 kW)	0,44	h	1	0,44	3,95	20,20	24,15	7,31	16,03	23,34	47,49 €	21 €
Kleegras schwaden	2-Kreiselschwader mit Schlepper 66 kW	0,50	h	1	0,50	2,30	12,74	15,04	3,07	5,82	8,89	23,93 €	12 €
Schlepper für Kurzschnittladewagen erfassen, transportieren und abladen	130 kW Schlepper	1,33	h	1	1,33		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	54 €
Kurzschnittladewagen (ohne Schlepper) erfassen, transportieren und abladen	Kurzschnittladewagen (36 m³) bzw. 18 t	20,40	t	1		0,25		0,25	3,03		3,03	3,28 €	67 €
Material mischen bzw. aufsetzen	Schlepper 95 kW mit Frontlader	1,50	h	1	1,50	1,00	17,52	18,52	3,03	14,34	17,37	35,89 €	54 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 1. Durchsatz 45 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,75	h	1	0,75	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	37 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 2. Durchsatz 42 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,71	h	1	0,71	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	35 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, 3. Durchsatz 38 min/Miete; 130 kW	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,63	h	1	0,63	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	31 €
Kompost umsetzen, angehängter Wender, weitere Folgedurchsätze 27 min/Miete	Kompostwender mit Schlepper 95 kW	0,45	h	2	0,90	4,20	22,88	27,08	8,10	14,34	22,44	49,52 €	45 €
Nacharbeiten an der Miete nach dem Umsetzen	Schlepper 66 kW mit Frontlader	1,00	h	3	3,00	1,00	12,74	13,74	3,03	5,82	8,85	22,59 €	68 €
allgemeiner Aufwand (Logistik)	per Hand	2,50	h	1	2,50							0,00 €	0 €
Mieten auf- bzw. abdecken (per Hand)	per Hand	1,00	h	3	3,00							0,00 €	0 €
Bewässern 50m³ (5 m³-Wasserfass /Befüllen, Transport, Ausbringen)	Vakuumfass (5 m³) mit Schlepper 95 kW	2,20	h	1	2,20	1,50	22,88	24,38	2,50	14,34	16,84	41,22 €	91 €
Kompost ** laden	Schlepper 118 kW mit Frontlader	3,87	h	1	3,87	1,00	20,20	21,20	16,03	16,03	32,06	53,26 €	206 €
Kompost ausbringen 100 t (Breitstreuer); Entfernung 2 km / (nur Schlepper)	Schlepper 130 kW	2,08	h	1	2,08		22,88	22,88		17,72	17,72	40,60 €	85 €
Kompost ausbringen (Breitstreuer) 100 t (ohne Schlepper)	Schlepper 130 kW mit 18 t Breitstreuer	100	t	1		0,40		0,40	0,77		0,77	1,17 €	117 €
	<b>Arbeitszeit gesamt (ohne Laden und Ausbringen):</b>	<b>15,2</b>											<b>360 €</b>
	<b>Arbeitszeit gesamt (mit Laden und Ausbringen):</b>	<b>23,4</b>											<b>921 €</b>
* Volumen am Anfang der Kompostierung (m³):	400	42%	Schwund										<b>1,55 €</b>
** Volumen am Ende der Kompostierung (m³):	232												<b>3,97 €</b>

## 9.8 Mietenbegleitkarte

### Mietenbegleitkarte

Allgemein			Mietengeometrie (Rottebeginn)		Mietenvolumen (m <sup>3</sup> )						
Name des Betriebes:			Länge (oben)		m						
Mietenbezeichnung*:			(unten)		m						
Aufsetzdatum:			Breite (oben)		m						
Kompostierungsende:			(unten)		m						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Inputmaterialien (ca.)</th> <th>Menge m<sup>3</sup></th> <th>Anteil (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Inputmaterialien (ca.)	Menge m <sup>3</sup>	Anteil (%)				Höhe		m
Inputmaterialien (ca.)	Menge m <sup>3</sup>	Anteil (%)									
			Mietengeometrie (Rotteende)		Mietenvolumen (m <sup>3</sup> )						
			Länge (oben)		m						
			(unten)		m						
			Breite (oben)		m						
			(unten)		m						
			Höhe		m						
			Umsetzung und Bewässerung (Datum & ev. Menge eintragen)								
			Umsetzen	Vlies drauf	Vlies runter						
			Bewässerung & -menge (m <sup>3</sup> )								
Prozessführung											
Rottedauer	Wochen										
Umsetzfrequenz											
Umsetzaggregat	<input type="checkbox"/> Umsetzer	<input type="checkbox"/> Radlader									
Häckseln vor Start	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein									
Bewässerung Start	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein									

\* Beispiel einer Mietenbezeichnung: Hofname/Jahr/Kalenderwoche/Mietennummer der Kw.

z.B. Dottenfelder Hof/2021/42/1

