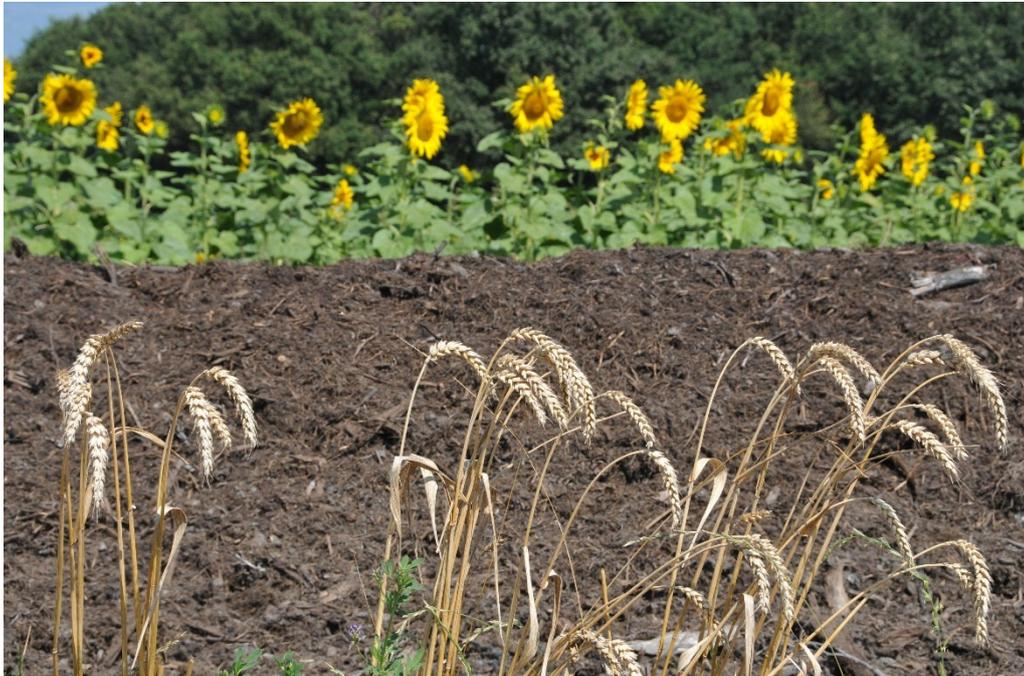


Die Grundlagen des Kompostierens



Ein praktischer Leitfaden für die Verwaltung von Kompostierungsprozessen

Dr. Jacques G. Fuchs, FiBL

Mai 2025

Impressum

Herausgeber:

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Ackerstrasse 113, Postfach 19, 5070 Frick, Schweiz
Tel. +41 (0)62 865 72 72
info.suisse@fibl.org, fibl.org

Autor:

Jacques G. Fuchs (FiBL Schweiz)

Fotos:

Jacques G. Fuchs

2025 © FiBL

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung: Wege zur Verarbeitung organischer Überreste	3
1.1	Herkömmliche Kompostierung	3
1.2	Wurmkompostierung	6
1.3	Anaerobe Gärung (Methanisierung)	8
1.4	Pyrolyse (Herstellung von Biochar (Pflanzenkohle))	9
1.5	Verbrennung (Erzeugung von Wärmeenergie)	10
2.	Biologie der Kompostierung	11
2.1	Wie funktioniert Kompostierung?	12
2.2	Wie verändern sich die Parameter der Kompostierung?	13
3.	Praktisches Management des Kompostierungsprozesses	16
3.1	Konzept zur Sammlung von Kompostinputs	16
3.2	Aufsetzen eines Komposthaufens	23
3.3	Kontrolle des eigentlichen Kompostierungsprozesses	26
3.4	Verpacken von Produkten	30
4.	Qualitätssicherung der Produkte	35
4.1	Entnahme einer repräsentativen Kompostprobe	35
4.2	Gesetzliche Analysen erforderlich	35
4.3	Interpretation der agronomischen Daten	36
4.4	Interpretation der Daten für den Umweltschutz	37
4.5	Zusätzliche Parameter für die Produktqualität	38
5.	Wurmkompostierung	45
5.1	Wurmkompostierungssysteme	45
5.2	Wie Wurmkompostierung funktioniert	45
5.3	Voraussetzungen für die Wurmkompostierung	46
5.4	Installation eines Wurmkompostierungssystems	47
5.5	Verwaltung der Wurmkompostierung	47
5.6	Eigenschaften von Wurmkompost	49
5.7	Tee aus Wurmkompost	50
6.	Planung und Bau einer Kompostieranlage	50
6.1	Planung einer Kompostieranlage	51
7.	Experimente im Bereich der Kompostierung	58
7.1	Versuche zur Optimierung von Kompostierungsprozessen	58
7.2	Methodik für die Durchführung von Kompostierungsversuchen	60
7.3	Versuche zur Optimierung der Verwendung des erzeugten Komposts	62

8.	Verwendung von Kompost.....	66
8.1	Bedürfnisse anhand von Zielen definieren	66
8.2	Die Qualität des Komposts bewerten	67
8.3	Bewertung der Düngerbilanz	67
8.4	Praktische Verwendung von Kompost auf dem Feld	68
9.	Schlussfolgerungen	69

Anhänge

- Anhang 1: Chemische Analyse des Komposts in einem Feldlabor
- Anhang 2: Kompostqualität mittels Kresstests bestimmen

1. Einführung: Wege zur Verarbeitung organischer Überreste

Die fünf wichtigsten Wege zur Verwertung organischer Abfälle sind die herkömmliche Kompostierung, die Wurmkompostierung, die anaerobe Fermentation (Methanisierung), die Pyrolyse (Herstellung von Pflanzenkohle) und die Verbrennung (energetische Nutzung von Biomasse).

Obwohl sie manchmal miteinander konkurrieren, sollten sie als komplementär betrachtet werden, da jeder mehr oder weniger auf die unterschiedlichen Situationen zugeschnitten ist. Ebenso haben die daraus entstehenden Produkte unterschiedliche Eigenschaften und ergänzen sich in den Wirkungen, die sie erzielen sollen.

1.1 Herkömmliche Kompostierung

Laut der Europäischen Umweltagentur ist Kompostierung "die kontrollierte biologische Zersetzung von organischem Material in Gegenwart von Luft, um ein humusähnliches Material zu bilden". Zu den kontrollierten Methoden der Kompostierung gehören das mechanische Mischen und Belüften des Materials, indem es durch eine vertikale Reihe von belüfteten Kammern fällt oder im Freien mit regelmäßigem Mischen oder Umschichten aufgeschichtet wird.

Die richtige Wahl der Ausgangsmischung ist entscheidend für einen guten Prozess. Ein C/N-Verhältnis zwischen 30 und 40 ist optimal. Das Material sollte ausreichend strukturiert sein, um eine gute Luftzirkulation zu ermöglichen und anaerobe Zonen zu vermeiden. Die Ausgangsmischung und ihre Struktur müssen auf das gewählte Kompostierungssystem abgestimmt sein.

Die Kompostierung kann im Kleinen (wie z.B. die Eigenkompostierung) oder im industriellen Maßstab erfolgen. Die erforderliche Infrastruktur kann sehr rudimentär (z. B. ein paar Bretter und eine Gabel) oder sehr ausgeklügelt sowie praktisch automatisch sein. In jedem Fall ist eine gute Steuerung des Prozesses entscheidend, um qualitativ hochwertige und hygienisch einwandfreie Produkte (Kompost) zu erhalten.

Der weitaus größte Teil des im Kompost enthaltenen Stickstoffs liegt in organischer Form vor und ist kurzfristig nur marginal für die Pflanzen verfügbar. Dagegen hat Kompost, vor allem wenn er reif ist, mittel- und langfristig eine gute Wirkung auf die Bodenstruktur, die Wasserhaltefähigkeit des Bodens und schützt ihn vor Erosion.

Die verschiedenen Arten der traditionellen Kompostierung sind folgende:

Hauskompostierung

- Geringer Bedarf an Infrastruktur und Investitionen
- Relativ große Menge an Handarbeit pro produzierter Kompostmenge
- Geeignet für kleine Mengen an zu verarbeitenden organischen Rückständen (bis zu 10-20 m³/Jahr)



Kompostierung an Feldrändern

- Diese Methode eignet sich für Landwirte mit einer nicht zu großen Menge an Rohstoffen (bis zu 500-1'000 Tonnen pro Jahr).
- Mit dieser Methode können sowohl Festmist als auch Grünabfälle verarbeitet werden.
- Keine klare Trennung zwischen der Umgebung (Boden) und dem Kompost, so dass es schwierig ist, sicherzustellen, dass der Kompost frei von Unkraut ist.
- Relativ geringe Investitionskosten, dafür aber arbeitsintensiv.



Kleine Mieten (bis zu 2 m hoch, 3-4 m breit)

- Geeignet für die Verarbeitung von Festmist und/oder Grünabfällen bis zu 5.000-6.000 Tonnen pro Jahr.
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Jeder Haufen kann individuell verwaltet werden (Ausgangsmischung, Reifegrad), so dass unterschiedliche Komposte für unterschiedliche Anwendungen hergestellt werden können.
- Durchschnittliche Investitionskosten. Relativ arbeitsintensiv.
- Benötigt eine relativ große Fläche.



Tafelmieten (bis zu 3,5 m hoch, unbeschränkte Breite)

- Geeignete Methode, um große Mengen an Festmist und/oder Grünabfällen zu verarbeiten. Eine ausreichende Menge an Material mit grober Struktur ist erforderlich, um eine gute Luftzirkulation im Haufen zu gewährleisten.
- Zwangsbelüftung kann eingesetzt werden.
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Keine klare Trennung zwischen den verschiedenen Kompostpartien.
- Relativ hohe Investitionskosten, aber geringerer Arbeitsbedarf im Vergleich zu kleineren Mieten.



Kleine Mieten unter dem Dach (bis zu 2 m hoch, 3-4 m breit)

- Methode, die sich für die Verarbeitung von 5.000 bis 6.000 (oder mehr) Tonnen Festmist und/oder Grünabfall pro Jahr eignet.
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Klare Trennung zwischen den verschiedenen Kompostpartien.
- Arbeiten auch während der Regen- oder Schneesaison möglich.
- Relativ hohe Investitionskosten



Kompostierung in einer Halle (ca. 3,5 m hoch, 20 m breit)

- Geeignete Methode zur Behandlung großer Mengen an Festmist und/oder Grünabfällen.
- Mit Zwangsbelüftung
- Möglichkeit des mechanischen Umwälzens der Mieten
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Keine klare Trennung zwischen den verschiedenen Kompostpartien.
- Hohe Investitionskosten.



Kompostierung in Kanälen (ca. 2,5 m hoch, 5 m breit)

- Geeignete Methode zur Behandlung großer Mengen an Festmist und/oder Grünabfällen.
- Das Wenden des Komposts wird automatisch geregelt.
- Zwangsbelüftung kann eingesetzt werden.
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Klare Trennung zwischen den verschiedenen Kompostpartien.
- Die Häufigkeit, mit der eine Kompostcharge gewendet wird, ist fest (vom System definiert).
- Hohe Investitionskosten. Geringe Arbeitsintensität.



Kompostierung in Boxen (ca. 3,5 m hoch, 6 m breit, 20 m lang)

- Geeignete Methode zur Behandlung großer Mengen an Festmist und Grünabfällen.
- Das Umsetzen des Komposts, die Zwangsbelüftung und die Befeuchtung des Materials erfolgen praktisch automatisch.
- Klare Trennung zwischen Umwelt und Kompost.
- Klare Trennung zwischen den Kompostchargen.
- Zu Beginn des Prozesses muss die Verteilung des Materials in der Box gleichmäßig sein, da sonst der Verlauf des Kompostierungsprozesses von einem Teil der Box zum anderen stark variieren wird.
- Hohe Investitionskosten. Geringe Intensität des Einsatzes von Arbeitskräften. Beschränkter Platzbedarf im Verhältnis zur verarbeiteten Menge.



Es sollte betont werden, dass all diese Systeme guten Kompost, aber auch schlechten Kompost produzieren können! Das Prozessmanagement ist für die Qualitätssicherung von entscheidender Bedeutung.

1.2 Wurmkompostierung

Die Wurmkompostierung ist eine Kompostierungstechnik, bei der organische Abfälle mithilfe von Würmern in nährstoffreichen Humus, den sogenannten Wurmkompost, umgewandelt werden. Diese Technik eignet sich gut für die Verarbeitung von verschiedenen Mistarten (Pferde-, Rinder- und Kaninchenmist), Gemüse- und Obstabfällen (Küchenabfälle), Rasenschnitt sowie vorkompostierten landwirtschaftlichen Abfällen.

Bei dieser Technik steigt die Temperatur der organischen Rückstände nicht in die Höhe, so dass die natürliche Hygienisierung des Materials nicht wie bei der herkömmlichen Kompostierung gewährleistet werden kann. Daher ist es wichtig, Inputs auszuwählen, bezüglich Unkräutern und Krankheitserregern unproblematisch sind. Im Zweifelsfall kann eine kurze Phase der traditionellen Kompostierung mit Temperaturanstieg durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass Unkräuter und Krankheitserreger abgetötet werden, bevor sie in das Wurmkompostierungssystem eingebracht werden.

Wurmkompost ist meistens reicher an Nährstoffen (wie N, P und K) als herkömmlicher Kompost. Dies liegt zum Teil an der Verwendung von schwach strukturierten, nährstoffreicheren Inputs und zum Teil an den sehr geringen Ammoniakverlusten, die während der Erhitzungsphase von herkömmlichem Kompost auftreten.

Die Säfte, die während des Prozesses aus der Wurmkompostierung austreten können, sind ebenfalls reich an Nährstoffen und können, verdünnt, auch als Flüssigdünger verwendet werden.

Wurmkompostierung im Haushalt

- Einfaches System für kleine Mengen organischer Rückstände.
- Der Boden der drei Behälter ist perforiert. Wenn der obere Behälter mit organischen Abfällen gefüllt ist, ist der im unteren Behälter enthaltene Wurmkompost reif. Er kann geleert und der obere Behälter umgedreht werden, um die neuen organischen Rückstände zu füttern. Die Würmer wechseln automatisch von reifem Kompost zu frischem Material.
- Kann mithilfe von Holzkästen oder anderen Materialien selbst hergestellt werden.



Wurmkompostierung in Gräben

- Relativ arbeitsintensiv
- Hält die Feuchtigkeit im Material
- Erlaubt kein Sammeln von Säften (Laugen)
- Nicht mit Plastikfolien abdecken (um den Luftaustausch zu ermöglichen)



Wurmkompostierung in Schichten

- Rentabel, aber arbeitsintensiv
- Achten Sie darauf, dass das Material nicht austrocknet (Bewässerung).
- Erlaubt kein Sammeln von Säften (Auswaschung)
- Ein Dach wird empfohlen, um das System vor Witterungseinflüssen (Regen) und Sonneneinstrahlung zu schützen.



Wurmkompostierung in Betten

- Günstige Infrastruktur
- Für relativ moderate Mengen an zu behandelnden organischen Rückständen
- Einfaches Sammeln von Säften



Wurmkompostierung in Boxen

- Relativ arbeitsintensiv
- Hält die Feuchtigkeit gut im Material
- Ein Dach wird empfohlen, um das System vor Witterungseinflüssen (Regen) und Sonneneinstrahlung zu schützen.
- An der Unterseite der Wände sollten Öffnungen angebracht werden, damit das Material belüftet werden kann.
- Ein System zur Rückgewinnung von Säften (Laugen) kann installiert werden.



Halbautomatisches Wurmkompostierungssystem

- Relativ teuer, aber arbeitstechnisch vorteilhaft
- Ermöglicht die Verarbeitung großer Mengen organischer Rückstände



1.3 Anaerobe Gärung (Methanisierung)

Bei der anaeroben Vergärung werden organische Rückstände unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerobe Bedingungen) verarbeitet. Das Ergebnis ist die Produktion von Methan, einem Gas, das als Energiequelle genutzt werden kann, und von flüssigen und/oder festen Gärresten (d. h. den Produkten, die bei der Flüssig-Fest-Trennung von Gärresten entstehen: Ein Gärrest ist fest, wenn sein Trockenmassegehalt über 20 % liegt, und flüssig, wenn er darunter liegt). Grundsätzlich ist die anaerobe Vergärung vor allem ein Prozess, bei dem die labilste Fraktion organischer Abfälle abgebaut wird; Lignin (Holz) kann unter anaeroben Bedingungen nicht abgebaut werden.

Gärrückstände sind ein organischer Dünger, der große Mengen an schnell pflanzenverfügbaren Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, enthält. Da seine organische Substanz jedoch noch nicht stabilisiert ist und normalerweise wenig Lignin enthält, ist seine Wirkung auf die Bodenstruktur mittel- bis langfristig nur mäßig.

Die am häufigsten verwendeten anaeroben Verdauungsprozesse arbeiten bei mesophilen (30-40 °C) oder thermophilen (50-60 °C) Temperaturen. Der anaerobe Verdauungsprozess ist nicht exogen und muss daher auf die gewünschte Temperatur erhitzt werden.

Bei der anaeroben Verdauung sind vier mikrobielle Prozesse beteiligt: Hydrolyse, Fermentation, Acetogenese und Methanogenese. Verschiedene mikrobielle Gemeinschaften sind für diese Prozesse verantwortlich und es ist wichtig, dass die Populationen auf jeder trophischen Ebene ausgeglichen sind.

Der Prozess der anaeroben Vergärung erfordert viel mehr Technologie als die Kompostierung. Er erfordert daher eine wesentlich höhere Investition als die Kompostierung und ist anfälliger für verschiedene technische Probleme und andere Fehlfunktionen.

Anaerobe Co-Vergärung

- Behandlung von Mist/Gülle mit anderen organischen Abfällen
- Flüssiges System (5-10% Trockensubstanz)
- Meist mesophil (40-44°C)
- Relativ stabiler biologischer Prozess
- Relativ lange Prozessdauer (2 bis 4 Monate)



Anaerobe Fermentation in Boxen

- Chargensystem (wöchentliche Leerung und Befüllung einer Box)
- Trockenes anaerobes Chargensystem
- Meist mesophil
- Relativ stabiler biologischer Prozess
- Erforderliche Prozessdauer durchschnittlich (4-6 Wochen)



Industrielle anaerobe Fermentation

- Kontinuierliche trockene anaerobe Vergärung
- Thermophil, Retentionszeit ca. 2 Wochen
- Ermöglicht die Verarbeitung großer Mengen organischer Abfälle



1.4 Pyrolyse (Herstellung von Biochar (Pflanzenkohle))

Organisches Material (häufig Holzspäne) wird unter Ausschluss von Sauerstoff bei Temperaturen von über 550 °C pyrolysiert. Die gewonnenen Produkte sind Pflanzenkohle und Energie. Es ist wichtig, den Prozess der Holzkohleherstellung zu kontrollieren, da sonst die Gefahr besteht, dass sich während des Prozesses in großem Umfang organische Schadstoffe (PAK) bilden.

Aus hygienischer Sicht ist Biokohle absolut einwandfrei, da alle Unkräuter und Krankheitserreger während des Pyrolyseprozesses abgetötet wurden.

Biokohle ist dafür bekannt, dass sie die Wasserrückhaltefähigkeit von Böden verbessert. Außerdem bietet sie eine große Oberfläche für den Austausch von Ionen im Boden. Aufgrund ihrer hohen Abbaustabilität kann Pflanzenkohle langfristig große Mengen an Kohlenstoff im Boden binden.

Da Biokohle jedoch nur wenige pflanzenverfügbare Nährstoffe enthält, muss sie vor der Verwendung aktiviert (d. h. mit Nährstoffen beladen) werden, da sie ansonsten zur Immobilisierung von Nährstoffen (einschließlich Stickstoff) im Boden führen kann. Sie kann z.B. aktiviert werden, indem sie bei der Kompostierung oder Methanisierung organischen Überresten zugesetzt wird.

System zur handwerklichen Herstellung von Biokohle

- Verarbeitungssystem in Chargen
- Sehr geringe Investitionen erforderlich
- Begrenzte Möglichkeiten der Prozesskontrolle
- Definierte und geeignete Inputs (z. B. Kokosnussschalen), ermöglichen die Herstellung bescheidener Mengen an Pflanzkohle in akzeptabler Qualität.



Kon-Tiki-Pyrolyse-System

- Verarbeitungssystem in Chargen
- Relativ einfache Handhabung, geeignet für Landwirte
- Ermöglicht die Produktion großer Mengen Holzkohle auf landwirtschaftlicher Ebene.
- Relativ geringe Investitionskosten



Halbindustrieller Pyrolyseofen

- Verarbeitungssystem in Chargen
- Gut kontrollierter Prozess zur Herstellung von Holzkohle mit gleichbleibender Qualität
- Durchschnittliche Investitionskosten



Industrieller Pyrolyseofen

- Kontinuierliches Produktionssystem
- Der Prozess muss gut kontrolliert werden, um qualitativ hochwertige Holzkohle zu produzieren.
- Hohe Investitionskosten



1.5 Verbrennung (Erzeugung von Wärmeenergie)

Organisches Material kann auch verwendet werden, um durch Verbrennung Energie in Form von Wärme zu erzeugen. Im Interesse der Umwelt müssen die dafür verwendeten Materialien jedoch sorgfältig ausgewählt werden. Besonders geeignet sind holzige Materialien. Stickstoffreiche Materialien (Mist, getrocknete Pflanzenabfälle usw.) sind

ungeeignet, denn bei der Trocknung oder Verbrennung geht der darin enthaltene Stickstoff - ein wichtiger Dünger - größtenteils verloren.

Um eine gute Aschequalität zu gewährleisten, ist es wichtig, die Verbrennung der Materialien zu kontrollieren. Andernfalls können organische Schadstoffe (z. B. PAK) entstehen, die sich in der Asche wiederfinden.

Die Asche aus der Verbrennung enthält kaum noch Stickstoff, dafür aber große Mengen an Phosphor und vor allem Kalium. Ihr Düngewert hängt jedoch von den verwendeten Inputs ab. Solange sie keine organischen Schadstoffe enthält, kann Asche als Düngemittel verwendet werden (sofern die Gesetzgebung des Landes dies zulässt). Eine Möglichkeit, ihre Verwendung zu erleichtern, besteht darin, sie zu Beginn des Kompostierungsprozesses den organischen Rückständen beizufügen.

Im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit ist zu betonen, dass Asche außer der Bereitstellung von Nährstoffen wie Pottasche und Phosphor kaum positive Auswirkungen hat. Asche ist mikrobiologisch tot und hat keinen Einfluss auf das biologische Leben im Boden. Andererseits ist Asche ein mineralisches Produkt; das gesamte organische Material wird durch die Verbrennung mineralisiert. Daher verbessert Asche weder den Humusgehalt des Bodens noch seine physikalischen Aspekte (Struktur, Wasserspeicherung, Porosität usw.). Aus agronomischer Sicht ist sie daher deutlich weniger interessant als Kompost, Gärrückstände oder Biokohle.

2. Biologie der Kompostierung

Die Kompostierung ist ein biologischer Prozess, an dem Tausende von Mikroorganismen beteiligt sind. Dieser Prozess ist relativ komplex und die Aufgabe des Kompostmeisters besteht darin, die Bedingungen zu schaffen und zu kontrollieren, die die Mikroorganismen benötigen, um ihre Arbeit optimal zu erledigen. Dazu gehört es, die Prozesse zu überwachen, mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen und rechtzeitig entsprechende Maßnahmen zu ergreifen.

Kompostieren bedeutet, organische Reste bewusst in den natürlichen Stoffkreislauf der Natur zurückzuführen. Kompostierung ist ein vom Menschen geführter Prozess, der ineinandergreifende Umwandlungsprozesse organischer Substanzen unter dem Einfluss der Bodenflora und -fauna beinhaltet. Es handelt sich um eine sinnvolle Möglichkeit, die sich ansammelnden organischen Abfälle wiederzuverwerten und sie nicht durch Verbrennen aus dem Kreislauf zu entfernen. Das Hauptziel der Kompostierung ist die schnelle Bildung von biologisch aktivem Humus und damit die Revitalisierung von Kulturböden. Das Ergebnis der Kompostierung ist ein wertvolles Produkt: Kompost.

Kompost ist das feste, krümelige, bräunliche bis dunkelbraune Produkt eines aeroben Abbaus von biogenen Abfällen oder organischen Stoffen. Eine große Anzahl von Mikroorganismen arbeitet unter dem ständigen Einfluss von Luft (Sauerstoff) und ausreichender Feuchtigkeit in dem Materialgemisch. Es findet nicht nur ein Abbau statt, sondern es werden auch neue Verbindungen gebildet. Der Kompost ist lebendig und soll daher auch wie ein lebender Organismus behandelt werden. Das bedeutet, dass wir ihn pflegen müssen. Ein gesunder Kompost kann dem Boden und den Pflanzen viele Vorteile bringen, ein ungesunder Kompost kann jedoch Nachteile für das Pflanzenwachstum mit sich bringen.

Um Kompostierungsprozesse zu steuern und Qualitätskompost herzustellen, ist es von entscheidender Bedeutung, die biologische Grundlage des Prozesses zu kennen und zu verstehen.

2.1 Wie funktioniert Kompostierung?

Während des Kompostierungsprozesses werden die organischen/biologischen Rückstände von zahlreichen Mikroben (Bakterien, Protozoen, Aktinomyceten, Pilze) und Kleintieren (hauptsächlich Insekten, Milben und Kompostwürmer) mit ständigem Zugang zu Luft (Sauerstoff) und ausreichender Feuchtigkeit im Material zersetzt und umgewandelt. Es sind diese nützlichen Organismen, die die Arbeit erledigen. Unsere einzige Verantwortung ist es daher, die idealen Bedingungen zu schaffen, damit sie ihre Arbeit optimal verrichten können.



Mikroorganismen in der Kompostierung. v.l.n.r.: Bakterien, Pilze, Aktinomyceten.

Die Kompostierung kann in zwei Phasen unterteilt werden: die Abbauphase (mit Wärmeentwicklung) und die Reifungsphase (mit Aufbau von stabilem Humus).

- Die Abbauphase mit Wärmeentwicklung ist sehr wichtig für die Vernichtung von Krankheitserregern und Unkrautsamen im Kompost. Deshalb ist es wichtig, den Kompost in dieser Zeit mindestens dreimal umzuschichten, damit jeder Teil des Komposts unter dem Einfluss dieser Wärme steht. Während der Abbauphase sind vor allem die Bakterien aktiv. Sie ernähren sich von organischem Material, das relativ leicht verdaulich ist. Bakterien sind jedoch nicht in der Lage, Lignin (Holz) zu zersetzen.
- Während der Reifephase zersetzt sich das Holzmaterial und es bildet sich stabiler Humus. In dieser Phase findet auch die Nitrifikation statt. Während der Reifungsphase leisten Pilze und Aktinomyceten die meiste Arbeit. Während Pilze Holz abbauen können, sind Aktinomyceten für den Abbau von schwierigen Substanzen wie Chitin (z.B. Haare) verantwortlich.

Damit der Kompostierungsprozess stattfindet, sind zwei Dinge entscheidend:

- Kohlenstoff (Energiequelle)
- Stickstoff (Grundlage für die Bildung von Proteinen)

Wenn das Verhältnis zwischen verfügbarem Kohlenstoff und Stickstoff (C:N-Verhältnis) zu hoch ist (zu viel Kohlenstoff), steht den Mikroorganismen nicht genügend Stickstoff zur Verfügung, um ihre Populationen zu entwickeln, und der Abbau von organischem Material kann nicht effektiv erfolgen. Ist das C:N-Verhältnis zu niedrig (zu viel Stickstoff), kann der verfügbare Stickstoff nicht genutzt werden und geht in Form von gasförmigen Emissionen verloren; in diesem Fall kommt es häufig auch zu unerwünschten Geruchsemissionen.

Holziges Material hat ein hohes C:N-Verhältnis, während strukturarmes Material (z.B. Salatblätter, Rasenschnitt usw.) ein niedriges C:N-Verhältnis hat.

Das C/N-Verhältnis zu Beginn der Gärung sollte zwischen 30 und 40 liegen.

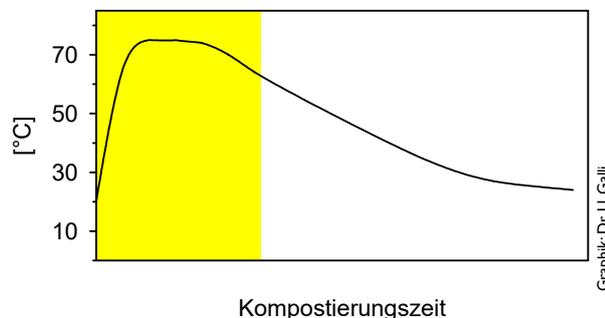
<i>C:N-Verhältnisse verschiedener organischer Rückstände</i>	
<i>Organische Rückstände</i>	<i>Verhältnis C:N</i>
Urin :	0.8
Federn:	4 - 5
Hühnermist :	8 - 10
Gras :	12
Reifer Kompost :	12 - 15
Junger Kompost :	15 - 18
Kuhmist :	15 - 20
Küchenabfälle :	23
<u>Ideales C:N Verhältnis der Ausgangsmischung :</u>	<u>30 - 40</u>
Blätter von Bäumen :	50
Strohalm :	50 - 150
Holz (Sägespäne) :	200 - 500

2.2 Wie verändern sich die Parameter der Kompostierung?

Um die Herstellung von gutem Kompost zu gewährleisten, ist es wichtig, den gesamten Prozess zu überwachen, vom Sammeln des Grünmaterials bis hin zur Lagerung des Endprodukts und seiner Verwendung. Insbesondere ist es wichtig, die Parameter des Kompostierungsprozesses zu überwachen, um sicherzustellen, dass er so reibungslos wie möglich abläuft.

a. Temperatur

Aufgrund der intensiven Aktivität der Bakterien steigt die Temperatur in der Mitte des Komposthaufens schnell an und kann Werte von über 70°C erreichen. Die optimale Temperatur für eine gute Hygienisierung des Materials und eine optimale Biologie liegt zwischen 60 und 70°C. Wenn die Mischung aus organischen



Graphik: Dr. U. Galli

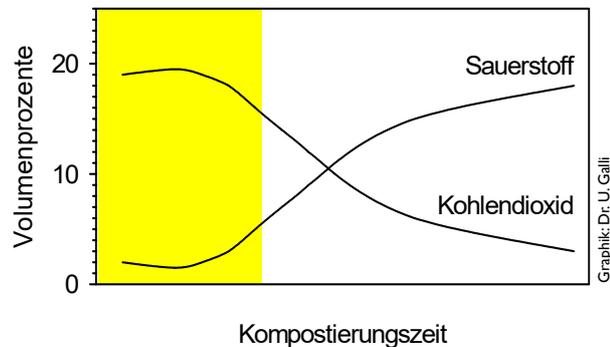
Rückständen zu reich an leicht abbaubaren Stoffen oder die Feuchtigkeit zu gering ist, kann die Temperatur auf über 80°C ansteigen. Dies ist der mikrobiologischen Qualität des erzeugten Komposts abträglich, da die für das Bodenleben nützlichen Mikroorganismen bei solchen Temperaturen nicht überleben können. Wenn die Ausgangsmischung nicht genügend Stickstoff im Verhältnis zum Kohlenstoff enthält oder das Material zu feucht ist,

um eine Luftzirkulation zu ermöglichen, bleibt die Temperatur unter 50°C und die natürliche Hygienisierung des Materials ist nicht gewährleistet.

b. Zusammensetzung des Gases im Komposthaufen

Die Zusammensetzung des Gases im Inneren des Komposthaufens ändert sich während des Prozesses. Die Umgebungsluft enthält etwa 79 % Stickstoff und 21 % O₂, während die Menge an CO₂ nahezu 0 % beträgt.

Aufgrund der intensiven Aktivität der Mikroorganismen während der heißen Phase steigt die Menge an CO₂ im Gasgemisch und die Menge an O₂ sinkt. Solange Sauerstoff in der Luft vorhanden ist, beträgt die Summe von CO₂ und O₂ etwa 21 %. Mit fortschreitender Reifung nimmt die mikrobiologische Aktivität ab, was zu einem Anstieg des Sauerstoffs und einem Rückgang von CO₂ führt.

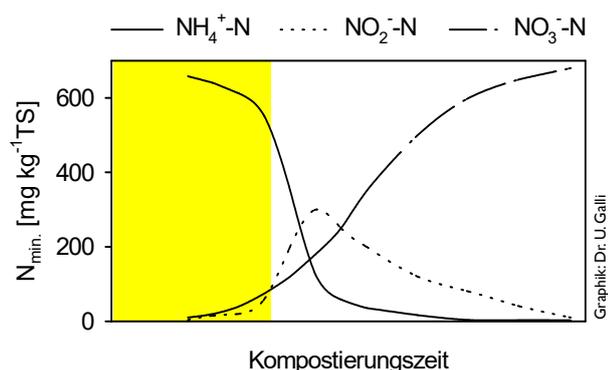


Für einen optimalen Kompostierungsprozess muss der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre des Komposthaufens mindestens 4-5 % betragen. Außerdem ist es wichtig, auf die Verteilung des Sauerstoffs im Haufen zu achten und sicherzustellen, dass jedes Stück des Materials ausreichend Sauerstoff erhält. Es ist besonders wichtig, die Bildung von Klumpen durch effektives Umsetzen des Komposts zu vermeiden, da sonst anaerobe Bedingungen in diesen Klumpen herrschen können. Um sicherzustellen, dass im gesamten Haufen aerobe Bedingungen herrschen, empfiehlt es sich, den Methangehalt (CH₄) im Haufen zu messen - diese Messung kann mit einem tragbaren Gasmessgerät durchgeführt werden. Das Fehlen von CH₄ deutet auf eine gleichmäßige Sauerstoffverteilung im Haufen hin.

Wie bereits erwähnt, ist der Sauerstoffbedarf während der thermophilen Phase des Kompostierungsprozesses viel höher. Es ist wichtig, während dieser Phase ständig einen Mindestsauerstoffgehalt im Kompost aufrechtzuerhalten, um eine hohe positive biologische Qualität zu gewährleisten. Es ist jedoch auch wichtig, während der Reifungsphase und der Lagerung des Komposts ein ausreichendes Sauerstoffniveau aufrechtzuerhalten, da sonst die Qualität des Komposts stark beeinträchtigt werden kann.

c. Verteilung der Formen von mineralischem Stickstoff im Kompost

Der Stickstoff (N) in Kompost liegt hauptsächlich in Form von organischem Stickstoff vor, der für Pflanzen kaum verfügbar ist. Der größte Teil des von den Pflanzen aufgenommenen Stickstoffs liegt jedoch in Form von mineralischem Stickstoff vor. Drei Formen des mineralischen Stickstoffs sind im Kompost relevant: Ammoniak (NH₄-



N), Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) und Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$). Die Konzentration dieser drei Formen ändert sich im Laufe des Kompostierungsprozesses.

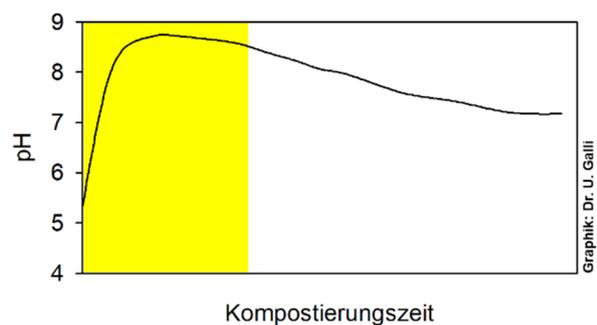
$\text{NH}_4\text{-N}$ ist die erste Form von mineralisiertem Stickstoff, die man im Kompost findet, wenn das organische Material abgebaut wird. $\text{NH}_4\text{-N}$ ist wasserlöslich und wenn der Wassergehalt zu niedrig wird, geht $\text{NH}_4\text{-N}$ verloren, da es sich in gasförmiges NH_3 (Ammoniak) umwandelt.

$\text{NO}_3\text{-N}$. Während des Reifungsprozesses setzt sich die Nitrifikation fort und $\text{NH}_4\text{-N}$ wird in $\text{NO}_3\text{-N}$ umgewandelt. Kommt es während der Reifung oder Lagerung zu einem Sauerstoffmangel, können die Bakterien ein Sauerstoffmolekül aus NO_3 nutzen und es wieder in Nitrit (NO_2 ; giftig für Pflanzen) oder Distickstoffoxid (N_2O ; starkes Treibhausgas) umwandeln.

$\text{NO}_2\text{-N}$ ist ein phytotoxisches Zwischenprodukt, das während der Nitrifikation entsteht. Es kann auch aus dem Denitrifikationsprozess aufgrund von Sauerstoffmangel am Ende des Reifungsprozesses oder der Lagerung des Komposts resultieren.

d. pH-Wert

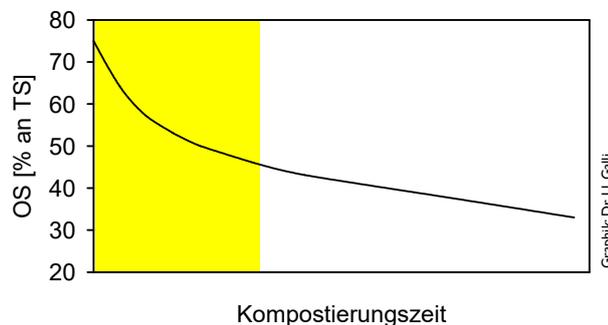
In den ersten Tagen des Prozesses ist der pH-Wert des Materials aufgrund der Bildung von organischen Säuren sauer. Danach, mit der Freisetzung von Ammonium in das Material durch den Abbau von Proteinen, steigt der pH-Wert stark an und erreicht Werte von bis zu 9. Bei der Nitrifikation sinkt der pH-Wert wieder auf etwa 7,5.



Da der Normalwert von Kompost basisch ist, d. h. über 7 liegt, und er gut gepuffert ist, eignet er sich nicht für säureliebende Pflanzen.

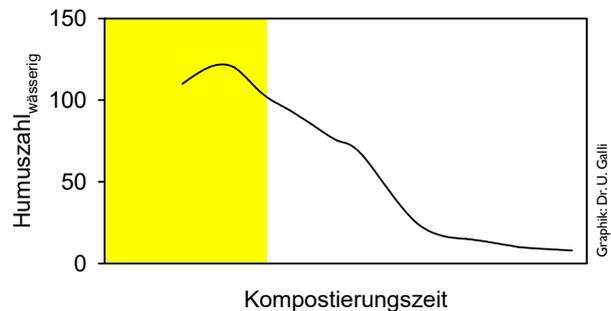
e. Organische Substanz

Bei der Kompostierung wird das organische Material mineralisiert. Die organische Substanz nimmt daher im Laufe des Prozesses ab. Diese Abnahme ist zu Beginn der Kompostierung, während der Hitze- und Mesophilphase mit ihrer intensiven Aktivität, am stärksten und stabilisiert sich dann. Der Gehalt an organischer Substanz liegt zu Beginn des Prozesses zwischen 70 und 80 %, je nach verarbeitetem Material. Reifer Kompost hat einen Gehalt an organischer Substanz von etwa 30%.



f. Farbe des Kompost-Extrakts

Die Farbintensität des wässrigen Kompost-Extrakts ist wichtig für die Verwendung des Komposts als Bestandteil einer Erdemischung. Wird Kompost mit einem dunkelfarbigem Extrakt beispielsweise in einem Blumentopf verwendet, besteht die Gefahr einer unerwünschten Verfärbung der Hauswand oder des Bodens.



Der wässrige Extrakt von jungem, ligninreichem Kompost ist dunkel, und seine Farbe wird mit zunehmender Reife heller. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Humusmoleküle in jungem Kompost klein und wasserlöslich sind. Im Laufe der Reifung bauen die Mikroorganismen komplexere Humusmoleküle auf, die nicht mehr löslich sind, wodurch der Extrakt heller wird. Die Farbe des Extrakts aus jungem Kompost hängt auch von der Zusammensetzung der Ausgangsmischung ab.

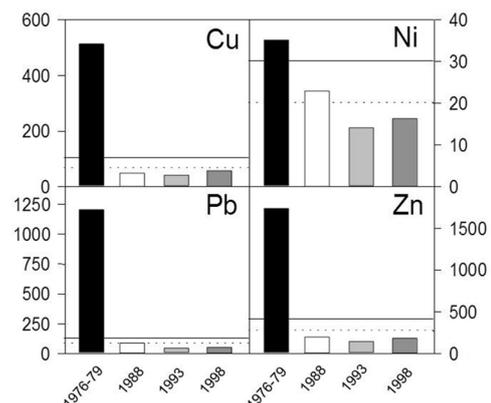
3. Praktisches Management des Kompostierungsprozesses

Die Herstellung von Qualitätskompost, der in der Landwirtschaft zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit sowie des Pflanzenwachstums und der Pflanzengesundheit eingesetzt werden kann, ist nur mit einem optimalen Prozessmanagement möglich. An dieser Stelle muss betont werden, dass das Management des Kompostierungsprozesses nicht auf den eigentlichen Komposthaufen beschränkt ist, sondern bereits bei der Qualität der eingesetzten Inputs beginnt und über die Kontrolle des eigentlichen Kompostierungsprozesses und die Lagerung und Verpackung der entstehenden Produkte bis hin zum Konzept der Kompostverwendung reicht.

3.1 Konzept zur Sammlung von Kompostinputs

Die Qualität der verarbeiteten organischen Rückstände ist die Grundlage für die Herstellung von hochwertigem Kompost, der für Böden und Kulturen nützlich ist. Um die Qualität der Inputs zu gewährleisten, ist es von entscheidender Bedeutung, sie an der Quelle zu sortieren. Dies nicht nur, um sichtbare unerwünschte Stoffe wie Kunststoffe und Aluminiumstücke zu vermeiden, sondern auch wegen Schadstoffen wie Schwermetallen.

Bis Ende der 1970er Jahre wurde in der Schweiz die mechanisch-biologische Behandlung (MBA) angewendet: Unsortierte Siedlungsabfälle wurden kompostiert, wobei unerwünschte Stoffe am Ende des Prozesses so weit wie möglich eliminiert wurden. Die Qualität des so erzeugten Komposts war sehr schlecht. Anfang der 1980er Jahre verbot die Schweizer Gesetzgebung diese Art der Behandlung und erlaubte nur noch die Kompostierung von an der



Quelle sortierten organischen Abfällen. Infolgedessen ging der Schwermetallgehalt des erzeugten Komposts stark zurück

a. Quellensortierung organischer Abfälle: die Verantwortung jedes Einzelnen

Die Kompostieranlage ist für die organischen Abfälle, die sie verarbeitet, verantwortlich. Optimale Ergebnisse können jedoch nur in enger Zusammenarbeit mit allen Akteuren erzielt werden, die an der Produktion, der Sammlung und dem Transport dieser organischen Rückstände beteiligt sind. Der Dialog zwischen diesen PartnerInnen ist daher von entscheidender Bedeutung.

Die Untersuchung der spezifischen Situation ist der erste Schritt bei der Entwicklung und Umsetzung eines Konzepts für die Sammlung von organischem Abfall. Bei dieser Bewertung sind sozioökonomische Aspekte ebenso wichtig wie technische Aspekte.

- Tiermist, Gülle und andere organische Rückstände aus landwirtschaftlichen Betrieben

Aus der Sicht unerwünschter Substanzen und organischer Schadstoffe sind Mist und andere organische Rückstände aus landwirtschaftlichen Betrieben relativ unproblematisch. Je nach dem in der Tierpflege verwendeten Konzept können ihre Ausscheidungen jedoch mit Antibiotika oder Entwurmungsmitteln belastet sein.

Wichtig für die Qualität ist, dass dieses Material möglichst frisch gesammelt wird und nicht ausgetrocknet ist; beim Austrocknen verliert Mist nämlich einen Großteil seines verfügbaren Stickstoffs in Form von Ammoniak.

- Organische Abfälle aus der Lebensmittelindustrie

Im Allgemeinen sind organische Abfälle aus der Lebensmittelindustrie relativ sauber, sofern sie vor dem Verpacken gesammelt werden. Allerdings sollte eine Untersuchung des Abfallerzeugungsprozesses durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass keine problematischen Substanzen (wie bestimmte Extraktions- oder Lösungsmittel) verwendet wurden, die in das gesammelte Material gelangen könnten.

Wenn die organischen Überreste bereits verpackt wurden, muss die Frage des Auspackens entweder maschinell oder manuell gelöst werden.

Bei schlecht strukturierten und wenig stabilen (schnell zersetzbaren) Produkten ist es wichtig, sie zu sammeln, wenn sie noch frisch sind, und sie schnell zu verarbeiten, um eine unkontrollierte Fäulnis zu verhindern.

- Abfälle von Einzelhändlern und Großhändlern

Das Problem bei diesen organischen Überresten ist, dass sie in der Regel verpackt werden. Das Auspacken dieser Produkte ist nicht einfach und erfordert eine hohe Investition in Maschinen und Personal. Um Qualitätskompost zu erzeugen, ist es nämlich entscheidend, dass diese Produkte frei von Plastik-, Aluminium- oder anderen Verpackungen sind.

- Organische Rückstände aus Gemeinden

Die organischen Überreste der Bevölkerung stellen eine große Menge an Materialien dar, die wiederverwertet werden können. Tatsächlich sind mehr als die Hälfte der Haushaltsabfälle organische Abfälle. Im Folgenden werden die Konzepte für die Sammlung dieser Rückstände behandelt.

b. Sammlung organischer Rückstände von Gemeinden

An der Sammlung sind viele verschiedene Personen beteiligt: die Gemeinden selbst (die politisch für die Sammlung verantwortlich sind), private Haushalte, Abfallsammelunternehmen, Transportunternehmen und die Kompostieranlage. Sozioökonomische Fragen sind oft wichtiger und schwieriger zu lösen als technische Fragen.

- Informationen und Aufklärung für Haushalte
Information und Aufklärung der Haushalte bilden die Grundlage für die getrennte Sammlung von organischen Siedlungsabfällen. Initiativen zur Schulung/Information müssen natürlich an die örtlichen Gegebenheiten, die Zielgruppe, ihr Bildungsniveau usw. angepasst werden. Um erfolgreich zu sein, müssen Informationskampagnen regelmäßig wiederholt werden. Hier einige Beispiele für mögliche Aktionen:
 - Nutzung von Gemeindebulletins oder Lokalzeitungen: Viele Gemeinden verfügen über Bulletins, in denen über geplante Aktivitäten, organisierte Veranstaltungen, Infrastruktur, einzuhaltende Regeln usw. informiert wird. Diese Mitteilungsblätter werden an jeden Haushalt verteilt und sind eine gute Möglichkeit, die Bevölkerung über die von der Gemeinde eingeführten Mülltrennungskonzepte zu informieren. Auch Artikel in lokalen Zeitungen können ein breiteres Publikum erreichen.
 - Flyer an Haushalte verteilen
 - Plakate an Abfallsammelstellen
 - Kurzfilme auf YouTube oder einer ähnlichen Internetplattform
 - Einstellung von "AbfallberaterInnen", um die Öffentlichkeit zu erreichen
 - Veranstaltungen mit spielerischen Aktivitäten
 - Unterricht in Schulen

- Information und Schulung von Abfallsammlern und Transportunternehmen
Es sollten klare Leitlinien für Sammler und Transporteure von organischen Abfällen erarbeitet werden. Die in diesen Leitlinien beschriebenen Maßnahmen sollten auch bei der Unterzeichnung von Verträgen mit diesen Unternehmen in die Leistungsbeschreibung aufgenommen werden. Es ist sinnvoll, dies durch Schulungskurse für die Mitarbeiter dieser Unternehmen zu begleiten. Folgende Punkte sollten in diesen Leitlinien festgelegt werden:
 - Organisation der Sammlungen, um eine gute Qualität der organischen Überreste zu gewährleisten (Häufigkeit, Sammelsysteme, Sammelbehälter usw.).
 - Die Qualität von organischen Rückständen bewerten
 - Maßnahmen bei minderwertigen oder mit unerwünschten Stoffen verunreinigten organischen Rückständen (z. B. Verweigerung der Abholung, überhöhte Preise für die Abholung, gezielte Verteilung von Informationsblättern, Transport der verunreinigten Produkte zu einer anderen Verarbeitungsstätte oder einer Deponie usw.).

- Informationen und Aufklärung über Kompostierungsanlagen
Erarbeitung eines Konzepts für die Behandlung organischer Abfälle in der Kompostieranlage. Dieses Konzept kann verschiedene Punkte beinhalten, um die Qualität der Inputs zu steuern:
 - Bewertung von Lieferungen, bei größeren Problemen Ablehnung ihrer Bearbeitung
 - Getrennte Entladung von Risikoladungen mit unerwünschtem Inhalt
 - Organisation der manuellen Sortierung von organischen Rückständen, um unerwünschte Stoffe vor dem Zerkleinern oder der Weiterverarbeitung des Materials zu entfernen



Sammelsysteme einer Kommune zur Sicherung der Qualität von organischem Abfall

c. Annahme von Materialien und Strukturmaterial auf einer Kompostieranlage

Die Annahme des Rohmaterials ist der erste wesentliche Punkt einer Kompostierungsanlage. Ein gut organisierter Annahmebereich ist von entscheidender Bedeutung, da er den weiteren Verlauf des Kompostierungsprozesses bestimmt. Hier werden die aufbereiteten Inputs angeliefert, sortiert, verpackt und anschließend gemischt, um optimale Ausgangsmischungen für den weiteren Prozess zu erhalten.

Zu diesem Empfangsbereich gehören verschiedene Elemente:

- Eine Waage, um das Gewicht der angelieferten Materialien zu bestimmen. Dies ist besonders wichtig, wenn für das angelieferte Material eine Abladegebühr bezahlt werden oder wenn die Kompostieranlage das Material kaufen muss. Wenn keine Waage zur Verfügung steht, kann man die angelieferten Mengen schätzen und diese Menge dann mit Hilfe von Transformationsfaktoren, die vom angelieferten Material abhängen, in Tonnen umwandeln. Die Waage kann später auch zum Verkauf des produzierten Komposts verwendet werden.
- Das zweite wichtige Element eines Empfangsbereichs ist die Infrastruktur zum Abladen, Kontrollieren und Sortieren der Lieferungen. Dieses Element variiert natürlich je nach Herkunft der Inputs und insbesondere nach deren Qualität. Beispielsweise sind kommunale Sammlungen trotz der Bemühungen um die Aufklärung der Bevölkerung viel stärker mit unerwünschten Materialien verunreinigt und erfordern daher einen größeren Sortierbereich. Die Infrastruktur für die Sortierung kann relativ einfach sein, wenn sie manuell durchgeführt werden kann. Wenn große Mengen an Input eine intensive Sortierung erfordern, kann eine größere Infrastruktur erforderlich sein, z.B. ein Einlasssieb, um grosse, unerwünschte Objekte auszusortieren, gefolgt von einem Förderband, um die manuelle Sortierung zu erleichtern. Ein Magnetsystem, das am Anfang des

Förderbands installiert ist, kann ebenfalls zur Entfernung von Metallen verwendet werden.



Beispiele von Waagen:

*Handwaage (oben links), tragbare Achslastwaage (oben rechts),
Achslastwaage (unten links), Brückenwaage (unten rechts).*



Beispiele für die Infrastruktur zum Sortieren von Lieferwagen.

*Handsortierung am Boden (oben), Sieb zur Entfernung von grobem Kunststoff (unten links),
Hammermühle (unten rechts).*

- Das dritte wichtige Element der Annahmestelle für organische Abfälle ist eine Infrastruktur, in der die Inputs bis zu ihrer Verwendung zwischengelagert werden können. Diese Infrastruktur sollte es ermöglichen, die verschiedenen Inputs getrennt zu lagern, sodass die Ausgangsmischungen für den Kompostierungsprozess später hergestellt werden können. Einige Inputs, wie Holzabfälle, können über lange Zeiträume gelagert werden, während andere, wie strukturarme Pflanzenreste, so schnell wie möglich verarbeitet werden müssen. Je nach der Menge der eingehenden Inputs und dem verfügbaren Platz kann die Lagerung in separaten Haufen erfolgen, was keine großen Investitionen erfordert. Sie kann zum Beispiel auch in Boxen erfolgen.



Beispiele für die Zwischenlagerung von Inputs: in Stapeln (l.), in Boxen (r.).

d. Praktische Annahme von Inputs

Die Inputs müssen auf professionelle Weise entgegengenommen werden. Jede Lieferung muss protokolliert, kontrolliert und registriert werden. Dies ist besonders wichtig, wenn Geld im Spiel ist (Entladegebühr oder Kauf).

Folgende Punkte sollten in den Protokollen für die Annahme organischer Abfälle festgehalten werden:

- Datum des Empfangs
- Herkunft (Name des Anbieters)
- Art des Materials
- Menge des gelieferten Materials
- Zustand des Materials (frisch oder verfault, sauber oder mit Fremdstoffen usw.)
- Bemerkung, ob die Lieferung eine intensive Sortierung erfordert

Nach der Eingangskontrolle muss entschieden werden, wo das Material entladen werden soll. In der Regel werden zwischen drei und fünf Unterteilungen für die Zwischenlagerung der Inputs festgelegt:

- Sortierbereich für Materialien, die eine intensive Sortierung erfordern
- Lagerbereich für zu zerkleinerndes Holzmaterial, das reich an Kohlenstoff und für die Langzeitspeicherung geeignet ist
- Lagerbereich für kohlenstoffreiche Materialien, die nicht geschreddert werden müssen (z. B. Kokosnusssfasern).
- Lagerbereich für Kuhmist / Hühnermist
- Lagerbereich für strukturarmes, stickstoffreiches Material, das so schnell wie möglich verarbeitet werden soll (z. B. Siedlungsabfälle, Gemüseabfälle).

Je nach Situation kann die Lagerung dieser Materialien unterteilt werden. Das Ziel dieser Unterteilung ist es, genau und einfach die Ausgangsmischung für den Kompostierungsprozess erstellen zu können.

e. Vorbereitung der Inputs

Sobald die Inputs eingegangen sind, können sie so verpackt werden, dass sie zur Herstellung der Ausgangsmischung für den Kompostierungsprozess verwendet werden können. Die beiden Hauptpunkte sind folgende:

- Entfernung aller unerwünschten Materialien, die im Input enthalten sind (Steine, Plastik, Metall, Glas, Aluminium usw.). Dieser Vorgang muss vor jedem anderen Vorgang, wie z. B. dem Zerkleinern des Materials, durchgeführt werden. Denn bei jedem Vorgang werden unerwünschte Materialien wie Kunststoffe in kleine Stücke zerkleinert, was die Entsorgung schwieriger und zeitaufwändiger macht.
- Zerkleinern von grobem Material. Einige Materialien (Äste, Kokosnussschalen usw.) müssen vor der Kompostierung zerkleinert werden. Da diese Materialien reich an Kohlenstoff sind, aber relativ lange gelagert werden können, können sie in regelmäßigen Abständen, z. B. alle 4 oder 6 Wochen, zerkleinert werden. Da gute Häcksler teuer und für eine kleine oder mittlere Genossenschaft oft überdimensioniert sind, kann man von Zeit zu Zeit ein Unternehmen beauftragen, diesen Vorgang durchzuführen. Es ist wichtig zu beachten, dass das holzige Material bei diesem Vorgang zerfasert und nicht geschnitten werden sollte. Daher wird in der Regel ein Hammerschredder oder ein langsamer Schneckenhäcksler verwendet. Wird das Material geschnitten, können die entstandenen relativ glatten Oberflächen von den für die Kompostierung verantwortlichen Mikroorganismen nicht wirksam angegriffen werden.



Vorbereitung des Holzes für den Kompostierungsprozess.

Oben: zerfasertes Holz, das für die Kompostierung geeignet ist. Unten: Geschnittenes Holz, das sich nicht für die Kompostierung eignet.

3.2 Aufsetzen eines Komposthaufens

Damit der Kompostierungsprozess erfolgreich verläuft, ist die Gestaltung des Komposthaufens von entscheidender Bedeutung. Die drei wichtigsten Punkte sind folgende:

- C/N-Verhältnis der Ausgangsmischung
- Struktur der Ausgangsmischung
- Wassergehalt

a. C/N-Verhältnis der Ausgangsmischung

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist ein optimales C/N-Verhältnis in der Ausgangsmischung entscheidend für eine gute, unschädliche mikrobiologische Aktivität. Ist das Verhältnis zu hoch, haben die Mikroorganismen nicht genügend Stickstoff, um sich zu entwickeln, und der Kompostierungsprozess kommt nicht in Gang. Ist das Verhältnis zu niedrig, verflüchtigt sich einerseits der überschüssige Stickstoff und geht verloren, andererseits kann es zu unerwünschten und schädlichen Gerüchen kommen. Ein gutes Startverhältnis für den Kompostierungsprozess liegt zwischen 30 und 40.

Um ein gutes C/N-Verhältnis zu erreichen, werden die verschiedenen Inputs gemischt. Strukturarmes Material (Pflanzenreste, Siedlungsabfälle, stroharter Dung usw.) ist in der Regel stickstoffreich und hat ein niedriges C/N-Verhältnis. Holziges Material (Holz, Kokosfasern, Stroh usw.) ist reich an Kohlenstoff und hat ein hohes C/N-Verhältnis.

Hier ein Beispiel für eine "ideale Mischung":

- 1/3 Rohholz (Hackschnitzel, gesiebte Reststoffe aus dem Kompost, abgeschnittene Rinde)
- 1/3 mittelfeines Fasermaterial (gehäckselte Äste, Holzfasern, Stroh, Laub, Rutenhirse, Schilf, Torf aus verbrauchter Blumenerde)
- 1/3 Material, fast ohne Struktur (Dung, Gras, Panseninhalt, Gemüsemist, etc....)

Schließlich ist eine Verwendung von Zusatzstoffen möglich :

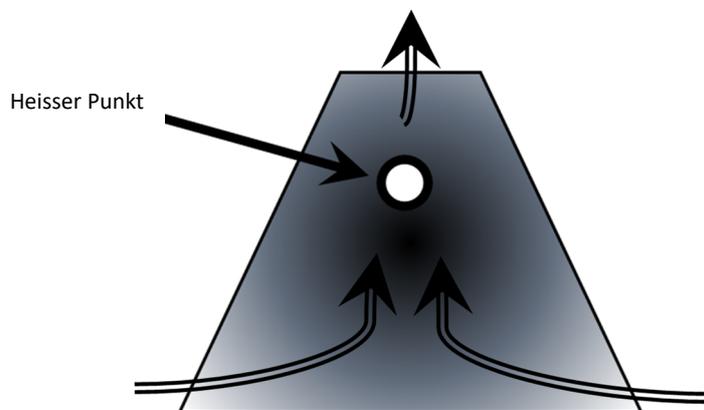
- Tonpulver ($3-5 \text{ kg/m}^3$), Erde (50 Liter/m^3) oder Biochar ($50-100 \text{ Liter/m}^3$). Dadurch wird das System gepuffert und die Aktivität der Mikroorganismen optimiert. Es bilden sich Ton-Humus-Komplexen und der Kompost erhält eine besonders krümelige Struktur. Außerdem wird eine Wirkung gegen die Entstehung unerwünschter Gerüche bei Stickstoffüberschuss erzielt.
- Enzyme. Enzyme werden manchmal auf dem Markt angeboten, um Gerüche in großen Kompostieranlagen zu reduzieren oder um den Ligninabbau in holzreichen Mischungen zu beschleunigen. Bei einer guten Ausgangsmischung ist die Zugabe von Enzymen jedoch nicht notwendig.
- Mikroorganismen. Auch hier sind verschiedene Mikroorganismen auf dem Markt erhältlich, die versprechen, die Zersetzungsprozesse zu beschleunigen. Ihr Nutzen ist jedoch fraglich, da sie nicht unbedingt für die behandelten organischen Überreste geeignet sind. In dieser Hinsicht ist es am effektivsten, der Ausgangsmischung 5-10 % reifen Kompost (wenn der Kompost gesiebt wird) oder 5 % reifen Kompost hinzuzufügen. Auf diese Weise kann die Ausgangsmischung mit den Mikroorganismen geimpft werden, die für das behandelte Material am besten geeignet sind.

- Dünger: Wenn die Ausgangsmischung sehr kohlenstoffreich ist und stickstoffreiches Material (wie Hühnermist) nicht zur Verfügung steht, kann die Zugabe von kleinen Mengen Stickstoffdünger den Kompostierungsprozess anregen. In der biologischen Landwirtschaft kann dieser Stickstoff in Form von Hornspänen oder Federmehl (50-100 g/m³) zugegeben werden.
- die Zugabe von 5-10% reifem Kompost oder Siebüberwurf vom Kompost ist eine hervorragende Möglichkeit, das Material zu Beginn des Prozesses mit Mikroorganismen zu impfen, die speziell an das vor Ort verarbeitete Material angepasst sind. Dies ist besonders wichtig bei der Verarbeitung von relativ schwer abbaubaren Materialien wie Reishülsen oder Kokosnusssfasern.

b. Struktur der Ausgangsmischung

Die richtige Struktur des Komposthaufens ist wichtig für einen optimalen Prozess. Ist die Struktur zu kompakt, kann die Luft nicht zirkulieren, der Kamineffekt (Lufteintritt bedingt durch den Temperaturanstieg im Komposthaufen) kann nicht stattfinden, die Bedingungen im Haufen werden anaerob und die Herstellung von Qualitätskompost ist nicht mehr möglich. Umgekehrt ist bei einer zu lockeren Struktur der Luftaustausch zu groß, der Haufen wird ständig gekühlt und die für die natürliche Hygienisierung des Materials erforderlichen Temperaturen können nicht erreicht werden.

Die Struktur des Haufens sollte an seine Größe angepasst sein: Je größer der Haufen, desto größer sollte die Struktur der Ausgangsmischung sein. Bei sehr großen Haufen (wie z. B. Tafelmieten) kann der Einbau einer Zwangsbelüftung ratsam sein.



Heißer Punkt und Kamineffekt in einer Kompostmiete.

Was die Form der Miete betrifft, so ist die dreieckige Form aus Sicht des Erdgasaustauschs am vorteilhaftesten. Sie benötigt jedoch mehr Bodenfläche als eine parallelepipedische Form. Bei der Verwendung einer solchen Form muss darauf geachtet werden, dass die Luft noch gleichmäßig zirkulieren kann. Wenn der Haufen relativ groß ist, sollte eine Zwangsbelüftung in Betracht gezogen werden.

Wenn das zu kompostierende Material aus praktischen Gründen in Boxen untergebracht wird, müssen entweder Öffnungen in den Wänden der Boxen gelassen werden (vor allem an den Unterseiten) oder es müssen Rohre oder Kanäle mit Löchern oder eine Zwangsbelüftung installiert werden, damit Luft eindringen kann.

c. Wassergehalt

Ein guter Feuchtigkeitsgehalt des Kompostrohstoffs ist für das reibungslose Funktionieren des Prozesses von entscheidender Bedeutung.

Ist das Material zu trocken, können zum einen die Mikroorganismen nicht arbeiten, zum anderen geht das im jungen Material vorhandene Ammonium als Ammoniak verloren und der Kompostierungsprozess kann nicht mehr stattfinden.

Wenn das Material zu feucht ist, kann die Luft nicht mehr zirkulieren und der Haufen wird anaerob, was zur Bildung von Giftstoffen und unerwünschten und unangenehmen Gerüchen führt.

Der Wassergehalt des Rottematerials kann während des Kompostierungsprozesses stark schwanken, wenn er nicht kontrolliert wird. In der heißen Phase des Prozesses ist der Wasserverlust durch Verdunstung sehr hoch. Daher ist es wichtig, dem Komposthaufen regelmäßig ausreichend Feuchtigkeit zuzuführen, um die mikrobiologische Aktivität nicht zu blockieren und hohe Stickstoffverluste in Form von Ammoniakgas zu vermeiden. Wenn mit fortschreitendem Prozess die Temperatur im Komposthaufen sinkt, sinkt auch der Wasserbedarf. Wenn der Kompost in dieser Phase zu feucht ist, ist es praktisch unmöglich, dies zu beheben. Daher ist es wichtig, den Kompost während der Reifephase vor zu viel Feuchtigkeit zu schützen.

Um die Feuchtigkeit zu kontrollieren, ist der Faust-Test die geeignetste Methode. Hierzu ist es wichtig, Material aus dem Inneren des Haufens zu entnehmen. Der Test läuft folgendermaßen ab: Nehmen Sie eine Handvoll Kompost und drücken Sie sie so fest wie möglich zwischen den Fingern zusammen. Wenn Wasser herausläuft, ist der Kompost zu feucht. Öffnen Sie die Finger. Wenn die Kompostkugel zerfällt, ist der Kompost zu trocken. Wenn die Kompostkugel kompakt bleibt, ist der Kompost optimal feucht. Der Feuchtigkeitszustand sollte im Prozesskontrollbuch auf der folgenden Skala festgehalten werden: -3 (völlig trocken), 0 (optimal), +3 (völlig feucht). Es ist wichtig, den Wassergehalt des Materials vor jedem Mischvorgang zu überprüfen, um festzustellen, ob die Miete vor oder während des Mischens bewässert werden muss. Dazu sollte das Material in der Mitte des Haufens kontrolliert werden und nicht das Material auf der Oberfläche des Haufens; letzteres ist nämlich nicht repräsentativ. Gegebenenfalls sollten die Menge und die Quelle des zugeführten Wassers im Protokoll vermerkt werden.



Faustprobe zur Bestimmung des Wassergehalts von Kompost

Links: Zu feuchter Kompost. In der Mitte: Kompost mit optimalem Feuchtigkeitsgehalt.

Rechts: Zu trockener Kompost.

d. Abdeckung der Mieten

Um das organische Material, das kompostiert wird, vor dem Austrocknen (in Trockenperioden) oder vor zu viel Wasser (in Regenperioden) zu schützen, sollten die Miete abgedeckt werden. Es ist jedoch wichtig, dass Sie sie nicht mit Plastikplanen abdecken, sondern mit speziellen Kompostvliesen, die die Luft zirkulieren lassen. Wenn Sie die Miete nämlich mit Plastik abdecken, kann die durch den Kamineffekt erzeugte konvektive Luft nicht entweichen und das verrottende Material erstickt. Dies wirkt sich sehr negativ auf den biologischen Kompostierungsprozess und die Menge des produzierten Komposts aus.



Abdeckung der Kompostmieten

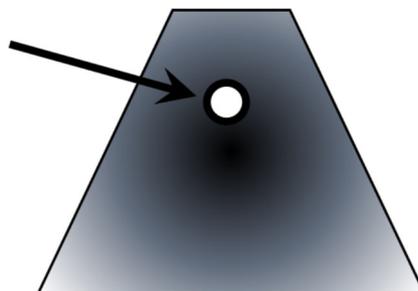
*Links: Abdeckung mit einer luftdichten Plastikplane: für die Kompostierung ungeeignet.
Rechts: Abdeckung mit luftdurchlässigem Kompostvlies: geeignet für die Kompostierung.*

3.3 Kontrolle des eigentlichen Kompostierungsprozesses

Die Steuerung des Kompostierungsprozesses ist entscheidend für die Herstellung von Qualitätskompost, der für die gewünschte Verwendung geeignet ist. Dies beginnt mit der Vorbereitung der Ausgangsmischung (Kapitel 3.2) und dem Anlegen der Komposthaufen und reicht bis zur Lagerung und Verpackung des Produkts (Kapitel 3.4).

a. Verfolgung der Temperaturentwicklung

Um die Aktivität des Prozesses zu verfolgen, ist es wichtig, regelmäßig (einmal pro Woche) die Temperatur am Hotspot des Komposthaufens zu messen und aufzuzeichnen. Die Temperaturentwicklung zeigt uns, ob die Fermentation korrekt abläuft und ob der Prozess voranschreitet.



Heißer Bereich der Kompostmiete, wo die Temperatur gemessen werden sollte.

Die Aufzeichnung der Temperaturentwicklung auf dem Protokoll ist auch wichtig, um die natürliche Hygienisierung des Materials zu belegen, wenn es nicht vor dem Beginn des Prozesses hygienisiert wird. Der Kompost gilt als hygienisiert, wenn nach der letzten Zugabe von frischem organischem Material:

- seine Temperatur mindestens drei Wochen lang höher als 55 °C war
- oder höher als 65 °C für mindestens 7 Tage
- und der Kompost während dieser Zeit mindestens dreimal gewendet wurde, um sicherzustellen, dass jeder Teil des Materials die thermische Phase durchlaufen hat.

Wenn sich das Material nicht erwärmt, kann dies verschiedene Ursachen haben. Dann müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden:

- Der Komposthaufen ist zu klein. Die Oberfläche des Haufens ist im Verhältnis zu seinem Volumen proportional sehr groß. Folglich ist der Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft zu groß und das Material steigt nicht auf die gewünschte Temperatur. In diesem Fall müssen Sie entweder größere Haufen anlegen oder in isolierten Boxen kompostieren (die trotzdem genügend Luft durchlassen, damit die Mikroorganismen aerob arbeiten können).
- Die Ausgangsmischung ist viel zu locker und zu viel Luft kann zu leicht zirkulieren, wodurch das Material abkühlt. Das kann passieren, wenn das holzige Material im Verhältnis zur Größe des Haufens zu grob zerkleinert wird. In diesem Fall muss der Häcksler eingestellt werden, um ein feineres Häckselgut zu erhalten.
- Das C/N-Verhältnis der Mischung ist zu hoch, entweder weil zu viel holziges Material enthalten ist oder weil die Inputs falsch gelagert wurden und bereits größtenteils verrottet oder vertrocknet sind. In diesem Fall muss stickstoffhaltiges Material (Hühnermist, Rasenschnitt oder sogar stickstoffhaltige Düngemittel wie Hornspäne oder Federmehl) hinzugefügt werden.
- Die Mischung ist viel zu trocken, so dass die Mikroorganismen nicht wirken können. In diesem Fall muss das Material angefeuchtet werden.
- Die Mischung ist viel zu feucht, so dass die Luft nicht richtig zirkulieren kann. Ohne Sauerstoff können die Mikroorganismen nicht richtig funktionieren. Es kommt zu anaeroben Prozessen, bei denen zwar keine Wärme freigesetzt wird, sich aber unerwünschte, übelriechende Gerüche entwickeln. In diesem Fall muss der Mischung Trockenmasse zugesetzt werden.

Die ideale Temperatur für die Herstellung von Qualitätskompost liegt in der heißen Phase zwischen 60 und 70°C. Es ist jedoch möglich, dass die Temperatur in einem Komposthaufen auf über 80°C ansteigt, was sich negativ auf die biologische Qualität des Produkts auswirkt, da sich die Mikroorganismen, die sich im Komposthaufen entwickeln, verändern. Je größer der Komposthaufen ist, desto größer ist dieses Risiko.

- Die Hauptursache für diesen Temperaturanstieg ist eine Mischung, die zu viel stickstoffreiches, leicht abbaubares Material enthält (z.B. Hühnermist oder Rasenschnitt). Um dieses Problem zu vermeiden, muss eine Mischung geschaffen werden, die weniger reich an diesen Materialien ist (durch Zugabe von mehr holzigem Material). Eine Zugabe von tonhaltiger Erde (ca. 5 %) kann das System ebenfalls puffern und diesem Risiko entgegenwirken.
- Eine weitere häufige Ursache für einen unkontrollierten Temperaturanstieg ist das Austrocknen des Materials während des Kompostierungsprozesses. Wenn die Feuchtigkeit zu gering ist und ausreichend Stickstoff zur Verfügung steht, können exotherme chemische Reaktionen auftreten, die zur Selbstentzündung des

Komposthaufens führen. Es ist wichtig, darauf zu achten, dass der Komposthaufen ausreichend feucht ist, und bei Bedarf Wasser hinzuzufügen.

Die Temperaturmessungen müssen dokumentiert werden, insbesondere um die natürliche Hygienisierung des Komposts zu belegen (Prozessprotokoll).

b. Feuchtigkeitsmanagement des Komposthaufens

Wie bereits erwähnt, ist das Feuchtigkeitsmanagement des Komposthaufens während des Kompostierungsprozesses von entscheidender Bedeutung für die Herstellung von Qualitätskompost.

Um die Feuchtigkeit zu kontrollieren, ist es wichtig, Material aus dem Inneren des Haufens zu entnehmen. Die Kontrolle kann mit Hilfe des Handfeuchtigkeitstests (siehe Kap. 3.2.c) durchgeführt werden: Nehmen Sie eine Handvoll Kompost und drücken Sie ihn so fest wie möglich zwischen den Fingern. Wenn Wasser austritt, ist der Kompost zu feucht. Öffnen Sie die Finger. Wenn die Kompostkugel zerfällt, ist der Kompost zu trocken. Bleibt die Kompostkugel kompakt, ist der Feuchtigkeitszustand des Komposts optimal. Der Feuchtigkeitszustand sollte im Prozesskontrollbuch nachfolgender Skala eingetragen werden: -3 (völlig trocken), 0 (optimal), +3 (völlig feucht). Es ist wichtig, den Wassergehalt des Materials vor jedem Mischvorgang zu überprüfen, um festzustellen, ob das Miete vor oder während des Mischvorgangs bewässert werden muss. Falls nötig, sollten die Menge und die Quelle des zugeführten Wassers im Prozesskontrollprotokoll vermerkt werden.

Der Kompost benötigt während der Hitzephase viel Wasser. Wenn die Temperatur sinkt, müssen Sie mit der Bewässerung des Komposts sehr vorsichtig sein, da er nicht mehr viel Wasser verdunstet und zu feucht werden kann.

c. Steuerung der Belüftung des Komposthaufens

Eine ausreichende Menge an Sauerstoff im Komposthaufen ist wichtig, damit aerobe Mikroorganismen (wie Pilze) ihre Arbeit verrichten können. Während des gesamten Kompostierungsprozesses und auch während der Lagerung des Endprodukts muss ein Sauerstoffgehalt von mindestens 4 % im Haufen gewährleistet sein. Bei Sauerstoffmangel führen anaerobe Bedingungen auch dazu, dass die Bakterien übelriechende Moleküle (wie organische Säuren) produzieren.

Um eine ausreichende Luftzufuhr zu gewährleisten, muss das Ausgangsgemisch ausreichend strukturiert sein, damit die Luft zirkulieren kann. Je breiter die Miete, desto gröber muss das strukturierende Material sowie in grösserer Menge vorhanden sein.

Um eine ausreichende Luftzufuhr zu gewährleisten, muss der Kompost regelmäßig gewendet werden. Die Häufigkeit des Umsetzens hängt vom Material und der Größe des Haufens ab. Zu Beginn der Fermentation sollte die Umsetzhäufigkeit ein- bis zweimal pro Woche betragen. Nicht der Sauerstoff aus dem Umsetzen im Kompostmaterial ist wichtig; vielmehr ist es die Wiederherstellung der optimalen Miestruktur, die eine Luftzirkulation im Material ermöglicht (Kamineffekt). Später, wenn der starke Volumenverlust des Materials abgeschlossen ist, nimmt die biologische Aktivität ab und die Häufigkeit des Umsetzens kann verringert werden.

Durch den Einsatz eines Gasmessgerätes kann die Prozesssteuerung optimiert werden, um einen ausreichenden Sauerstoffgehalt im gesamten Komposthaufen zu gewährleisten. Dieses Messgerät ist besonders nützlich bei Zwangsbelüftungen und auch bei der Steuerung der Lagerung der Endprodukte.



Messung der Gaszusammensetzung in einer Miete.

d. Umsetzung des Komposthaufens

Das Umsetzen des Komposts ist wichtig, um eine gute Sauerstoffversorgung des Materials zu gewährleisten, sowie um ein homogenes Produkt zu erhalten. Das Umsetzen des Komposts ermöglicht es außerdem, durch das Vermischen der Zwischenabbauprodukte die biologische Aktivität des Prozesses zu aktivieren.

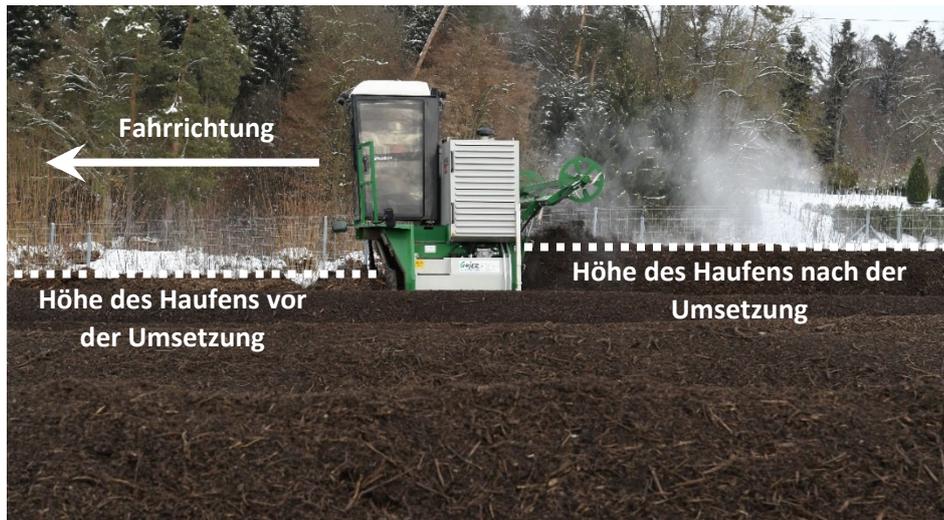
Der Wassergehalt des Haufens wird auch während der Umsetzung des Haufens angepasst (ggf. durch Zugabe von Wasser).

Die optimale Lösung zum Mischen einer Kompostmiete ist die Verwendung eines Kompostumsetzers. Wenn eine solche Maschine auf der Kompostieranlage nicht zur Verfügung steht, kann die Miete auch mithilfe eines Pneuladers gemischt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Schaufel beim Entleeren gut geschüttelt wird, um nach diesem Vorgang eine möglichst lockere Miete zu erhalten, und dass der Kompost nicht überfahren wird, um eine Verdichtung zu vermeiden.

Bei kleinen Komposthaufen kann man den Kompost natürlich auch manuell mit einer Mistgabel umschichten.



*Vorgang des Umdrehens von Kompoststapeln.
Links: Manuelles Wenden mit einer Gabel.
Rechts: Wenden mit mechanischer Umsetzmaschine*



Auswirkung der Umsetzung von Kompost auf die Struktur des Komposthaufens.

e. Protokoll der Prozesskontrolle

Für jede Kompostladung muss ein Protokoll zur Überwachung des Prozesses erstellt werden. Es muss folgende Informationen enthalten:

- Chargennummer und Datum des Einsetzens
- Bestandteile der Mischung (in m³ oder % der Mischung)
- Hinzufügen von möglichen Zusatzstoffen (Erde, Enzyme, Mikroorganismen) (in der Menge angegeben).
- Datum der Hinzufügungen
- spätere Hinzufügung von Inputs mit Menge und Datum
- Prozessprotokoll (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, wenn möglich O₂-Gehalt),
- die durchgeführten Arbeitsschritte wie Wenden, Wasserzugabe, Abdecken der Miete mit einem Kompostvlies,
- Wenn Wasser hinzugefügt wird, sollte auf dem Protokoll notiert werden, welche Wasserqualität (Wasser vom Platz, Flusswasser, Regenwasser, ...) und wie viel Wasser hinzugefügt wurde.
- -Datum, an dem gegebenenfalls Proben für Qualitätsanalysen entnommen wurden.
- die Weiterverarbeitung der Charge (Sieben, Verpacken, Lagern usw.)

Das Überwachungsprotokoll sollte stets sorgfältig geführt werden. Es dient insbesondere als Grundlage für die Kontrolle der natürlichen Hygienisierung des in der Anlage hergestellten Komposts und für die Optimierung des Verfahrens.

3.4 Verpacken von Produkten

Sobald der Kompostierungsprozess abgeschlossen ist, muss der Kompost den Bedürfnissen der Nutzenden entsprechend verpackt und bis zur Auslieferung gelagert werden.

Je nach gewünschter Verwendung und Nutzungsdauer sind verschiedene Verpackungs- und Lagerungsvorgänge erforderlich. Diese müssen in Verbindung mit der Qualitätskontrolle des produzierten Komposts durchgeführt werden (siehe Kapitel 4).

Beispiel für ein Protokoll zur Kontrolle des Kompostierungsprozesses

Name der Kompostieranlage					Charge Nr.:						
Totalmenge der Startmischung [m ³]:					Mietepplatz Nr.:						
Aufsetzung der Miete											
Datum	Input 1 [m ³]	Input 2 [m ³]	Input 3 [m ³]	Input 4 [m ³]	Input 5 [m ³]	Input 6 [m ³]	Bemerkungen				
Datum der Kompostsiebung:				Abgabe des Kompostes:							
Überwachung des Prozesses											
Datum	Temperatur [°C]			Feuchtigkeit 0: OK; -1: trocken; -3: sehr trocken +1: nass; +3: sehr nass			Umsetzung	H ₂ O [Litern]	Probenahme	Bemerkungen	Visum
	T1	T2	T3	F1	F2	F3					

a. Sieben des Komposts

Der wichtigste Vorgang bei der Aufbereitung ist das Sieben des Komposts, um die gewünschte Korngröße für den Verwendungszweck zu erhalten. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Kompost nicht zu fein gesiebt wird. Dies ist nicht nur kostspielig, sondern beeinträchtigt auch die positiven Wirkungen des Komposts. Es sind nämlich die holzigen Fraktionen, die die Bildung von dauerhaftem Humus im Boden ermöglichen. Je feiner die Siebung, desto mehr dieser Fraktion wird entfernt. So ist für den Acker- oder Obstbau ein Sieb mit einer Maschenweite von 20 oder 30 mm völlig ausreichend. Für die Herstellung von Blumenerde kann ein Sieb mit einer Maschenweite von 10 mm wünschenswert sein.

Wenn der Kompost Plastikpartikel oder andere unerwünschte Substanzen (Glas, Aluminium usw.) enthält, können diese durch die Siebvorgänge manuell oder durch das Anbringen eines Plastiksaugers am Ausgang der Grobfraction entfernt werden.

In diesem Punkt ist es wichtig, mit dem Kompostnutzenden zu kommunizieren und ihm zu erklären, dass Kompost kein chemischer Dünger ist und dass er nicht sehr fein gesiebt werden muss, um wie Kompost auszusehen.

Wenn möglich, sollte der Kompost so spät wie möglich vor der Verwendung gesiebt werden. Denn das vorhandene Strukturmaterial sorgt für eine bessere natürliche Belüftung des Materials.

Bei kleinen Kompostmengen kann der Kompost von Hand durch ein Sieb gesiebt werden. Für größere Mengen kann ein Dreh- oder Sternsieb verwendet werden (Kapitel 6.1d).

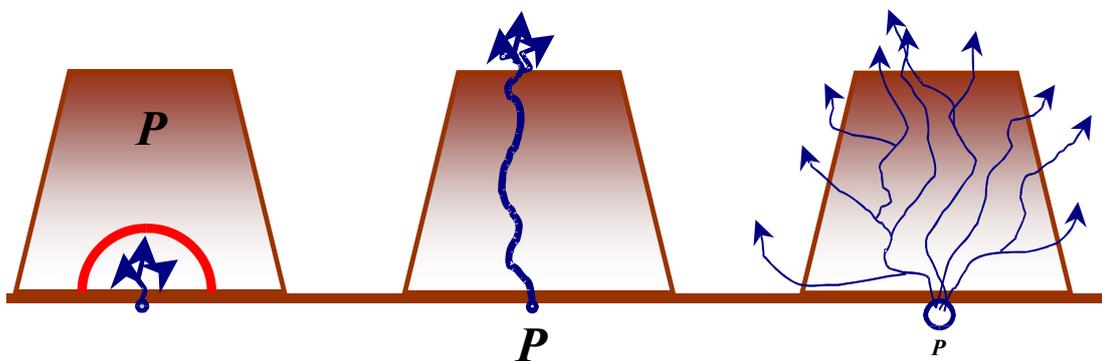
b. Lagerung von Kompost

Während der Lagerung muss der Kompost unbedingt ausreichend belüftet werden, da er sonst erstickt und seine Qualität stark beeinträchtigt wird. Daher ist es am besten, den Kompost in einem Haufen zu lagern. Ist der Haufen klein (bis zu 1,5 Meter hoch), reicht die Zirkulation der Umgebungsluft aus, um eine gute Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten. Ist der Haufen größer, muss entweder eine Zwangsbelüftung installiert oder der Haufen weiterhin regelmäßig alle zwei bis drei Wochen umgeschichtet werden (je nach Reifegrad des Komposts).

Die Einrichtung eines Zwangsbelüftungssystems ist von entscheidender Bedeutung. Wenn der Komposthaufen zu kompakt ist, kann sich die Luft nicht ausbreiten. Wenn der Druck der aus dem Belüftungsrohr austretenden Luft hoch ist, nimmt die Luft einen bevorzugten Weg und der Kompost, der sich außerhalb dieses Weges befindet, wird nicht belüftet. Um eine gute Belüftung zu erreichen, muss die Luft das Belüftungsrohr mit einem geringen Druck verlassen; in diesem Fall kann sie sich gut im gesamten Haufen verteilen. Durch die Messung des Sauerstoffgehalts im Komposthaufen kann das optimale Belüftungsregime angepasst werden (z. B. 5 Minuten pro Stunde).

Das Zwangsbelüftungssystem kann mit relativ einfachen Techniken realisiert werden.

Während der Lagerung muss der Kompost vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Je reifer der Kompost ist, desto anfälliger ist er für Verstopfungen.



Installation eines Zwangsbelüftungssystems unter einem Komposthaufen.

Links: Der Komposthaufen ist zu kompakt, die Luft kann nicht aus dem Belüftungsrohr entweichen.

Mitte: Die Luft, die aus dem Lüftungsrohr kommt, hat einen zu hohen Druck: Die Luft wählt einen bevorzugten Weg.

Rechts: Die Luft kommt mit niedrigem Druck aus dem Belüftungsrohr: Sie kann sich leicht im Kompost verteilen.



Beispiel für die Belüftung eines Komposthaufens.

Links: Belüftung mit gebohrten Rohren, die im Boden verlegt werden. Rechts: Im Boden verlegte Belüftungsschiene.



Beispiel für die Lagerung von Kompost, um ihn vor Witterungseinflüssen zu schützen



Auswirkungen der Lagerung auf die Qualität des Komposts und die Pflanzenverträglichkeit.

Oben: gelagerter Kompost mit ausreichender Sauerstoffzufuhr.

Unten: derselbe Kompost, dem während der Lagerung der Sauerstoff entzogen wurde.

Reifer Kompost braucht nicht viel Sauerstoff. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass ein Minimum an Sauerstoff vorhanden ist. Dabei sind verschiedene Faktoren wichtig: die Größe des Lagerhaufens (je größer der Haufen, desto mehr muss darauf geachtet werden, dass alle Materialien ausreichend mit Sauerstoff versorgt werden), der Reifegrad des Produkts (je reifer der Kompost ist, desto geringer ist sein Sauerstoffbedarf), die Feuchtigkeit (je feuchter der Kompost ist, desto schwieriger ist es für die Luft, zu zirkulieren), die Verwendung von Zusatzstoffen (je mehr mineralische Stoffe (wie z. B. Ackerboden) dem Kompost beigemischt werden, desto geringer ist sein Sauerstoffbedarf).

c. Endgültige Konditionierung des Komposts

Die Lieferung von losem Kompost ist in Bezug auf die Qualität am sinnvollsten. Wenn es aus logistischen Gründen notwendig ist, den Kompost in Säcke abzufüllen, sollte dies so spät wie möglich vor der Kompostlieferung geschehen (Kompost nicht mehrere Monate lang in

Säcken lagern), und es sollten Säcke gewählt werden, die einen Luftaustausch ermöglichen (gewebte Säcke sind zu bevorzugen).

Die Säcke sollten im Schatten und möglichst an einem kühlen Ort gelagert werden, damit sich die Qualität des Komposts während der Lagerung so wenig wie möglich verschlechtert.

d. Herstellung von Mischungen auf Kompostbasis

Erdmischungen auf Kompostbasis werden in der Regel je nach Anwendungsbereich nachgefragt. Dies ist insbesondere bei der Produktion von Saatgut, im Gartenbau und im Landschaftsbau der Fall. Um den Erwartungen und Bedürfnissen der Nutzenden dieser Art von Produkten gerecht zu werden, ist es wichtig, mit ihnen in einen Dialog zu treten, um die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Mischungen zu definieren.

Um die Qualität der Bodenprodukte zu sichern, ist es ratsam, ein einfaches Feldlabor einzurichten (siehe Kapitel 4.5c). In diesem Labor sollten während des gesamten Produktionsprozesses regelmäßige Analysen der Zwischenprodukte durchgeführt werden. Dabei werden die Parameter untersucht, die sich im Laufe des Produktionsprozesses ändern: pH-Wert, Salzgehalt, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$. Um möglichst schnell relevante Werte für die Mischungen zu erhalten, sollten die Proben so bald wie möglich nach ihrer Sammlung analysiert werden.

Die Wahl der anderen Bestandteile der Mischung ist wichtig. Oft ist Erde ein wichtiger Bestandteil der Mischung. Diese Erde kann von Feldern oder Baustellen stammen. Es ist wichtig, darauf zu achten, dass die Erde frei von Unkraut und problematischen Krankheitserregern ist. Sie sollte auch nicht zu schwer sein; ein Tongehalt zwischen 15 und 25 % ist in der Regel optimal.

Die anderen Zutaten können mineralisch (Sand, gemahlene Ziegelsteine, Perlit usw.) oder organisch (Kokosfasern, Hanffasern, Spelzen usw.) sein. Auch hier muss die Qualität dieser Zutaten einwandfrei sein (keine Pestizide, hoher Salzgehalt, Unkraut, Krankheitserreger usw.).

Bei der Herstellung dieser Kompostprodukte empfiehlt es sich, Versuche in Töpfen mit Pflanzen durchzuführen, um die jeweiligen Mischungen zu testen und zu optimieren.



Mischungen auf Kompostbasis, die den Nutzenden angeboten werden

4. Qualitätssicherung der Produkte

Die Charakterisierung der Qualität der produzierten Komposte und Gärrückstände ist entscheidend, um das richtige Produkt für den richtigen Zweck auszuwählen und die Verwendungsstrategien zu optimieren.

Während die Bewertung der Parameter, die sich während des Kompostierungsprozesses ändern, mit einfachen Mitteln und einem Feldlabor durchgeführt werden kann (siehe Kapitel 4.5c), müssen andere Analysen, die gesetzlich vorgeschrieben sind, von einem zertifizierten Labor durchgeführt werden.

Für aussagekräftige Ergebnisse ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, dass die entnommene Probe repräsentativ für die Kompostcharge ist.

4.1 Entnahme einer repräsentativen Kompostprobe

a. Entnahme einer Probe aus einer Kompostmiete

Mit dem Erdbohrer ("einfacher Erdbohrer, Sandtyp", Durchmesser 10 cm, Mindestlänge 100 cm) alle 10-15 Meter (je nach Länge der Miete) einen Querschnitt bis zur Mitte der Miete machen. Bei kleinen Mieten: mindestens 5 Schnitte pro Miete machen. Wenn man keinen Erdbohrer hat, kann man auch mit einer Schaufel Löcher in die Miete machen, wobei man darauf achten sollte, dass sie tief genug sind.

b. Entnahme einer Probe beim Sieben

Entnehmen Sie etwa 1 Probe von 2 Litern alle 15 m³. Bei kleineren Chargen sollten mindestens 5 Proben entnommen werden.

c. Entnahme einer Probe aus einem Komposthaufen

Entnehmen Sie mit dem Erdbohrer eine tiefe Probe (bis ca. 80 cm) pro 15 m³ Kompost. Bei kleineren Haufen sollten mindestens 3 Proben entnommen werden.

d. Vorbereitung der endgültigen Probe

Streuen Sie den Kompost auf die Plastikfolie und mischen Sie ihn gut durch. Entnehmen Sie die benötigte Menge Kompost: etwa 1 bis 2 Liter für die chemische Analyse. Geben Sie die Proben in Plastikbeutel. Kennzeichnen Sie die Probensäcke deutlich (Datum der Probenahme, Chargennummer, Alter des Komposts). Senden Sie die Probe auf dem schnellsten Weg an das Analyselabor. Für die Analyse der verschiedenen Formen von anorganischem Stickstoff muss die Probe gekühlt und bis zur Durchführung der Analysen kühl (4 °C) aufbewahrt werden.

4.2 Gesetzliche Analysen erforderlich

Die gesetzlich vorgeschriebenen Analysen sind von Land zu Land unterschiedlich. Dies muss für jedes Land geklärt werden. Insbesondere die Anzahl der gesetzlich vorgeschriebenen Analysen pro Jahr muss geklärt werden.

Auch die erforderlichen Analysemethoden können von Land zu Land unterschiedlich sein. Normalerweise verwenden zertifizierte Labore die offiziellen Analysemethoden ihres Landes.

Es ist von entscheidender Bedeutung, mit dem Labor klar festzulegen, in welcher Form die Ergebnisse ausgegeben werden (g/kg MF, g/kg TS, g/m³Material usw.). Dies sollte auf dem Laborbericht deutlich vermerkt werden.

In der Regel sind folgende Analysen erforderlich:

a. Agronomische Daten (wichtig u.a. für die Erstellung der Düngerbilanz)

- Trockensubstanz (TS) [in % FS].
- spezifisches Gewicht [kg/m³]
- organische Substanz (OM) [in % TS].
- Salinität [in g KCl_{eq}/kg TS] oder [in mS/cm (mit Angabe der Extraktionsmethode)].
- pH-Wert (mit Angabe der Extraktionsmethode)
- C/N-Verhältnis
- Gesamtstickstoff [in kg N/t TS].
- Gesamtphosphor [in kg P₍₂₎₀₅/t TS] oder [in kg P/t TS].
- Gesamtkalium [in kg K₂O/t DM] oder [in kg K/t TS].
- Gesamtkalzium [in kg Ca/t TS]
- Gesamtmagnesium [in kg Mg/t TS].
- Gesamtschwefel [in kg S/t TS].

b. Daten für den Umweltschutz

- Blei [in g / t TS]
- Cadmium [in g / t TS]
- Kupfer [in g / t TS]
- Nickel [in g / t TS]
- Quecksilber [in g / t TS]
- Zink [in g / t TS]
- Fremdstoffe Kunststoffe [Gew.-% TS]
- Fremdmaterial Glas [Gewicht % TS]
- Fremdmaterial Metall [Gewicht % TS]

4.3 Interpretation der agronomischen Daten

Agronomische Daten sind wichtig, um die optimale Verwendung von Kompost zu planen.

Das C/N-Verhältnis und der Gehalt an organischer Substanz sind Hinweise auf den Reifegrad und die Stabilität des Produkts.

Der pH-Wert und der Salzgehalt sind wichtige Parameter für die Verwendung von Kompost im Gartenbau und bei der Herstellung von Blumenerde, da verschiedene Zierpflanzen empfindlich auf zu hohe pH-Werte oder Salzgehalte reagieren.

Die Nährstoffe N, P₍₂₎₀₅, K₂O, Ca, Mg und S sind wichtig, um die Menge der für die verschiedenen Kulturen zu verwendenden Produkte festzulegen und um Düngerbilanzen zu erstellen.

Wie die untere Tabelle zeigt (Werte für die Schweiz als Beispiel), variiert der Düngemittelbedarf der verschiedenen Kulturen erheblich. Um eine Überdüngung zu vermeiden, bestimmt der Nährstoff N, P oder K, der zuerst durch den Kompost abgedeckt wird, die Menge an Kompost, die dem Boden zugeführt werden muss; spezielle

Handelsdünger müssen hinzugefügt werden, um den Bedarf an anderen Nährstoffen zu ergänzen. Eine Ausnahme gilt für Erbsen: Da diese Hülsenfrucht keinen Stickstoff benötigt, wird sie nicht in die Bilanz von Dünger einbezogen. Natürlich muss diese Berechnung je nach Düngemittelgehalt des verwendeten Komposts und dem Bedarf der lokalen Kulturen aktualisiert werden.

Kompostmengen, die zur Deckung des Bedarfs der Kulturen erforderlich sind (Beispiel: Düngung in der Schweiz). (gelb: Dünger, der die Kompostmenge begrenzt, um eine Überdüngung zu vermeiden).

	Düngemittelgehalt (Grünabfallkompost CH) [kg/m ³]	Weizen		Mais		Kartoffeln	
		Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha	Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha	Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha
<i>N_{tot}</i>	4.6						
<i>N_{Verfügbar}</i>	0.5	140	280	110	220	120	240
<i>P₍₂₎₀₅</i>	2.0	63	32	103	52	82	41
<i>K₂O</i>	4.3	81	19	235	55	448	104
<i>Mg</i>	1.8	15	8	25	14	20	11

	Düngemittelgehalt (Grünabfallkompost CH) [kg/m ³]	Sonnenblumen		Erbsen		Apfelbäume	
		Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha	Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha	Anforderun gen [kg/ha]	m ³ Kompost /ha
<i>N_{tot}</i>	4.6						
<i>Verfügbar</i>	0.5	60	120	0	0	60	120
<i>P₍₂₎₀₅</i>	2.0	49	25	78	39	20	10
<i>K₂O</i>	4.3	394	92	154	36	80	19
<i>Mg</i>	1.8	55	31	20	11	15	8

4.4 Interpretation der Daten für den Umweltschutz

Die Daten für den Umweltschutz sind wichtig, um eine nachhaltige Verwendung von Kompost zu gewährleisten, ohne mittel- oder langfristige Probleme für die Fruchtbarkeit des Bodens, die Qualität der Kulturen oder die Umwelt zu verursachen.

Diese Daten müssen die gesetzlichen Richtlinien der verschiedenen Länder einhalten, bevor der Kompost in der Landwirtschaft verwendet werden darf. Diese Grenzwerte unterscheiden sich von Land zu Land.

Die Anforderungen für die Verwendung dieser Produkte in der ökologischen Landwirtschaft können strenger sein. Die Bio-Zertifizierungsstellen können darüber Auskunft geben.

Jedes Land hat außerdem Richtlinien für die Anzahl der Analysen, die jährlich zur Kontrolle dieser Grenzwerte erforderlich sind. In der Regel basieren diese auf den Mengen des verarbeiteten Materials.

Grenzwerte für Schwermetalle und Fremdstoffe in Recyclingdünger in der Schweiz.

<i>Schadstoff</i>	<i>Grenzwert für konventionelle Landwirtschaft</i>	<i>Grenzwert für biologische Landwirtschaft</i>
<i>Blei (Pb)</i>	<i>120 [g/kg MS]</i>	<i>120 [g/kg MS]</i>
<i>Kadmium (Cd)</i>	<i>1 [g/kg MS]</i>	<i>1 [g/kg MS]</i>
<i>Kupfer (Cu)</i>	<i>100 [g/kg DM]</i>	<i>100 [g/kg DM]</i>
<i>Nickel (Ni)</i>	<i>30 [g/kg TS]</i>	<i>30 [g/kg TS]</i>
<i>Quecksilber (Hg)</i>	<i>1 [g/kg MS]</i>	<i>1 [g/kg MS]</i>
<i>Zink (Zn)</i>	<i>400 [g/kg TS]</i>	<i>400 [g/kg TS]</i>
<i>insgesamt Fremdstoffe (Metall, Glas usw.)</i>	<i>0,4 % des Gewichts der Trockenmasse</i>	<i>0,4 % des Gewichts der Trockenmasse</i>
<i>Aluminiumfolien und synthetische Materialien (Kunststoffe)</i>	<i>0,1 % des Gewichts der Trockenmasse</i>	<i>0,05 % des Gewichts der Trockenmasse</i>

4.5 Zusätzliche Parameter für die Produktqualität

Zusätzlich zu den Analysen, die von zertifizierten Labors durchgeführt werden, muss die Qualität des Komposts während des Kompostierungsprozesses vor Ort beurteilt werden. Diese Bewertung kann mit einfachen Mitteln durchgeführt werden:

- die Kontrolle der Prozessparameter
- die Qualität des Komposts mithilfe der eigenen Sinne beurteilen
- Bewertung der Kompostqualität mit Hilfe eines Feldlabors
- Bewertung der Kompostqualität mithilfe von Tests an Pflanzen (Biotests)

a. Überwachung der Prozessparameter

Der erste wichtige Punkt bei der Kontrolle der Produktqualität ist die Bewertung des Protokolls zur Prozesskontrolle (Kapitel 3.3e). Der wichtigste Punkt ist die Entwicklung der Temperatur des Materials, um sicherzustellen, dass die Bedingungen für die natürliche Hygienisierung des Produkts gewährleistet sind. Zur Erinnerung: Seine Temperatur lag mindestens 3 Wochen lang über 55° C oder mindestens 7 Tage lang über 65° C, wobei das Material während dieser Zeit mindestens zweimal gewendet wurde, um sicherzustellen, dass jeder Teil des Materials die thermische Phase durchlaufen hat.

b. Die Qualität des Komposts mithilfe der eigenen Sinne beurteilen

Die Beobachtung des Komposts mit den eigenen Sinnen (Augen, Nase, Tastsinn) kann Informationen über die Qualität des Komposts liefern. Diese Beobachtungen können chemische Analysen oder Pflanzentests nicht ersetzen, aber sie können sie ergänzen.

- Farbe des Komposts

Zu Beginn des Kompostierungsprozesses weist das Material ein Farbmosaik auf, das sich von den Inputmaterialien ableitet. Im Laufe des Prozesses kommt es zu einer Homogenisierung der Farbe und mit fortschreitender Humifizierung wird der Kompost braun oder schwärzlich. Wenn der Kompost während des Prozesses zu trocken ist, kann es zu Grauschimmel kommen.



Ansicht des organischen Materials zu Beginn des Kompostierungsprozesses (links) und des reifen Komposts (rechts).

- Geruch des Komposts

Kompost riecht immer, aber die Gerüche können je nach Managementprozess intensiver oder weniger intensiv und angenehmer sein. Der Geruch eines Komposts hängt von seiner Reife und dem Managementprozess ab. Junge Komposte mit stickstoffreichem Material riechen nach Ammoniak und werden sich im Laufe der Reifungsprozesse in ein Produkt mit dem Geruch von Walderde verwandeln. Unangenehme Gerüche wie die von "faulen Eiern" oder Buttersäure sind typisch für schlecht kontrollierte anaerobe Prozesse im Komposthaufen. Organische Säuren bilden sich aufgrund von Sauerstoffmangel und können nicht weiterverarbeitet werden, wodurch intensive und unangenehme Gerüche entstehen.

- Struktur des Komposts

Reifer Kompost, der durch einen optimalen Prozess hergestellt wurde, hat eine krümelige Struktur und außer einigen Holzstücken kein erkennbares Ausgangsmaterial. Das Vorhandensein von viel faserigem Material ist ein Zeichen dafür, dass der Kompost nicht ausreichend gereift ist. Dies kann passieren, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Komposthaufens zu niedrig ist, vor allem in der heißen Phase. Das im Haufen vorhandene Ammonium würde dann in Form von Ammoniak verloren gehen, was zu einem Stickstoffmangel für Mikroorganismen und einer unzureichenden Zersetzung führen würde, selbst wenn Wasser vorhanden ist. Wenn ein solcher Faserkompost aufgebracht wird, besteht die Gefahr, dass der Stickstoff im Boden immobilisiert wird.

- Holzbruchtest

Der Holzbruchtest ermöglicht es auch, den Reifegrad des Komposts und das Risiko der Stickstoffimmobilisierung auf dem Feld nach seiner Verwendung zu charakterisieren. Der Holzabbau beginnt nach der Hochtemperaturphase. In jungem Kompost ist daher ein geringfügiger Holzabbau zu beobachten, in reifem Kompost ein deutlicher Holzabbau. Wenn relativ unbehandeltes Holz auf einen Feldboden aufgebracht wird, werden die für den Abbau verantwortlichen Mikroorganismen den im Boden verfügbaren Stickstoff immobilisieren, um den Abbau zu bewirken. Dieser Stickstoff ist daher vorübergehend für die Pflanzen nicht verfügbar, was deren Wachstum hemmt.



Faseriger Kompost (links) und bröckeliger Kompost (rechts).



Holzbruchversuch

Links: junger Kompost in der Heizphase.

Das Holz ist noch hart, von weißer bis heller Farbe, und es sind keine Anzeichen von Verfall zu erkennen.

Mitte: Kompost am Anfang der Reifungsphase.

Das Holz ist leicht weich, dunkelt an den Rändern nach und ist etwas fettig.

Rechts: Reifer Kompost.

Das Holz ist weich, die Bruchfläche ist dunkel, die Ränder sind schwarz, und das Wasser kann leicht extrudiert werden, wenn man das Holzstück zusammendrückt.

- Gehalt an unerwünschten Stoffen in den Erzeugnissen

Der Gehalt an unerwünschten Stoffen (hauptsächlich Kunststoffen) im Kompost kann bereits durch einfache Beobachtung beurteilt werden. Dies ist besonders wichtig für einen Landwirt oder eine Landwirtin, der oder die Kompost kaufen möchte, da es ihm oder ihr bei der Auswahl der verschiedenen Qualitäten helfen kann, die er oder sie auf seine oder ihr Felder bringen möchte.

Für den Kompostherstellenden ist diese Bewertung wichtig, um den Prozess gegebenenfalls zu optimieren. Unter Umständen können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, wie etwa eine bessere Sortierung der Inputs oder eine feinere Siebung des Endprodukts.

- Farbe des wässrigen Extrakts

Für diese Bewertung werden 50 g Kompost eine Stunde lang in 500 ml Wasser geschüttelt, dann wird das Ganze gefiltert. Junger Kompost enthält noch kleine Humusmoleküle, die wasserlöslich sind: Die Farbe des Extrakts ist sehr dunkel. Während der Reifungsprozesse bauen die Mikroorganismen aus den kleinen Molekülen große, wasserunlösliche Moleküle auf: klarer Wasserextrakt.



*Bewertung des Gehalts an unerwünschten Stoffen in Kompost
Links: Kompost mit viel Plastik; rechts: sauberer Kompost*

c. Die Qualität des Komposts mithilfe eines Feldlabors beurteilen.

Mit einem relativ einfachen Feldlabor (siehe Anhang 1 "Chemische Analyse von Kompost in einem Feldlabor", Fuchs, 2022) kann man die Trockensubstanz, den Salzgehalt, den pH-Wert und den mineralischen Stickstoff (Ammonium, Nitrit und Nitrat) bestimmen. Diese Daten, die sich während des Kompostierungsprozesses und der Lagerung des Komposts verändern, liefern wichtige Informationen über die Verwendungsmöglichkeiten des Komposts.

Wie auch diese Analysen durchgeführt werden, ist in Anhang 1 "Chemische Analyse von Kompost in einem Feldlabor", Fuchs, 2022, beschrieben.

Insbesondere die im Kompost vorhandenen verfügbaren Stickstoffformen ermöglichen es, den Zustand des Kompostierungsprozesses (Reifegrad) zu beurteilen und ob der Kompost während des Kompostierungsprozesses oder bei der Lagerung unter einem Problem gelitten hat

d. Die Qualität des Komposts mit Hilfe von Pflanzentests (Biotests) beurteilen.

Der Vorteil von Biotests ist, dass die Pflanzen auf alle Aspekte der Kompostqualität reagieren und nicht nur auf bestimmte Parameter, wie bei den oben genannten Methoden. Die Ergebnisse der Biotests sind mit bloßem Auge sichtbar und ermöglichen eine einfache Beurteilung. Durch die Durchführung von Biotests

entwickelt der Komposterzeuger eine andere Beziehung zu dem Produkt, was sich häufig in einer Verbesserung der Qualität des hergestellten Komposts niederschlägt.

Biotests sind ein gutes Instrument für die Öffentlichkeitsarbeit und um einen konstruktiven Dialog mit Kompostnutzenden zu ermöglichen.

- Diese Tests können von der Kompostieranlage selbst durchgeführt werden. Pflanzen reagieren unterschiedlich auf die Qualität des Komposts. Daher ist es sinnvoll, mehrere Pflanzentests parallel durchzuführen, je nachdem, welche Frage verfolgt werden soll: offener und geschlossener Kressetest (Beurteilung der allgemeinen Qualität), Kopfsalattest (Beurteilung der allgemeinen Qualität), Bohnentest (zeigt an, ob während der Reifung des Komposts ein Sauerstoffmangel aufgetreten ist), Raygras-Test (zeigt an, ob der Kompost Stickstoff bindet).

Interpretation der Kompostqualität durch Vergleich der Gehalte der verschiedenen mineralisierten Formen von Stickstoff

Relativer Gehalt der Form N^{min1}			Interpretation
NH_4-N_4	$NO-N_2$	$NO-N_3$	
-	-	-	<i>Es ist kein Stickstoff verfügbar. Zu kohlenstoffreiche Mischung, oder das gesamte NH_4-N ist aufgrund von Feuchtigkeitsmangel verloren gegangen. Gefahr der Stickstoffimmobilisierung auf dem Feld. Empfehlung: Der Mischung ein N-reiches Material (Digestat, Rasen, Hühnereinstreu usw.) hinzufügen.</i>
+++	-	-	<i>Sehr junger Kompost, die Nitrifikation hat noch nicht begonnen. Empfehlung: Halten Sie die Mischung ausreichend feucht, um NH_4-N-Verluste zu vermeiden und die Nitrifikation zu ermöglichen.</i>
+++	++	+	<i>Junger Kompost, beginnende Nitrifikation. Empfehlung: Die Mischung ausreichend feucht halten, um NH_4-N-Verluste zu vermeiden; darauf achten, dass der Mischung ständig ausreichend Sauerstoff zugeführt wird.</i>
+	++	+++	<i>Der Kompost ist fast reif, die Nitrifikation ist bald abgeschlossen. Empfehlung: Achten Sie darauf, dass die Mischung ständig mit ausreichend Sauerstoff versorgt wird.</i>
-	-	+++	<i>Reifer Kompost, Nitrifikation abgeschlossen. Empfehlung: Achten Sie darauf, dass die Sauerstoffzufuhr in der Mischung ständig ausreichend ist. Der Kompost ist reif und kann verwendet werden.</i>
-	+++	++	<i>Reifer Kompost, Nitrifikation abgeschlossen, aber Sauerstoffmangel bei der Lagerung</i>

- : keine (< 10 mg N / kg DM); + : geringe Menge (10-50 mg N / kg DM);

++ : mittlere Menge (50-200 mg N / kg DM); +++ : hohe Menge (> 200 mg N / kg TM)

In der Regel werden zwei Tests mit Kresse durchgeführt: der offene Kressetest und der geschlossene Kressetest (siehe Anhang 2: Fuchs, J.G., Weidmann, G. 2018. [Bestimmung der Kompostqualität mit Hilfe von Kressetests](#). PRAXISTIPP Nr. 054 des OK-Net-Arable-Projekts, www.ok-net-arable.eu). Wenn Kressesamen in dem betreffenden Land nicht erhältlich sind, können auch andere Pflanzen (wie Salat) getestet werden.

- Offener Kressetest

Der offene Kressetest ist nicht sehr empfindlich, und nur Kompost von schlechter Qualität erzielt bei diesem Test schlechte Ergebnisse. Bei diesem Test wird das Wachstum der Kresse in mit Kompost gefüllten Töpfen (Ø 10 cm) mit ihrem Wachstum in handelsüblicher Blumenerde verglichen.

- Wachstum im Kompost < 50 % des Wachstums im Referenzsubstrat: Kompost ist für Pflanzen wenig verträglich.
- Wachstum im Kompost > 75 % des Wachstums im Referenzsubstrat: Kompost mit guter Pflanzenverträglichkeit.

- Geschlossener Kressetest

Der geschlossene Kressetest ist sehr empfindlich, da die Kressesamen nicht nur mit dem Kompost in Kontakt kommen, sondern auch mit den Gasen, die sich aus dem Kompost entwickeln. Nur hochwertiger Kompost erzielt bei diesem Test gute Ergebnisse. Für diesen Test werden PVC-Dosen (1 Liter) zur Hälfte mit Komposterde gefüllt, Kresse gesät und die Dosen anschließend luftdicht verschlossen; anschließend wird die Länge der Wurzeln im Kompost und in einer handelsüblichen Blumenerde verglichen.

- Wachstum im Kompost > 25 % des Wachstums im Referenzsubstrat: Kompost mit mittlerer Pflanzenverträglichkeit.
- Wachstum im Kompost > 75 % des Wachstums im Referenzsubstrat: Kompost mit hoher Pflanzenverträglichkeit.



Phytotoxizitätstests zur Beurteilung der Pflanzenverträglichkeit von Kompost.

Links: Offener Kressetest. Rechts: Geschlossener Kressetest.

e. Schlussfolgerungen

Um die Herstellung von Qualitätskompost und dessen optimale Verwendung zu gewährleisten, ist ein wirksames Qualitätssicherungskonzept von entscheidender Bedeutung. Dieses Konzept darf sich nicht auf den eigentlichen Kompostierungsprozess beschränken, sondern muss bei der Sammlung der organischen Abfälle beginnen und sich bis zur Verwendung des erzeugten Komposts erstrecken.

Natürlich können die verschiedenen Parameter miteinander interagieren, und auch unterschiedliche Böden und klimatische Bedingungen können die Reaktionen des Komposts nach seiner Anwendung beeinflussen. Diese Punkte sollten Sie bei der Gesamtbeurteilung der Eignung von Kompost unbedingt berücksichtigen.

Beurteilung der Eignung eines Komposts für verschiedene Verwendungszwecke

Einstellungen	Wirkung der Düngung	Auswirkungen auf die organische Substanz und die Bodenstruktur	Unterdrückung der Krankheit	Bestandteil des Nährbodens
Farbe des Komposts				
• Farbmosaik	--	--	--	--
• einheitliche Farbe	++	++	++	++
Gerüche				
• Ammoniak	+	-	-	--
• schlecht (z. B. faule Eier)	--	--	--	--
• Waldboden	+	++	--	++
Struktur des Komposts				
• sehr faserig	--	0	-	--
• bröckelig	++	++	+	++
Holzbruchversuch				
• noch hartes Holz	--	-	0	--
• leicht weiches Holz	--	0	+	--
• Holzstück weich	++	+	++	++
Temperatur des Prozesses				
• die Hygienisierung wurde nicht erreicht	-	-	--	--
• Hygienisierung durchgeführt	+	+	++	++
Gehalt an Schwermetallen				
• über den gesetzlichen Grenzwerten	--	--	--	--
• die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte	++	++	++	++
pH-Wert im Extrakt				
<i>CaCl₍₂₎ 0,01M 1:10 w:w</i>				
• > 20 g KCl _{eq} /kg TS	0	0	0	--
• 10-20 g KCl _{eq} /kg TS	0	0	0	-
• < 10 g KCl _{eq} /kg TS	0	0	0	++
N_{min}Extraktgehalt				
<i>CaCl₍₂₎ 0,01M 1:10 w:w</i>				
• < 100 mg N _{min} /kg TS	--	0	-	--
• 100-160 mg N _{min} /kg TS	-	0	0	0
• > 160 mg N _{min} /kg TS	++	+	+	++
Offener Kressetest				
• < 50 % im Vergleich zur Kontrolle	0	0	--	--
	0	0	0	--
• 50-75% im Vergleich zur Kontrolle	0	0	++	++
• >75% im Vergleich zur Kontrolle				
Geschlossener Kressetest				
• < 25% im Vergleich zur Kontrolle	0	0	0	--
	0	0	+	0
• 25-50% im Vergleich zur Kontrolle	0	0	++	++
• >50% im Vergleich zur Kontrolle				

--: nicht geeignet für diesen Zweck; 0: nicht relevant; ++: geeignet für diesen Zweck

5. Wurmkompostierung

Die Wurmkompostierung ist eine Technik zur Kompostierung von organischen Abfällen mit geringem Holzanteil, wie z. B. Schalen und Kaffeesatz. Auch Dung kann durch Wurmkompostierung verarbeitet werden.

Wurmkompost ist reich an Nährstoffen, zum einen aufgrund der verwendeten Inputs und zum anderen, weil die Stickstoffverluste bei diesem System minimal sind.

Ein wichtiger Punkt, den es zu beachten gilt, ist der hygienische Aspekt des erzeugten Komposts. Bei der Wurmkompostierung steigt die Temperatur des Materials nicht wie bei der herkömmlichen Kompostierung, so dass die natürliche Hygienisierung des Materials (Abtötung von Unkraut und Krankheitserregern) nicht gewährleistet werden kann. Daher ist es wichtig, nur hygienisch unbedenkliche Inputs zu verwenden oder sie einer kurzen Hitzebehandlung zu unterziehen, um sie zu hygienisieren, bevor sie dem Wurmkompostierungssystem zugeführt werden.

Wie der Name Wurmkompostierung schon sagt, erledigen Kompostwürmer die Arbeit, zusammen mit Bakterien und Pilzen. Kompostwürmer sind epigäische Würmer, d. h. sie leben in der Oberflächenstreu und ernähren sich von verrottendem organischem Material. Es gibt eine große Vielfalt an Kompostwürmern. Der häufigste ist *Eisenia foetida*, aber auch andere Würmer können die gleiche Arbeit erledigen: *Eisenia andrei*, *Lumbricus rubellus*, *Megascolex mauritii*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionnyx excavatus*, *Lampito mauritii* etc.

Generell ist die Wurmkompostierung ein kontinuierlicher Prozess: Die Würmer verdauen organisches Material; sobald dieses zersetzt ist, wechseln sie zu frischem organischem Material, um ihre Arbeit fortzusetzen. In einem Wurmkompostsystem haben wir also auf der einen Seite den reifen Wurmkompost, auf der anderen Seite die frischen organischen Überreste und dazwischen das organische Material, das von den Würmern zersetzt wird.

Unter optimalen Bedingungen haben Kompostwürmer einen Zyklus von 2 bis 3 Monaten von einem Kokon zum nächsten.

5.1 Wurmkompostierungssysteme

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, Wurmkompostierung zu betreiben, von kleinen Systemen zur Verarbeitung von Haushaltsabfällen einer Familie bis hin zu halbautomatischen industriellen Systemen: Wurmkompostierung im Haushalt, Wurmkompostierung in Gräben, Wurmkompostierung in Betten, Wurmkompostierungssystem in Keilen, Wurmkompostierung in Boxen, halbautomatisches Wurmkompostierungssystem (siehe Kapitel 1.2).

Die Wahl des Wurmkompostierungssystems hängt vor allem von der Menge des zu verarbeitenden organischen Abfalls, der verfügbaren Fläche und der Infrastruktur ab.

5.2 Wie Wurmkompostierung funktioniert

Im Allgemeinen funktionieren alle Wurmkompostierungssysteme auf die gleiche Weise. Nachdem die organischen Reste kurzzeitig von Schimmelpilzen angegriffen wurden, werden sie von Kompostwürmern verdaut. Sobald das organische Material verdaut ist, wechseln die

Würmer zu frischerem Material. Auf diese Weise ist eine regelmäßige Wanderung der Würmer zu beobachten.

In der Praxis bedeutet dies, dass sich der reife Wurmkompost auf der einen Seite des Systems befindet, das in der Verdauung befindliche Material in der Mitte und das frische Material auf der anderen Seite.

Der reife Kompost, der praktisch keine Würmer enthält, kann geerntet und verwendet werden, während auf der anderen Seite des Systems regelmäßig frisches Material hinzugefügt wird.

In Systemen, in denen die Materialschichten vertikal gestapelt sind (Boxen- oder Kistensysteme), kann am unteren Ende des Systems ein Gitter mit beweglichem Boden (Abstreifer) angebracht werden, um den reifen Wurmkompost zu sammeln. Wenn dies nicht möglich ist, wird, wenn die Box oder der Kasten voll ist, die oberste Materialschicht (mit den Würmern) in eine leere Box (oder einen leeren Kasten) gebracht, wo der reife Wurmkompost gesammelt werden kann.

Bei Graben-, Schicht- oder Keil-Systemen kann das System so organisiert werden, dass immer frisches Material am einen Ende des Systems hinzugefügt wird, die Würmer sich in diese Richtung bewegen und der reife Kompost sich am anderen Ende des Systems befindet.

5.3 Voraussetzungen für die Wurmkompostierung

Kompostwürmer benötigen die folgenden Elemente, um sich zu entwickeln und aktiv zu sein:

- eine günstige Umgebung ("Einstreu"). Dieses Material sollte sehr saugfähig sein, um ausreichend feucht zu bleiben, nicht zu dicht sein, um eine gute Luftzirkulation zu ermöglichen, und einen niedrigen Stickstoffgehalt haben (hohes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis). Die Schicht aus frischem Material darf nicht zu dick sein, damit die Temperatur nicht wie in einem herkömmlichen Komposthaufen ansteigt. Geeignete Materialien sind Pferdemist, Heu, Stroh, Gemüseschalen und Kaffeesatz.
- die Ernährung. Kompostwürmer verzehren täglich mehr als die Hälfte ihres Körpergewichts, wovon 15 % als Wurmkot (Wurmkompost) ausgeschieden werden.
- Ausreichend hohe Luftfeuchtigkeit. Da Kompostwürmer über die Haut atmen, ist eine Luftfeuchtigkeit von weniger als 50 % in der Einstreu gefährlich. Die optimale Feuchtigkeit für die Wurmkompostierung liegt zwischen 70 und 90 %.
- eine ausreichende Belüftung. Kompostwürmer atmen und können unter anaeroben Bedingungen (in Abwesenheit von Sauerstoff) nicht überleben.
- kontrollierte Temperatur. Kompostwürmer können bei Temperaturen bis zu 0°C überleben, vermehren sich jedoch nicht bei Temperaturen unter 10°C und nehmen nur wenig Nahrung zu sich. Die optimale Temperatur für die Wurmkompostierung liegt zwischen 20 und 25°C. Bei Temperaturen über 35°C können die Würmer kaum überleben.

Auch andere Parameter sind für die Entwicklung von Kompostwürmern wichtig:

- pH-Wert. Würmer können in einem pH-Bereich von 5 bis 9 überleben, wobei der ideale Bereich zwischen 7,5 und 8,0 liegt.

- Gehalt an Salz. Würmer sind sehr salzempfindlich und bevorzugen einen Salzgehalt von weniger als 0,5 %.
- Weitere Schadstoffe, die für Kompostwürmer giftig sind, sind Wurmmittel (oft in Pferdemist enthalten), Waschmittel und einige Chemikalien und Pestizide sowie Tannine, die in einigen Bäumen, wie z. B. Nadelbäumen, vorkommen.

5.4 Installation eines Wurmkompostierungssystems

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Systeme der Wurmkompostierung: die vertikale Wurmkompostierung und die wandernde Wurmkompostierung.

Im vertikalen System wird das frische Material schichtweise, beginnend am Boden des Wurmkomposters, hinzugefügt. Sobald die unterste Schicht des Materials verdaut ist, wandern die Kompostwürmer zu den oberen Schichten mit frischerem organischem Material. Um den reifen Wurmkompost zu ernten, wird entweder der Wurmkomposter mit einem beweglichen, perforierten Boden ausgestattet oder der obere Teil des Wurmkomposters (mit den Kompostwürmern) wird in einen neuen, angrenzenden Wurmkomposter verlegt, um den Wurmkompost in den unteren Schichten zu ernten. Es ist wichtig, dem Wurmkomposter regelmäßig frisches Material hinzuzufügen, das dem Verdauungsrhythmus der Würmer entspricht. Wird zu viel hinzugefügt, kann sich das Material erwärmen oder verdichten, wodurch die Aktivität der Kompostwürmer behindert wird.

Beim Wandersystem wird ein 30-40 cm hoher Haufen mit zu behandelnden organischen Rückständen gebildet und mit Kompostwürmern geimpft. Anschließend wird auf einer Seite des Haufens frisches Material hinzugefügt. Wenn die Kompostwürmer die erste Scheibe des Materials verdaut haben, wechseln sie zu den frischeren Teilen. Die erste Scheibe Wurmkompost kann dann geerntet werden.

Bei beiden Systemen passt sich die Kompostwurmpopulation nach Beginn der Produktion an die verarbeiteten Inputs an. Wenn keine Probleme auftreten, ist es nicht notwendig, weitere Würmer hinzuzufügen. Die Zugabe von frischem Material sollte an die Arbeitsgeschwindigkeit der Würmer angepasst werden.

Bei der Einrichtung eines Wurmkompostierungssystems müssen Würmer hinzugefügt werden. Würmer können in anderen Wurmkompostierungssystemen oder in der Natur gefunden werden, z. B. in frischer Streu auf einem Feld oder im Wald oder in einem Misthaufen. Bis sich die Wurmpopulation entwickelt hat, sollten nur geringe Mengen an frischem Material hinzugefügt werden.

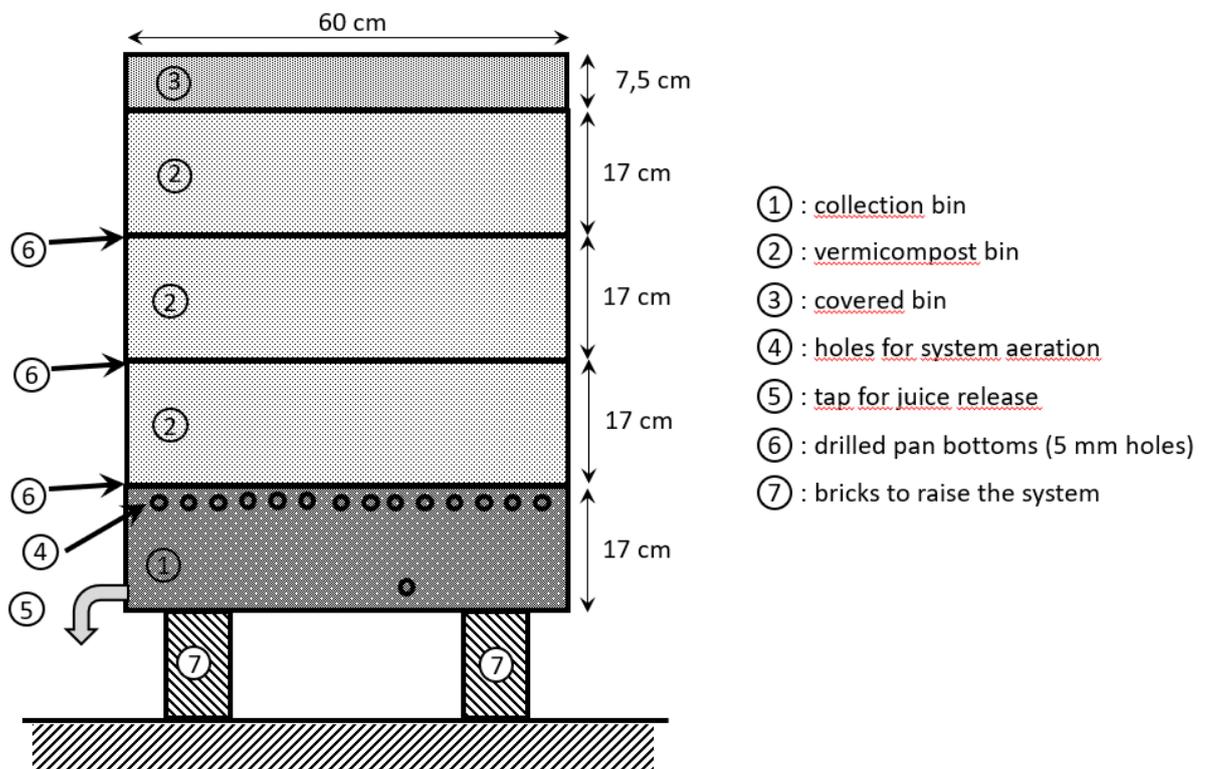
5.5 Verwaltung der Wurmkompostierung

Kompostwürmer haben einen Vermehrungszyklus von zwei bis drei Monaten. Beginnen Sie also bei der Einrichtung Ihres Systems langsam, wenn Sie keine großen Mengen an Würmern erhalten können. Die Menge des zugegebenen Frischmaterials sollte an die Vermehrungsfähigkeit der Würmer angepasst werden. Nach einigen Monaten, wenn das System richtig eingerichtet ist, wird die Wurmpopulation sehr groß werden und damit auch die Kapazität des Systems.

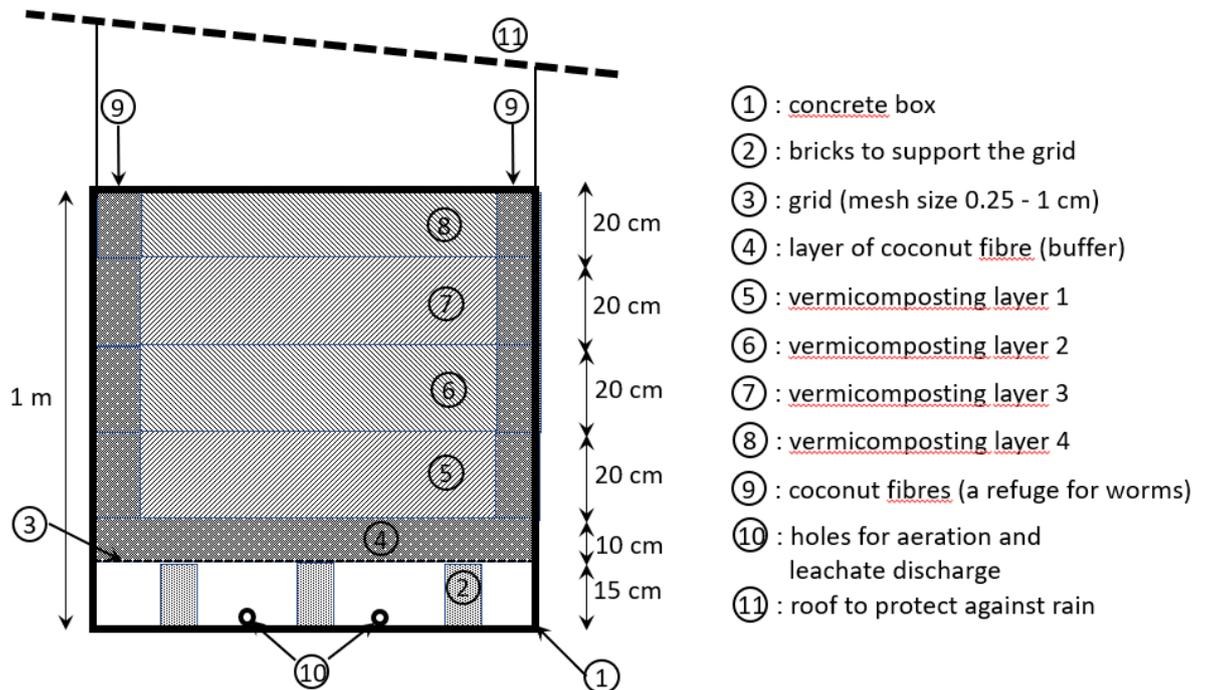
Es ist wichtig, einen angemessenen Feuchtigkeitsgehalt aufrechtzuerhalten. Das Material muss gut befeuchtet sein, damit die Würmer aktiv sein können, aber nicht zu viel, da das Material sonst nicht richtig belüftet wird und die Würmer austrocknen. Der Fausttest (Kapitel 3.2c) kann ebenfalls angewendet werden, um diese Feuchtigkeit zu regulieren.

Um eine gute Belüftung des Materials und die Drainage von überschüssigem Saft zu gewährleisten, empfiehlt es sich bei Systemen mit vertikaler Schichtenfolge, ein Gitter oder einen perforierten Boden auf der Unterseite des Materials anzubringen, damit überschüssiger Saft abfließen und Luft eindringen kann. Der überschüssige Saft kann als Flüssigdünger verwendet werden.

Die Zugabe von etwa 5-10 % feiner, trockener Erde zum Frischmaterial ist für den Prozess vorteilhaft. Dadurch wird das System gepuffert und die Aktivität der Würmer gefördert.



Beispiel für ein Wurmkompostierungssystem für den Hausgebrauch mit drei Kompostbehältern. Wenn der obere Behälter mit frischem Material gefüllt ist, kann der untere Behälter, der den reifen Wurmkompost enthält, geleert und an die Spitze des Systems zurückgeführt werden.



Beispiel für ein Wurmkompostierungssystem in Boxen. Das frische Material wird in Schichten von 20 cm hinzugefügt. Aufgrund des geringen Volumens des Materials kann eine 20-cm-Schicht frischen Materials tatsächlich 6 bis 7 Mal hinzugefügt werden. Wenn die oberste Schicht voll ist, werden die oberen 30-40 cm der Box (mit den Würmern) in eine neue Box umgefüllt.

5.6 Eigenschaften von Wurmkompost

Im Vergleich zu herkömmlichem Kompost ist Wurmkompost je nach den verwendeten Inputs reich an Nährstoffen, insbesondere an mineralischem, pflanzenverfügbarem Stickstoff (hauptsächlich Nitrat). Dies liegt zum einen an den verwendeten Inputs (ligninarme und nährstoffreiche Rohstoffe) und zum anderen daran, dass die Wurmkompostierung keine thermische Phase beinhaltet, in deren Verlauf ein Teil des mineralischen Stickstoffs in gasförmiger Form (Ammoniak) verloren geht.

Wurmkompost sollte daher wie ein organischer Dünger verwendet werden, und zwar in mäßigen Mengen, um Überdüngung und Düngerverluste durch Auswaschung zu vermeiden.

Wurmkompost zeichnet sich außerdem durch eine hohe mikrobiologische Aktivität aus, die einen positiven Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und das Pflanzenwachstum hat.

Der wichtigste Punkt, den Sie im Auge behalten sollten, ist der hygienische Aspekt von Wurmkompost. Im Gegensatz zur herkömmlichen Kompostierung durchläuft Wurmkompost keine thermische Phase, sodass die Abtötung von Unkraut oder Krankheitserregern nicht zu 100 % gewährleistet ist. Daher ist es wichtig, Inputs zu wählen, die in dieser Hinsicht unproblematisch sind. Es ist auch möglich, die Inputs einer kurzen thermischen Phase (Vorkompostierung von 10 bis 15 Tagen) zu unterziehen, bevor sie in das

Wurmkompostsystem eingebracht werden, was sicherlich zu einem Stickstoffverlust führt, aber ein hygienisch einwandfreies Endprodukt gewährleistet.

5.7 Tee aus Wurmkompost

Aus Wurmkompost kann auch Komposttee hergestellt werden, der dazu dient, die Pflanzen durch die Zufuhr von Nährstoffen und nützlichen Mikroben zu stärken.

Die Herstellung von Wurmkomposttee ist relativ einfach. Der Kompost wird in einen durchlässigen Beutel (z. B. ein Mulltuch) gefüllt und für ein bis zwei Tage in Wasser (z. B. Regen- oder Bachwasser) gestellt. Dieses Wasser kann während der Inkubation auch mit einer kleinen Aquariumpumpe belüftet werden, was aber nicht unbedingt notwendig ist. Wenn der Wurmkompost von einwandfreier Qualität ist und keine Krankheitserreger enthält, kann die Zugabe von etwas einfachem Zucker (z. B. Melasse) das Wachstum von nützlichen Mikroorganismen im Boden fördern.

Komposttee wird vor der Verwendung in der Regel verdünnt (1:4). Er kann dann zum Gießen der Pflanzen oder zum Besprühen der Blätter verwendet werden.

Es ist ratsam, mit dem von Ihnen hergestellten Wurmkomposttee eigene Tests durchzuführen, um seine Verwendung unter den bestmöglichen Bedingungen zu optimieren.

6. Planung und Bau einer Kompostieranlage

Die Verwendung von Qualitätskompost verbessert und erhält die Fruchtbarkeit des Bodens und versorgt die Pflanzen optimal mit Nährstoffen. Sie trägt dazu bei, die Menge der Produktion sowie die Qualität der Produkte zu erhöhen. Kompost verbessert zudem die Bodenstruktur und die Wasserspeicherung sowie die Krankheitsresistenz bestimmter Pflanzen und ist daher wichtig für den Erfolg der Erzeuger.

Diese positiven Auswirkungen von Kompost können jedoch nur erzielt werden, wenn:

- die Qualität der Produkte einwandfrei ist
- die Wahl des verwendeten Komposts dem Verwendungszweck und den angestrebten Wirkungen entspricht
- die Nutzungsstrategie korrekt ist

Je nach Ausgangsmaterial und Prozessführung haben nicht alle Komposte die gleichen Eigenschaften und damit die gleiche Wirkung auf Böden und Pflanzen. Andererseits stellt jede Verwendung des Komposts unterschiedliche Anforderungen. Es ist entscheidend, den richtigen Kompost und das Anwendungskonzept für die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Situation auszuwählen (Kultur, Bodeneigenschaften, Anwendungszeitraum, gewünschte Effekte, ...).

Eine gute Beziehung zwischen Kompostproduzierenden und -anwendenden ist der Schlüssel zu einer erfolgreichen Umsetzung von Kompost in landwirtschaftlichen Systemen.

6.1 Planung einer Kompostieranlage

Eine gute Planung einer Kompostieranlage führt dazu, dass die richtige Anlage für die richtige Situation und die richtigen Ziele entsteht. Da jede Situation anders ist, hat jede Kompostieranlage ihre eigenen Merkmale, auch wenn die allgemeine Grundlage für die Planung universell ist. Die Planung einer Kompostierungsanlage beschränkt sich nicht nur auf technische Aspekte, sondern muss auch das allgemeine Konzept für ihre Verwaltung und die lokalen sozioökonomischen Aspekte einbeziehen.

Die verschiedenen Aspekte, die bei der Planung einer Kompostieranlage berücksichtigt werden müssen, sind folgende:

- Zu behandelnder organischer Abfall
- Absatzmärkte für den erzeugten Kompost
- Verfügbarer Raum
- Geographische Lage
- Verfügbare Ressourcen (Maschinen, Personelle Ressourcen, Finanzkraft)
- Vorschriften des Landes

Bei der Planung einer Kompostieranlage müssen oft Kompromisse eingegangen werden, um den verschiedenen Anforderungen bestmöglich gerecht zu werden. Daher ist es sinnvoll, mehrere Alternativen zu untersuchen und zu quantifizieren, bevor eine Entscheidung getroffen wird. Darüber hinaus ist es ratsam, ein Konzept für die Kompostierungsanlage zu planen, das später optimiert, erweitert oder neu konzipiert werden kann, um sich an veränderte Bedingungen anzupassen.

a. Zu behandelnder organischer Abfall

Der erste wesentliche Punkt, der geklärt werden muss, sind die organischen Überreste (Materialien), die zur Verfügung stehen oder organisiert werden können und die man kompostieren möchte. Das Ziel ist es, Ausgangsmischungen herzustellen, die für die Kompostierung perfekt geeignet sind. Das bedeutet ein C:N-Verhältnis zwischen 30 und 40 und eine Mischungsstruktur, die Luft zirkulieren lässt, aber nicht zu locker ist. Wenn die verfügbaren Materialien zu einseitig sind (z. B. macht eine Materialart etwa 90 % aus), kann es notwendig sein, weitere Zugaben zu organisieren, um die Ausgangsmischung auszugleichen. Die letztendlich verfügbare Ausgangsmischung wird auch die Wahl des Kompostierungssystems beeinflussen.

Die Planung einer Kompostieranlage sollte auf ein ganzes Jahr ausgerichtet sein, denn die Anlieferungen der verschiedenen Inputs schwanken oftmals in ihrer Menge im Laufe des Jahres. Einige Inputs, wie Holzprodukte, können über lange Zeiträume gelagert werden, während andere, die keine Struktur haben (wie Pflanzenabfälle), so schnell wie möglich verarbeitet werden müssen. Daher müssen Vorräte an lagerfähigen Abfällen angelegt werden, um geeignete Ausgangsmischungen herstellen zu können, sobald das unstrukturierte Material in der Kompostieranlage eintrifft.

Um diese Mischungen zu planen und durchzuführen, muss man wissen, welches Material zu welchem Zeitpunkt im Jahr verfügbar ist. Dazu muss eine Tabelle mit den verschiedenen Materialien erstellt werden, die pro Quartal verfügbar sein können.

Im Allgemeinen werden zwischen 0,8 und 1,5 m² pro Tonne verarbeiteter organischer Abfälle pro Jahr benötigt. Wenn die Menge an verarbeiteten organischen Rückständen gering ist (1.000-2.000 Tonnen pro Jahr), ist der Platzbedarf pro Tonne höher (aufgrund der Fläche, die für den Maschinenverkehr und die durchzuführenden Arbeitsschritte wie Zerkleinern und Sieben benötigt wird). Ebenso ist der Flächenbedarf umso höher, je aufwendiger die hergestellten Produkte sind (wie zum Beispiel die Herstellung von Blumenerde).

Die verschiedenen Arten von Kompostierungssystemen mit ihren Möglichkeiten und Grenzen werden im Kapitel 1.1 vorgestellt.

In vielen Fällen ist ein Kompostierungssystem mit kleinen Kompostmieten gut geeignet. Es handelt sich um ein sehr flexibles System, das durch eine entsprechende Steuerung des Prozesses an verschiedene Ausgangsmischungen angepasst werden kann. Je nach Größe des Systems können Inputmengen von 2.000 bis über 30.000 Tonnen pro Jahr verarbeitet werden. Je nachdem, wie sich die Situation entwickelt, kann eine solche Anlage ohne größere Probleme erweitert werden.

Wir nehmen dieses System daher als Beispiel für die Planung einer Kompostieranlage und gehen von einer Menge an eingehendem Material von 5.000 Tonnen/Jahr aus.

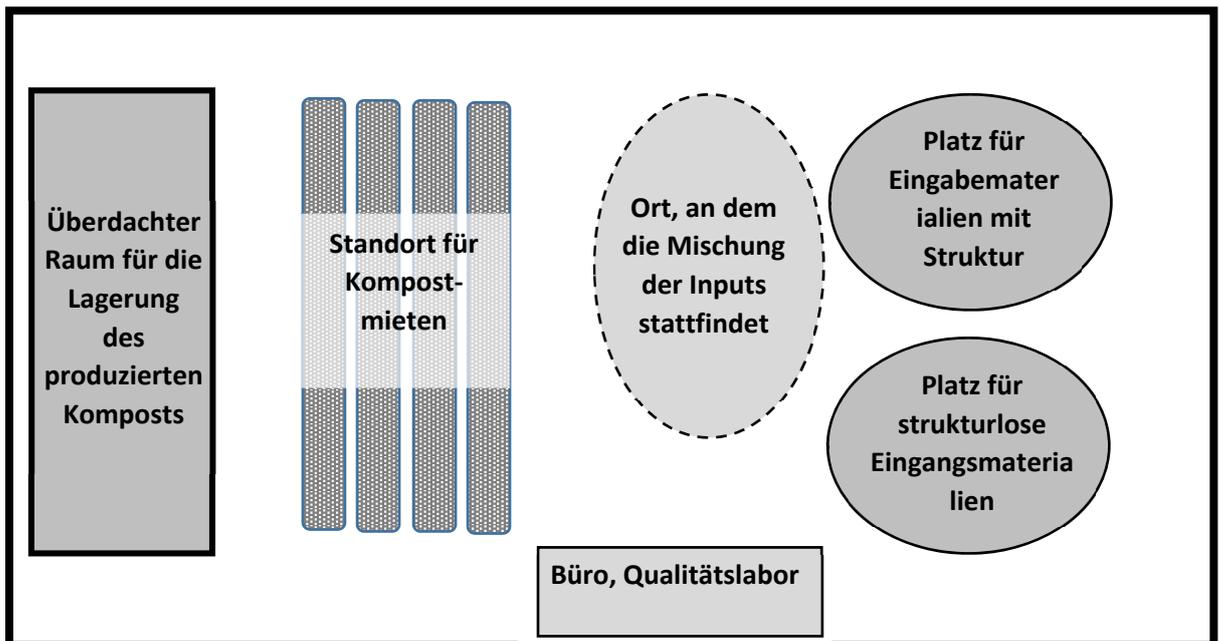
Für die Verarbeitung von ca. 5000 Tonnen organischen Abfällen pro Jahr (einschließlich des Lagerraums für den erzeugten Kompost) wird eine Fläche von ca. 7500 m² benötigt. Diese Fläche muss mit hartem Belag belegt sein, um die Kompostierungsarbeit zu erleichtern und die Risiken für die Umwelt zu begrenzen.

Eine Kompostieranlage muss aus folgenden Elementen bestehen:

1. Raum für die Entsorgung von organischen Abfällen. Dieser Raum muss unterteilt werden, um eine getrennte Behandlung der verschiedenen Inputs zu ermöglichen. Zumindest sollte eine klare Trennung zwischen strukturgebenden Materialien (z. B. Holzmaterial), die über einen längeren Zeitraum gelagert werden können, und nicht strukturgebenden Abfällen, die kurzfristig behandelt werden müssen, vorgenommen werden.
2. Raum für die Herstellung von Ausgangsmischungen. Dies ist der Ort, an dem strukturierte Inputs geschreddert und mit unstrukturierten Materialien gemischt werden.
3. Raum für die Mieten. Hier findet die eigentliche Kompostierung statt. Dieser Teil der Kompostieranlage sollte parallel zu den Mieten ein Gefälle von 2-3 % aufweisen, damit das Regenwasser bei starken Regenfällen abfließen kann. Wenn es technisch und finanziell möglich ist, den Bereich der Mieten abzudecken, wäre dies ein großer Vorteil für die Steuerung des Prozesses und würde außerdem das auf das Dach fallende Regenwasser auffangen, das zur Regulierung der Feuchtigkeit in der Miete genutzt werden kann.
4. Ein überdachter Bereich für die Lagerung des erzeugten Komposts. Der reife Kompost ist sehr anfällig für Wetterunbilden und muss daher dort geschützt werden, um die Qualität des Komposts bis zu seiner Verwendung zu gewährleisten. Zwischen dem Standort der Mieten und dem Lagerbereich für den Kompost muss eine ausreichende Fläche für das Sieben des Komposts vorgesehen werden.

- Ein Büro, in dem ein kleines Labor eingerichtet werden kann, ist notwendig, um die Abläufe in der Kompostieranlage zu verwalten und die notwendigen Arbeiten durchzuführen, um die Qualität der Produkte zu gewährleisten. Je nach Konzept der Abfallsammlung kann auch eine Waage erforderlich sein.

Ein Schema einer Kompostieranlage ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Eine genaue Planung der Anlage kann natürlich erst dann erfolgen, wenn die genaue Situation bekannt ist und beurteilt werden kann.



Schematische Darstellung der Organisation einer Kompostieranlage.

d. Notwendige Infrastruktur

Neben dem Bau des Kompostplatzes selbst, der im vorherigen Kapitel beschrieben wurde, sind verschiedene Infrastrukturen für die Kompostierung notwendig. In diesem Dokument wird nicht näher auf die notwendigen "kleinen Geräte" wie Thermometer oder Laborinfrastruktur eingegangen. Nur die teureren Maschinen, die in Anlagen benötigt werden, die mehrere Dutzend Tonnen organischen Abfall pro Jahr verarbeiten, werden hier behandelt.

Die drei wichtigsten Maschinen sind der Lader, der Schredder und die Umsetzmaschine. Die zweite Priorität (je nach den geplanten Absatzmärkten für Kompost und verarbeiteten Input) ist eine Siebmaschine, und die letzte Priorität ist eine Maschine zur Verpackung der Endprodukte.

Lader

Ein Lader ist erforderlich, um das verarbeitete Material zu handhaben. Ein Fronttraktor ist wahrscheinlich die beste Lösung für den Anfang, da dieser Traktor auch zum Umrühren von Komposthaufen mit einer traktorgezogenen Rührmaschine verwendet werden könnte. Allerdings muss der Traktor über genügend Leistung verfügen, um diese Arbeit zu erledigen.

Häcksler

Ein Häcksler wird benötigt, um Strukturmaterial wie Äste von Bäumen oder Sträuchern zu zerfasern. Ein wichtiger Punkt ist, dass diese Maschine die Produkte nicht schneidet, sondern zerkleinert. Denn nur gut zerfaserte Holzprodukte können von den Mikroorganismen bei der Kompostierung angegriffen werden. Die Größe des Häckslers sollte an die Menge des verarbeiteten Materials angepasst sein. Je nach Situation kann man auch einen Fachbetrieb mit der Arbeit beauftragen.



Beispiel für einen Traktor mit Frontlader und Lader.



Beispiele für Schredder für eine Kompostieranlage.

Kompost-Umsetzer

Um Qualitätskompost zu produzieren, ist ein Rührwerk mit Wendevorrichtung eine wichtige Investition. Für den Anfang ist eine von einem Traktor gezogene Rührmaschine sicherlich eine günstige Lösung. Sie sollten ein Modell wählen, die Miete mit einer Höhe von 2 m wenden kann. Bei der Auswahl dieser Maschine ist es auch wichtig, sich über die Anforderungen an den Traktor zu informieren (diese beiden Maschinen müssen zusammenarbeiten). Es ist auch von Vorteil, wenn diese Maschine über ein System zum Einbringen und Liefern des Geotextils verfügt, das zum Abdecken der Kompostmieten verwendet wird (falls der Kompostplatz nicht abgedeckt ist). Der Nachteil eines gezogenen Rührwerks ist, dass es einen größeren Kompostplatz benötigt, da bei jeder zweiten Miete ein Leerraum gelassen werden muss, damit der Traktor durchfahren kann.

Es ist natürlich auch möglich, eine selbstfahrende Rührmaschine zu verwenden, die jedoch wesentlich teurer ist. Sie spart jedoch Platz auf der Kompostieranlage.

Wenn der Kauf eines Kompostrührers zu Beginn des Projekts nicht möglich ist, kann der Kompost auch mit einem Lader umgeschichtet werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Kompostklumpen bei diesem Vorgang zerschlagen werden. Die Qualität der Arbeit mit einem Lader erreicht jedoch nie die Qualität der Arbeit mit einer echten Rührmaschine und ist zudem arbeitsintensiver.



Beispiel für eine traktorgezogene und selbstfahrende Rührmaschine

Siebmaschine

Systeme, bei denen von Hand gesiebt wird, sind hier möglich, allerdings sind Trommel- oder Sternsiebe in einer Vielzahl von Größen erhältlich, die entsprechend der Größe der geplanten Kompostieranlage ausgewählt werden können. Auch die Maschenweite sollte entsprechend den zu vermarktenden Endprodukten gewählt werden.



Beispiele für Siebmaschinen: Handwerksziebe (oben links), Sternsiebe (oben rechts) und Drehtrommelsiebe (unten).

Bei der Auswahl der Maschinen sollte Folgendes beachtet werden:

- Dimensionierung der Maschine entsprechend der Menge des verarbeiteten Materials
- Bewährte Technologie wählen
- Qualität und Solidität der Maschine
- Möglichkeit eines Kundendienstes (u. a. Verfügbarkeit von Teilen) im Land
- Preis der Maschine (inkl. Transport)

Es ist ratsam, wenn möglich, die Maschine vor dem Kauf zu testen. Dies ist besonders für den Häcksler zu empfehlen, um das erzielte Ergebnis zu sehen (Qualität der Zerkleinerung, Einstellbarkeit der Maschine (Größe des Häckslers), Stundenleistung der Maschine usw.).

e. Dokumente für den Betrieb

Betriebsdokumente sind besonders wichtige Hilfsmittel für eine Kompostieranlage. Sie tragen aktiv dazu bei, Produkte von gleichbleibender Qualität herzustellen und die Abläufe in der Anlage zu optimieren. Sie sind ein Qualitätsnachweis sowohl für den Leiter der Anlage als auch für den Käufer des Komposts.

Die wichtigsten Dokumente für die Verwaltung einer Kompostieranlage sind das Register der angelieferten organischen Abfälle, das Register der ausgehenden Produkte und vor allem das Protokoll zur Prozesskontrolle. Letzteres ist entscheidend für die Optimierung der Verwaltung des Prozesses selbst.

Das Prozesskontrollprotokoll beschreibt die Hauptaktivität einer Kompostieranlage. Es bildet die Grundlage für das Management der Kompostierung und die Qualitätssicherung. Es muss für jede Charge ausgefüllt werden. Aus diesem Grund müssen die einzelnen Chargen eindeutig nummeriert und von der Einrichtung bis zur Vermarktung des produzierten Komposts verfolgt werden (siehe Kapitel 3.3.e).

7. Experimente im Bereich der Kompostierung

Die Durchführung von Versuchen ist ein wichtiges Element bei der Optimierung des Kompostierungsprozesses und der Verwendung des erzeugten Komposts. Im Zusammenhang mit der Kompostierung gibt es zwei Hauptstufen von Versuchen, die zu berücksichtigen sind:

- Versuche zur Optimierung von Kompostierungsprozessen
- Versuche zur Optimierung der Verwendung des erzeugten Komposts.

Neben dem Ziel der Optimierung spielen die Versuche auch eine wichtige Rolle bei der Kommunikation mit den verschiedenen am System beteiligten Parteien, von den Kommunen und Kompostern bis hin zu den LandwirtInnen und BürgerInnen.

7.1 Versuche zur Optimierung von Kompostierungsprozessen

Um den Kompostierungsprozess zu optimieren, können verschiedene Versuche vorgeschlagen werden. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Versuche sollten später weitere Versuche geplant werden. Einige Beispiele für Versuche werden hier vorgestellt. Sie können in einem Versuchskomposter oder auf einem Bauernhof mit einem Mietenkompostierungssystem durchgeführt werden.

a. Beispiel 1: Optimierung des Rohstoffmanagements

Die verschiedenen Arten der vorhandenen Rohstoffe müssen gemischt werden, um ein optimales C:N-Verhältnis und eine geeignete Struktur für den Kompostierungsprozess zu erhalten. Es ist zu erwarten, dass kohlenstoffreiche Materialien zu Beginn des Prozesses wahrscheinlich nicht viel Stickstoff verbrauchen und dass überschüssiger Stickstoff in der ersten Phase des Prozesses in Form von Ammoniakgasen verloren geht. Eine Möglichkeit, die Stickstoffverluste zu verringern, könnte darin bestehen, der Mischung zu Beginn des Prozesses nur einen Teil der stickstoffreichen Materialien hinzuzufügen und den Rest erst drei oder vier Wochen später, wenn die kohlenstoffreichen Materialien bereits teilweise abgebaut und daher in der Lage sind, Stickstoff zu binden.

Die Fragen, die im Rahmen dieses Versuchs beantwortet werden müssen, sind folgende:

- Kann der Kompostierungsprozess durch ein optimiertes Rohstoffmanagement verbessert werden?
- Können Stickstoffverluste durch ein optimiertes Rohstoffmanagement verringert werden?
- Kann die Qualität des erzeugten Komposts durch ein optimiertes Rohstoffmanagement verbessert werden?

Zwei Behandlungen können verglichen werden:

- T1: Startmischung mit allen Materialien, die zu Beginn des Prozesses gemischt wurden. Während des restlichen Prozesses werden keine weiteren Materialien hinzugefügt.
- T2: Startmischung mit nur der Hälfte der Menge an stickstoffreichem Material zu Beginn des Prozesses. Nach 3 Wochen wird die zweite Hälfte des stickstoffreichen Materials hinzugefügt.

b. Beispiel 2: Verbesserung des Kompostierungsprozesses durch die Impfung mit spezifischen Mikroorganismen

Die Beimpfung mit spezifischen Mikroorganismen, z. B. solchen, die Zellulose oder Lignin abbauen, oder solchen, die eine antagonistische Wirkung auf Pathogene haben, könnte potenziell den Kompostierungsprozess und die Qualität des Endprodukts verbessern. Allerdings könnte der Zeitpunkt der Zugabe der verschiedenen Mikroorganismen ihre positive Wirkung beeinflussen. Es ist zu erwarten, dass Mikroorganismen, die am Kompostierungsprozess selbst beteiligt und resistent gegen hohe Temperaturen sind, vorteilhafter sind, wenn sie zu Beginn des Prozesses eingesetzt werden, während beispielsweise Antagonisten mit geringer Hitzeresistenz vorteilhafter wären, wenn sie dem Kompost während der Reifephase zugesetzt werden. Es sollten Tests durchgeführt werden, um den Einsatz der ausgewählten spezifischen Mikroorganismen zu optimieren.

Die Fragen, die im Rahmen dieses Versuchs beantwortet werden müssen, sind folgende:

- Kann die Impfung mit spezifischen Mikroorganismen den Kompostierungsprozess und die Qualität des erzeugten Komposts verbessern?
- Wann ist der beste Zeitpunkt im Prozess, um die ausgewählten Mikroorganismen hinzuzufügen?
- Kann die Unterdrückung von Krankheiten durch die Zugabe von ausgewählten Antagonisten verbessert werden?

Für einen Mikroorganismus oder einen Komplex von Mikroorganismen können drei Behandlungen verglichen werden:

- T1: Kompostierung der Ausgangsmischung ohne Zugabe von spezifischen Mikroorganismen.
- T2: Kompostierung der Ausgangsmischung mit Zugabe von spezifischen Mikroorganismen zu Beginn des Prozesses.
- T3: Kompostierung der Ausgangsmischung unter Zugabe von spezifischen Mikroorganismen während der Aushärtungsphase.

c. Beispiel 3: Optimierung des Wendeintervalls

Das Umsetzen des Komposts ist ein wichtiger Vorgang, um einen guten Kompostierungsprozess zu gewährleisten. Das Umsetzintervall muss jedoch an das Kompostierungssystem und das Rohmaterial, das kompostiert wird, angepasst werden. Werden die Mieten zu oft gewendet, kommt es zu Verlusten von Stickstoff (Ammoniak) und Feuchtigkeit. Wird die Kompostmiete zu selten gewendet, kann die Homogenität des Prozesses nicht mehr gewährleistet werden und es besteht die Gefahr, dass sich in der Miete anaerobe Stellen bilden, was die Qualität des Komposts negativ beeinflussen kann.

Die Fragen, die im Rahmen dieses Versuchs beantwortet werden müssen, sind folgende:

- Was ist die optimale Intensität der Wende der Mieten:
 - hochwertigen Kompost zu erhalten,
 - Stickstoffverluste während des Kompostierungsprozesses zu vermeiden
 - unnötige Arbeit und Kosten zu vermeiden

Es können zum Beispiel drei Behandlungen verglichen werden:

- T1: Mieten mit einem Wendeintervall von 3 Tagen
- T2: Mieten mit einem Wendeintervall von 1 Woche.
- T3: Mieten mit einem Wendeintervall von 2 Wochen.

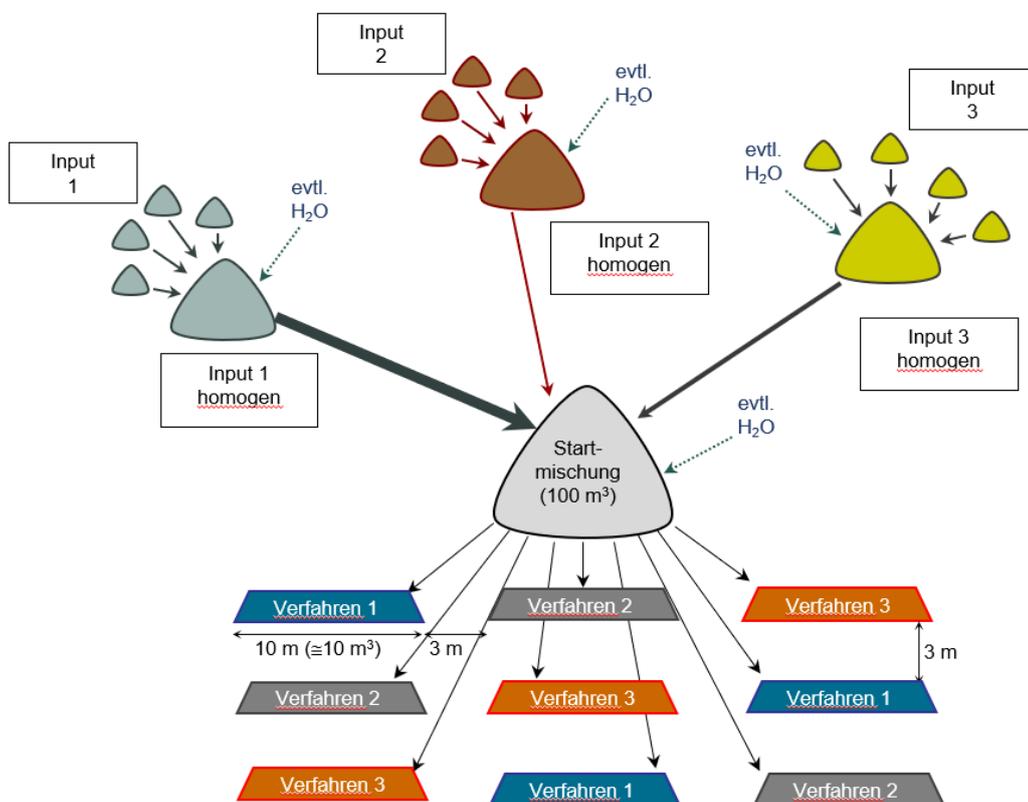
7.2 Methodik für die Durchführung von Kompostierungsversuchen

Im Allgemeinen können einfache praktische Tests ohne Wiederholung durchgeführt werden, um der gestellten Frage auf den Grund zu gehen. Wenn genauere Antworten auf die jeweiligen Fragen notwendig sind, werden exakte Tests mit Wiederholungen bevorzugt.

In jedem Fall sollte zwischen den getesteten Varianten nur ein Parameter verändert werden, da es sonst kaum möglich ist, die Ursache der erzielten Unterschiede zu beurteilen. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, genau zu arbeiten und alle durchgeführten Arbeitsschritte sowie alle vorgenommenen Messungen und Beobachtungen zu dokumentieren.

Ein wichtiger Punkt bei den Kompostierungsversuchen ist die Größe der Haufen. Diese hat einen großen Einfluss auf den Kompostierungsprozess, da sich die Temperatur und die Belüftung des Haufens ändern. Beispielsweise können die Ergebnisse, die mit 50-Liter-Haufen erzielt wurden, nicht auf 50-m³-Haufen exportiert werden. Damit die Tests für die praktische Kompostierung relevant sind, sollte ein Minimum von 3 bis 5 m³ pro Testhaufen in Betracht gezogen werden, und später sollten die vielversprechendsten Varianten unter den praktischen Bedingungen, die in der betreffenden Kompostieranlage herrschen, erneut getestet werden.

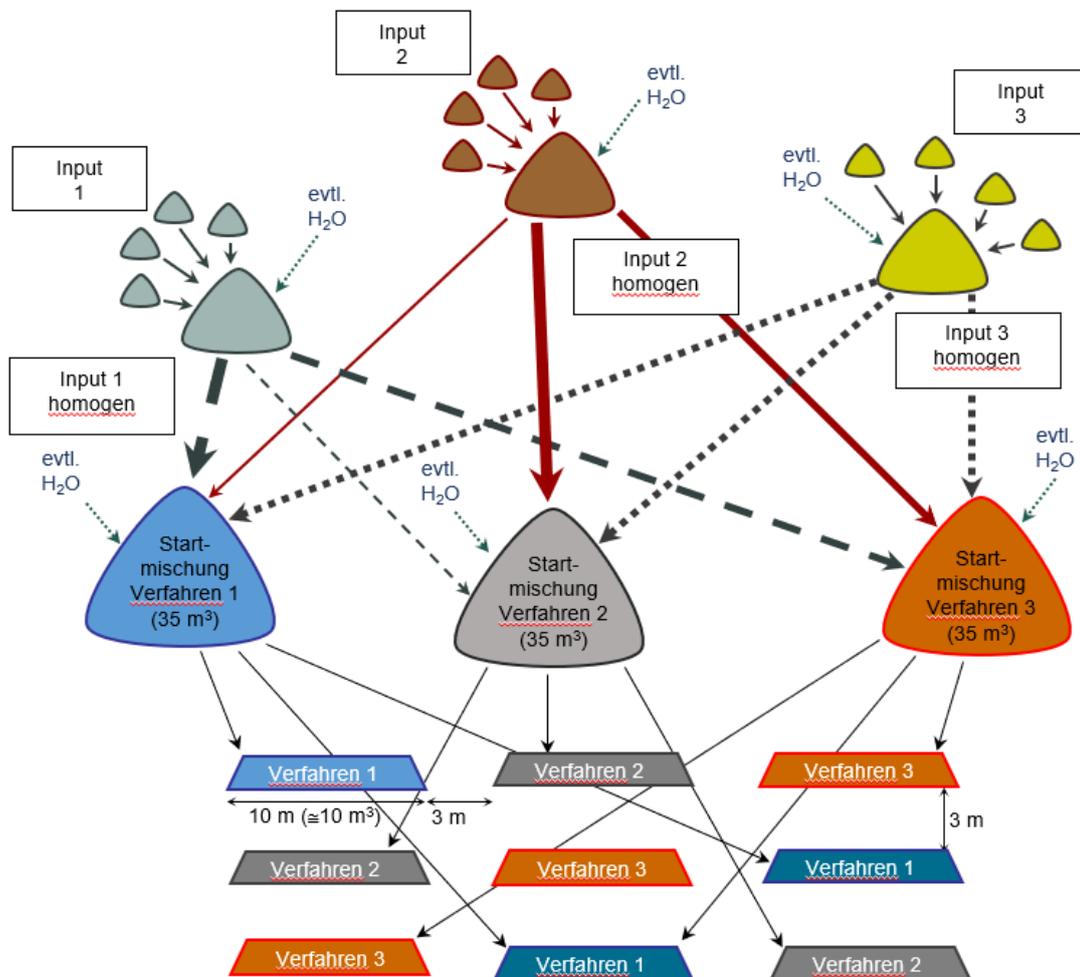
Wenn die Ausgangsmischung für die verschiedenen Behandlungen dieselbe ist, muss eine homogene Mischung in ausreichender Menge für alle Behandlungen hergestellt werden (+ etwa 10% Reserve), die dann auf die verschiedenen Behandlungen aufgeteilt wird. Vorsicht beim Mischen: 1 m³ Material A + 1 m³ Material B ergibt nicht 2 m³, denn das feinere Material kann in die Poren des größeren Materials eindringen und "verschwinden". Dies ist typischerweise der Fall, wenn feiner Ton oder Biokohle hinzugefügt wird.



Exakter Kompostierungsversuch mit der gleichen Ausgangsmischung für alle Behandlungen

Wenn verschiedene Mischungen verglichen werden sollen, muss eine homogene Mischung pro Behandlung für alle Wiederholungen hergestellt und dann auf die verschiedenen Wiederholungen verteilt werden.

Der Kompostierungsprozess muss intensiv und mit genauen Protokollen überwacht werden, vor allem in den ersten zehn Wochen des Prozesses.



Exakter Kompostierungsversuch mit verschiedenen Ausgangsmischungen

Die Feuchtigkeitswerte müssen während des gesamten Prozesses überwacht werden.

Die zu analysierenden Kompostproben sollten normalerweise mindestens zweimal während des Prozesses entnommen werden: am Ende der heißen Phase (wenn die Temperatur deutlich zu sinken beginnt) und wenn der Kompost seine Reife erreicht hat (die Temperatur steigt in den zwei Tagen nach dem Umsetzen des Komposts praktisch nicht an). Die effektivste Methode ist die Entnahme von Proben unmittelbar nach dem Umsetzen des Komposts. Um eine homogene und repräsentative Probe zu erhalten, werden 20 Unterproben von 500 bis 1'000 ml an verschiedenen Stellen des Komposthaufens entnommen und gut vermischt. Aus dieser Mischung wird dann die erforderliche Menge an Kompost entnommen.

Die Analysen sollten so bald wie möglich nach der Probenahme vor Ort durchgeführt werden. Wenn eine Analyse am selben Tag nicht möglich ist, sollten die Proben bei 4 °C aufbewahrt werden, bis die Analyse durchgeführt werden kann.



Blick auf einen Versuch zur Optimierung des Kompostierungsprozesses zu dem Zeitpunkt, an dem die Proben zur Analyse entnommen werden.

7.3 Versuche zur Optimierung der Verwendung des erzeugten Komposts

Vor Beginn eines Versuchs zur Verwendung von Kompost sollte die spezifische Frage, die beantwortet werden soll, klar definiert werden, da sie die Gestaltung und Organisation des Versuchs beeinflusst: Einfluss des Komposts auf die Bodenstruktur, Düngewirkung des Komposts, Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten, ...

Außerdem muss definiert werden, ob der Versuch zu Demonstrationszwecken dient oder ob er Daten mit relevanten statistischen Werten erzeugen soll.

Bei den Versuchen zur Kompostanwendung kann man auch zwischen Topfversuchen (bei denen mit überschaubarem Arbeits- und Kostenaufwand auf kleinen Flächen relativ viele Varianten getestet werden können) und Freilandversuchen (die eine gute praktische Relevanz haben, bei denen aber nicht viele Varianten getestet werden können und die einen hohen Arbeits- und Pflegeaufwand erfordern) unterscheiden.

a. Allgemeine Bedingungen für die Durchführung von Feldversuchen zur Ausbringung von Kompost

Der Standort, an dem das Experiment durchgeführt werden soll, muss homogen sein. Die Wahl des Standorts muss im Zusammenhang mit der zu untersuchenden Frage stehen; das bedeutet zum Beispiel, dass er einem Krankheitsbefall ausgesetzt sein muss, wenn die unterdrückende Wirkung von Kompost untersucht werden soll.

Der Boden, in dem das Experiment durchgeführt wird, muss ebenfalls analysiert werden (Bodenart, Textur, Gehalt an organischen Stoffen, N, P, K, Mg, Ca usw.). Der verwendete Kompost muss zudem gut charakterisiert werden, damit die Ergebnisse verschiedener Experimente verglichen werden können.

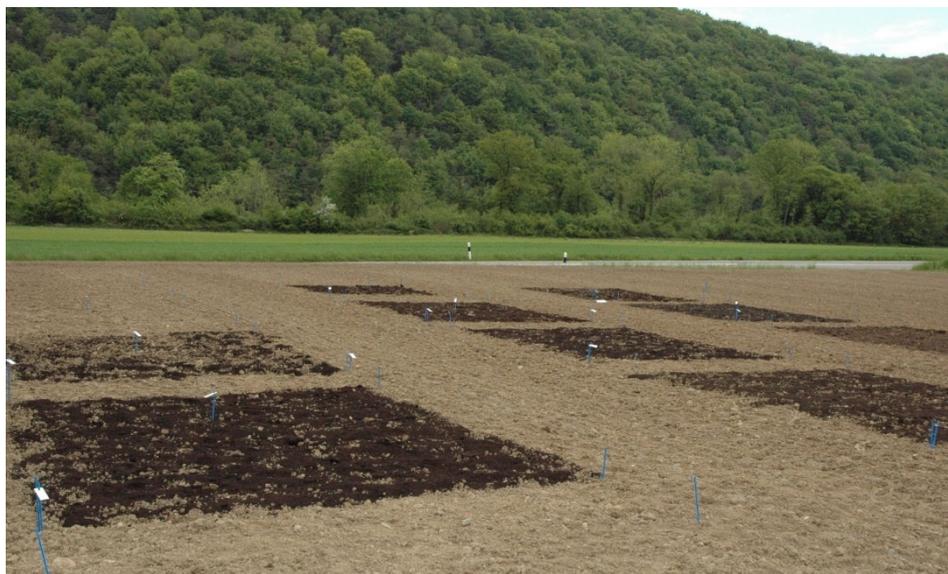
Wenn das Ziel nicht nur darin besteht, Fragen zur Düngung zu beantworten, ist es wichtig, neben einer unbehandelten Referenzparzelle auch eine Standardbehandlung (eine N-, P-, K-, Mg-Kontrolle) zu haben. Für andere Fragen sollten die Kontrollparzellen generell gedüngt werden, und zwar mit handelsüblichen Düngemitteln auf demselben Niveau wie die durch den Kompost gelieferten Düngemittel.

b. Design von Feldexperimenten

Für Experimente, die nur eine Saison dauern, kann ein Standardplan mit vier Wiederholungen verwendet werden.

In Experimenten, die mehrere Jahre dauern (z. B. um die Wirkung von Kompost auf die Bodenstruktur zu beurteilen), müssen die Parzellen größer sein, um eine Vermischung der Böden aus den verschiedenen Behandlungen zu vermeiden. Pufferzonen, in denen keine Maßnahmen ergriffen werden, sind hier wichtiger als bei kurzen Experimenten. Bei mehrjährigen Experimenten sollten vor Beginn der Arbeiten Bodenproben von allen Parzellen entnommen und analysiert werden.

Für Demonstrationsexperimente werden in der Regel größere Parzellen ohne Wiederholung verwendet (z. B. das halbe Feld mit Kompost, das halbe Feld mit einem Referenzdünger oder mit der üblichen Praxis des Landwirts oder der Landwirtin).



Blick auf einen Anwendungsversuch, bei dem verschiedene Komposte verglichen werden.

c. Topfversuche

Bei Topfversuchen kann eine Vielzahl von Varianten, auch extreme Varianten ohne praktischen Nutzen, getestet werden, um die Grenzen und Risiken des hergestellten Komposts zu untersuchen.

Diese Versuche sind auch gute Kommunikations- und Schulungsinstrumente für das betroffene Personal und die LandwirtInnen. Wie die Abbildung 3.5 zeigt, können wir dem Personal und den LandwirtInnen demonstrieren, dass es ein Optimum bei den eingesetzten Kompostmengen gibt und dass größere Mengen den Pflanzen schaden (Überdüngung, Salzgehalt usw.).



Demonstrationsexperiment in Töpfen über den Einfluss der Kompostanwendung auf das Kohlwachstum (von TakaTakaSolutions, Nairobi, Kenia).

Wie bei den Feldversuchen ist es wichtig, dass der Boden oder das Substrat der Grundmischung während des gesamten Versuchs homogen sind. Zu dieser Grundmischung werden dann Kompost oder andere Produkte (z. B. Handelsdünger) hinzugefügt.

Um die Ergebnisse auswerten zu können, sollten mindestens 6 Töpfe pro Variante verwendet werden.



Blick auf ein Experiment, bei dem die Wirkung verschiedener Komposte auf das Pflanzenwachstum getestet wurde (REPIC-Projekt in Côte d'Ivoire).

Links: Versuche in Töpfen. Rechts: Versuche in Beeten.

d. Dokumentation und Nutzung von Pflanzenversuchen

Um aussagekräftig zu sein, müssen die Versuche gut dokumentiert und die genauen Protokolle sorgfältig befolgt werden. Eine Fotodokumentation (mit entsprechender Kennzeichnung der Fotos) der Versuche wird ebenfalls dringend empfohlen. Dies gilt auch für Demonstrationsversuche und Versuche, die nicht funktioniert haben. Tatsächlich hilft uns die Auswertung von Fehlschlägen dabei, Fortschritte bei der Optimierung von Kompost und seiner Verwendung zu machen.

Pflanzenversuche sind sehr arbeitsintensiv. Daher ist es wichtig, sie gut vor- und nachzubereiten, damit sich der Aufwand, die für die Durchführung aufgewendet wird, amortisiert. Damit ein Versuch erfolgreich ist, muss er sorgfältig geplant werden: Auswahl des Feldes oder Bodens entsprechend den angestrebten Zielen, Auswahl der Varianten (einschließlich der Auswahl der Kontrollen), Auswahl der Kulturen, des Saatguts oder der Setzlinge, Maßnahmen zum Schutz des Versuchs (z. B. Netze zum Schutz des Versuchs vor Insekten oder Vögeln) usw.

Mindestens die folgenden Punkte müssen im Protokoll dokumentiert werden:

- Genaue zeitliche Planung der Arbeitsschritte (Datum der Bodenvorbereitung, Datum der Aussaat oder Pflanzung, Datum der Inspektionen, Datum der Bewässerung oder anderer durchgeführter Maßnahmen usw.).
- Ort des Tests
- Verantwortliche und am Prozess beteiligte Personen
- Art des verwendeten Bodens oder Substrats
- Größe des Versuchs (Fläche, Topfgröße, Anzahl der Töpfe usw.)
- Testplan (insbesondere für Feldversuche)
- Getestete Sorten
- Pflanzen (Sorte, Herkunft des Saatguts oder der Setzlinge)
- Anzahl der Pflanzen pro m² oder Topf
- Allgemeine Beobachtungen, die während des Prozesses gemacht wurden
- Messdaten (Pflanzenhöhe, Gewicht, Bewertung von Krankheiten, Sterblichkeit usw.)

Neben den Daten, die eine Optimierung der Kompostierungsvorgänge und der Verwendung des erzeugten Komposts ermöglichen, sind die Versuche ausgezeichnete Kommunikations- und Schulungsinstrumente für die Beteiligten (Abfallzulieferer, Anlagenpersonal, Gemeinden usw.) und für die potenziellen Nutzenden des erzeugten Komposts (LandwirtInnen, landwirtschaftliche BeraterInnen, Genossenschaften, Privatpersonen usw.).

Verschiedene Informationsaktivitäten, darunter Testbesuche und Diskussionen über die verschiedenen Ergebnisse, bilden ein wichtiges Forum für den Austausch zwischen den verschiedenen Akteuren, verbessern das gegenseitige Verständnis für die Möglichkeiten, Grenzen und Wünsche der PartnerInnen und ermöglichen so eine Optimierung des gesamten Systems.

Die erzielten Ergebnisse müssen auch verbreitet werden. Hierfür stehen verschiedene Mittel zur Verfügung: Poster, Datenblätter, Präsentationen, Videos, Zeitungsartikel usw.

8. Verwendung von Kompost

Die Verwendung von Qualitätskompost verbessert und erhält die Fruchtbarkeit des Bodens und versorgt die Pflanzen optimal mit Nährstoffen. Er steigert die Menge der Produktion sowie die Qualität der Produkte. Kompost verbessert die Bodenstruktur und die Wasserspeicherung sowie die Krankheitsresistenz bestimmter Pflanzen und ist daher wichtig für den Erfolg der Produzierenden.

Diese positiven Effekte von Kompost können jedoch nur erreicht werden, wenn :

- die Qualität des Produkts einwandfrei ist
- die Auswahl des verwendeten Komposts den beabsichtigten Verwendungszwecken und Wirkungen entspricht
- die Nutzungsstrategie korrekt ist

Je nach den verwendeten Rohstoffen und der Prozessführung hat nicht jeder Kompost die gleichen Eigenschaften und damit die gleiche Wirkung auf Böden und Pflanzen. Außerdem stellt jede Verwendung des Komposts andere Anforderungen. Es ist von entscheidender Bedeutung, den richtigen Kompost und das richtige Anwendungskonzept für die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Situation auszuwählen (Kultur, Bodeneigenschaften, Anwendungszeitraum, gewünschte Effekte usw.).

Eine gute Beziehung zwischen Kompostproduzierenden und -anwendenden ist der Schlüssel zu einer erfolgreichen Umsetzung von Kompost in landwirtschaftlichen Systemen.

8.1 Bedürfnisse anhand von Zielen definieren

Um eine Strategie für die Auswahl und Verwendung von Kompost zu entwickeln, müssen Sie zunächst die Ziele und die Bedingungen für die Verwendung festlegen. Dazu sollten Sie sich folgende Fragen stellen:

- Hauptzweck: Düngung von Nutzpflanzen oder Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (Humusgehalt, Struktur usw.).
- Zielkultur für die Verwendung von Kompost
- bei mehrjährigen Kulturen: Anwendung zum Zeitpunkt der Pflanzung oder der Pflege einer ertragreichen Kultur.

Wenn das Hauptziel die Düngung der Kulturen ist, sollten Sie einen Kompost wählen, der reich an verfügbaren Nährstoffen (vor allem Stickstoff) ist. Dabei kann es sich um Wurmkompost oder um einen herkömmlichen Kompost mit einem hohen Anteil an Mist handeln.

Wenn das Hauptziel darin besteht, die Bodenqualität zu verbessern, sollte ein relativ reifer Kompost mit einem hohen Anteil an holzigem Material gewählt werden (wie Grünabfallkompost, dem Biokohle zugesetzt wurde).

Die Zielkultur und der Zeitpunkt der Kompostanwendung (bei der Pflanzung oder im Rahmen der Kulturpflege) sind besonders wichtig, um die zu verwendenden Kompostmengen so festzulegen, dass sie den Bedürfnissen der Pflanze entsprechen. Eine Überdüngung der Kulturen kann dem Wachstum ebenso schaden wie eine Unterdüngung und kann auch negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (Auswaschung von Nährstoffen, Ausstoß von Treibhausgasen wie Lachgas usw.).

8.2 Die Qualität des Komposts bewerten

Um den richtigen Kompost für den richtigen Zweck auswählen und eine geeignete Strategie für seine Verwendung festlegen zu können, ist es von entscheidender Bedeutung, die Qualität des verfügbaren Komposts richtig einzuschätzen. Dies stellt auch eine Grundlage für die Diskussion zwischen Kompostherstellenden und -anwendenden dar.

Zunächst einmal kann man sich durch die Beobachtung des Komposts mit den eigenen Sinnen (Sehen, Riechen, Fühlen) einen ersten Eindruck der grundlegenden Qualität der Produkte verschaffen (siehe Kapitel 4.5.b).

Durch die Untersuchung der Verarbeitungsprotokolle kann auch sichergestellt werden, dass der Kompost die erforderlichen Prozesse durchlaufen hat, um hygienisch einwandfrei zu sein (Kapitel 3.3.e).

Der nächste Schritt ist die chemische Analyse des Komposts. Natürlich muss als Erstes überprüft werden, ob die Menge an Schadstoffen (Schwermetalle, Kunststoffe usw.) die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschreitet. Die Analyse der Gesamtnährstoffe, die von einem externen, akkreditierten Labor durchgeführt wird, ist anschließend unerlässlich, um die Düngerbilanzen zu planen und so die zu verwendenden Produktmengen festzulegen (siehe Kapitel 4.1 und 4.3).

Schließlich lässt sich anhand des Gehalts an mineralischem Stickstoff (N_{\min}) im Kompost dessen Reifegrad beurteilen und gibt ebenfalls einen Hinweis auf die Qualität des Komposts. Ein Kompost mit einem Verhältnis von N_{\min}/N_{tot} von weniger als 5% wird kurzfristig kaum eine Stickstoffwirkung haben, während dies bei einem Verhältnis von mehr als 10% der Fall ist. Andererseits ist ein Kompost, der als mineralischen Stickstoff hauptsächlich Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) enthält, biologisch jung, während ein reifer Kompost hauptsächlich Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) enthält. Wenn Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) in großen Mengen vorhanden ist, ist dies ein Zeichen für Sauerstoffmangel während der Reife- oder Lagerungsphase, was zu minderwertigem Kompost führt, der sogar giftig für Pflanzen sein kann (siehe Kapitel 4.5c).

8.3 Bewertung der Düngerbilanz

Jede Pflanze hat einen anderen Düngerbedarf. Daher muss die Menge des aufgetragenen Komposts an die jeweilige Kultur angepasst werden. Da der Gesamtnährstoffgehalt von Kompost stark schwanken kann, ist es wichtig, diese Berechnungen anhand der Analysen des vorgesehenen Komposts durchzuführen und sich nicht auf die in der Literatur gefundenen Durchschnittswerte zu verlassen.

Örtliche landwirtschaftliche BeraterInnen sind in der Lage, den Düngerbedarf der Kulturen in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und der Bodenart zu bestimmen. Auch Informationen aus der Literatur können hierbei hilfreich sein.

Bei Stickstoff werden normalerweise nur 10% des Gesamtstickstoffs in der Nährstoffbilanz berücksichtigt, der Rest ist an organisches Material gebunden und für Pflanzen kurzfristig nicht verfügbar.

Wurmkompost und Digestat enthalten mehr mineralischen Stickstoff als herkömmlicher Kompost. Daher können 20% des Gesamtstickstoffs bei der ausgewogenen Düngung berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung der Kompostmenge, die auf die Kultur aufgebracht werden soll, ist der Nährstoff, der zuerst den Bedarf der Pflanze deckt, der entscheidende Faktor. Gezielte

Anwendungen von Handelsdüngern sollten dann erfolgen, um den Bedarf an anderen Nährstoffen zu decken, falls erforderlich (siehe Kapitel 4.3).

Lokale landwirtschaftliche BeraterInnen können den Bedarf der Pflanzen unter den örtlichen Bedingungen berechnen und ein Düngekonzept entwickeln, das auf der Verwendung von Kompost basiert. Durch praktische Versuche können diese Konzepte optimiert und validiert werden (siehe Kapitel 7.7).

8.4 Praktische Verwendung von Kompost auf dem Feld

Kompost versorgt die Pflanzen mit Düngemitteln (Makro- und Mikronährstoffen), aber seine Wirkung als Bodenverbesserer ist mindestens ebenso wichtig. Er liefert stabilisierte organische Substanz im Boden, die die Bodenstruktur und das Wasserrückhaltevermögen verbessert, die Erosion verringert, den pH-Wert positiv beeinflusst und die biologische Aktivität des Bodens anregt. Kompost kann auch eine unterdrückende Wirkung auf über den Boden übertragene Pflanzenkrankheiten haben.

Um diese positiven Effekte zu entwickeln, ist jedoch die richtige Anwendung des Komposts von entscheidender Bedeutung. Nach dem Ausbringen sollte der Kompost rasch in die oberen paar Zentimeter des Bodens eingearbeitet werden. Bleibt er an der Oberfläche, kann er austrocknen, was zu einem Verlust von Nährstoffen und einer Inaktivierung seiner positiven biologischen Aktivität führt.

Kompost kann von Hand oder mithilfe einer Maschine ausgebracht werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Kompost gleichmäßig über die gesamte Kultur verteilt wird.

Je nach Kultur kann der Kompost über die gesamte Fläche des Feldes ausgebracht werden (z. B. bei Getreide oder Mais) oder konzentriert in der Pflanzreihe oder auf Dämmen (z. B. beim Gemüseanbau).

Beim Pflanzen (z. B. von Tomaten oder Obstbäumen) kann der Kompost in das Pflanzloch gegeben werden. Das ist effektiver, als ihn nach der Pflanzung um die Pflanzen herum zu verteilen. Es ist jedoch darauf zu achten, keinen reinen Kompost in das Pflanzloch zugeben, sondern ihn zunächst verdünnen, indem er mit Erde auf dem Feld gemischt wird (z. B. $\frac{1}{3}$ Kompost + $\frac{2}{3}$ Erde). Reiner Kompost ist zu reichhaltig für die Wurzeln der Pflanzen, die dadurch beschädigt werden oder ihr Wachstum verlangsamen können.

Für Kulturen mit kurzer Lebensdauer (wie Gemüse) ist die Anwendung vor der Aussaat oder Pflanzung geeignet.

Bei mehrjährigen Kulturen wird eine wiederholte Anwendung, z. B. alle zwei bis drei Jahre, empfohlen. Um eine optimale Wirkung zu erzielen, sollte der Kompost jedes Mal in die Bodenoberfläche eingearbeitet werden (z. B. durch Aufkratzen). Wenn die Kultur nach der Kompostierung bewässert wird, kann sich der Kompost besser in den Boden integrieren und seine positiven Wirkungen entfalten.

9. Schlussfolgerungen

Das Recycling von organischen Überresten ist für die Umwelt und das Klima nicht unwichtig. Dadurch können wichtige Nährstoffe für Pflanzen recyclet, die Fruchtbarkeit des Bodens gesichert und die Gesundheit der Pflanzen gewährleistet werden. Darüber hinaus kann ein gutes Recyclingmanagement die Emission von Treibhausgasen (Methan, Lachgas), die durch diese schlecht gemanagten organischen Resten entstehen, begrenzen.

Um die genannten positiven Ergebnisse zu erzielen, erfordert der Umgang mit organischen Reststoffen jedoch ein optimales Management des gesamten Recyclingprozesses - von der Sammlung der organischen Reststoffe bis hin zur Verwendung der daraus entstehenden Produkte.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, organische Abfälle zu recyceln: Methanisierung, Kompostierung, Wurmkompostierung, Pyrolyse etc. Alle diese Verfahren sind als komplementär und nicht als konkurrierend zu betrachten. Die Wahl eines Konzepts hängt von verschiedenen Faktoren ab: zu verarbeitende Inputs, Absatzmöglichkeiten für die Produkte, Infrastruktur, verfügbare Finanzen und Arbeitskräfte etc.

In dieser Konstellation nimmt die Kompostierung einen bevorzugten Platz ein, unter anderem aufgrund ihrer Flexibilität: Sie kann ohne große Infrastruktur und Investitionen durchgeführt werden, ermöglicht die Verarbeitung einer Vielzahl von organischen Überresten, kann bei optimaler Durchführung sehr positive Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit haben, etc.

Das Verständnis der Kompostierungsprozesse und ihrer möglichen Auswirkungen auf die Kulturen ist von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Durchführung von Kompostierungsmaßnahmen. Das Ziel dieses Dokuments ist es, einige Elemente zu nennen, die dazu beitragen können, ein Recycling von organischen Überresten zu erreichen, das zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung unserer Umwelt beiträgt.

Dr. Jacques G. Fuchs
FiBL

CH-Frick, Mai 2025

Kontakt:

Dr. Jacques G. Fuchs, Projektleiter
Abteilung für Pflanzenwissenschaften
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Ackerstrasse 113 / Postfach 219
5070 Frick (Schweiz)

Telefon +41 62
Handy +41 79 216 11 35
jacques.fuchs@fi-bl.org
www.fibl.org
www.biophyt.ch



Diese Einführung in die Kompostierung wurde unter anderem auf der Grundlage von Dokumenten geschrieben, die der Autor im Rahmen verschiedener Projekte erarbeitet hat, die von REPIC (www.repic.ch), A. Baur & Co. (Pvt.) Ltd. (www.baurs.com), Biophyt SA (www.biophyt.ch) und anderen finanziert wurden.



Chemische Analyse des Komposts in einem Feldlabor



Dr. Jacques G. Fuchs, FiBL & Biophyt AG

CH-Frick, 24.11.2022



Chemische Analyse des Komposts in einem Feldlabor

Dr. Jacques G. Fuchs, FiBL & Biophyt AG, CH-Frick, 23.01.2025

1. Benötigte Ausrüstung: Instrumente

- **Schüttler** (zur Durchführung von Kompostextraktionen), Hin- und Her-Modus
 - z. B.: orbitaler Multiplattformschüttler, PSU-20i, mit Universalplattform, verstellbaren Stäben und zwei Befestigungsebenen, 345×430 mm, www.vwr.com)
 - Möglichkeit, einen eigenen Schüttler zu bauen (Rotationsschüttler)
- **Backofen** mit Luftumwälzung
 - um den Kompost 24 Stunden lang bei 105°C zu trocknen
- **Trichterhalter**: Eigenkonstruktion
- **Präzisionswaage** (Wägebereich 1000 g, Ablesegenauigkeit 0,01 g)
- **RQflex-Reflektometer** (zur Messung von NH₄, NO₂ und NO₃) (www.vwr.com, Artikel-Nr.: 1.16970.0001)





- **pH-Meter**

- **Leitfähigkeitsmessgerät**
(um den Salzgehalt des Komposts zu messen)



2. Benötigte Ausrüstung: Glas- Alu- und Plastikwaren

- **Aluminiumschalen**, um die Trockensubstanz zu bestimmen
 - 10 Schalen à 500 ml

- **1-l-Kunststoffflaschen mit großer Öffnung**, 1000 ml, mit Schraubverschluss
 - 12 Flaschen (ermöglicht die parallele Extraktion von 6 Komposten) (mit zwei Extraktionsmedien)

- **250-ml-Plastikflaschen mit großer Öffnung**, 250 ml, mit Schraubverschluss
 - 12 Flaschen (um die gefilterten Extrakte von 6 Komposten parallel zu sammeln) (mit zwei Extraktionsmedien)

- **Trichter** (Durchmesser 120 mm)
 - 12 Trichter (ermöglicht die parallele Filtration von 6 Komposten) (mit zwei Extraktionsmedien)

- **Pulvertrichter** (Durchmesser 150 mm)
 - 1 Trichter (um den Kompost in die Extraktionsflaschen zu füllen)





- **Messzylinder**, hoch, aus PP, transparent
 - 1 Zylinder mit 1'000 ml
 - 1 Zylinder mit 500 ml
 - 1 Zylinder mit 100 ml

- **Griffin-Becher**, aus PP, durchsichtig
 - 10 Bechergläser à 100 ml, um die Extrakte ggf. zu verdünnen

- **Spritzflaschen**, 500 ml, aus PP, transparent
 - 2 Spritzflaschen à 500 ml

- **Messpipetten**, aus PP oder Glas
 - 10 Pipetten zu je 20 ml
 - 10 Pipetten zu je 2 ml

- **Pipettierball für Pipetten**
 - 1 Pipettierball





3. Benötigte Ausrüstung: Verbrauchsmaterial

- **Leitfähigkeitsstandard**, 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, zum Kalibrieren des Leitfähigkeitsmessers
- **pH-Pufferlösungen**, zum Kalibrieren des pH-Meters
 - pH-Wert 7,00
 - pH-Wert 10,01
- **Filterpapier**, Typ: MN 619 eh1/4, Durchmesser 240 mm
- **Demineralisiertes oder destilliertes Wasser**
- **Calciumchlorid-Dihydrat**, $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ (500 g)
- **RQ-flex Teststreifen für Reflectoquant®** (www.vwr.com)
 - Ammonium: NH_4 0.2-7 ppm (www.vwr.com, Artikelnummer 1.16892.0001)
 - Nitrit: NO_2 0.5-25 ppm (www.vwr.com, Artikelnummer 1.16973.0001)
 - Nitrat: NO_3 5-225 ppm (www.vwr.com, Artikelnummer 1.16971.0001)





4. Bestimmung der Trockensubstanz (TS) von Kompost

Vorbemerkung

Um den Salzgehalt und den Gehalt an mineralischem Stickstoff richtig vergleichen zu können, ist es hilfreich, sich auf das Trockengewicht der Produkte zu beziehen. Dazu muss zuvor der Trockenmassegehalt des Komposts bestimmt werden. TS=Trockensubstanz.

4.1. Bestimmen des Taragewichtes der Aluminiumschale.

- Wiegen Sie die leere Aluminiumschale.
- T = Tara



4.2. Wiegen von frischem Kompost

- Geben Sie etwa 200 g Kompost in die Schale und messen Sie das Gewicht (inklusive Gewicht der Schale).
- FS_m: Frischgewicht



4.3. Trocknen des Komposts

- Trocknen Sie den Kompost im Trockenschrank für ca. 24 Stunden bei 105°C (bis er ein konstantes Gewicht hat).



4.4. Wiegen des trockenen Komposts

- Wiegen Sie den trockenen Kompost einschließlich des Gewichts der Schale.
- TS_m: Trockengewicht



4.5. Ergebnis

- $TS [\% FG] = (TS_m - T) / (FS_m - T) * 100$





5. Herstellung des wässrigen Extrakts, des CaCl_2 -Extrakts und Messung des pH-Werts

Vorbemerkung

Der pH-Wert wird im Extrakt aus CaCl_2 0,01M (10:1) vor der Filtration gemessen. Der Gehalt an Ammonium, Nitrit und Nitrat wird in diesem Extrakt nach der Filtration der Extrakte analysiert. Der Salzgehalt wird im H_2O -Extrakt nach dessen Filtration analysiert. Die Extrakte sollten sofort analysiert werden, aber im schlimmsten Fall können sie einen Tag lang im Kühlschrank (4°C) oder im Gefrierschrank aufbewahrt werden.

5.1. Auszug H_2O

- Füllen Sie 500 ml entmineralisiertes oder destilliertes Wasser in eine 1-Liter-Extraktionsflasche (mit dem Messzylinder).
- Wiegen Sie etwa 50 g Kompost ab. Notieren Sie das genaue Gewicht im Laborprotokoll.
- Geben Sie den Kompost in die Extraktionsflasche.
- Verschließen Sie die Flasche luftdicht und stellen Sie sie auf den Schüttler. Schütteln Sie 60 Minuten lang.



5.2. CaCl_2 -Extrakt 0.01 M

- Mischen Sie 1,47 g $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ pro Liter entmineralisiertes oder destilliertes Wasser (= CaCl_2 -Extraktionsmedium).
- Füllen Sie 500 ml CaCl_2 -Extraktionsmedium in eine 1-Liter-Extraktionsflasche (mit dem Messzylinder).
- Wiegen Sie etwa 50 g Kompost ab. Notieren Sie das genaue Gewicht im Laborprotokoll.
- Geben Sie den Kompost in die Extraktionsflasche.
- Verschließen Sie die Flasche luftdicht und stellen Sie sie auf den Schüttler. Schütteln Sie 60 Minuten lang.



5.3. Bereiten Sie die Filter und Trichter vor, während die Flaschen am Schütteln sind.



5.4. pH-Messung

- Messen Sie den pH-Wert, indem Sie die Elektrode des pH-Meters direkt in CaCl_2 -Extrakt tauchen (vor dem Filtern). Warten Sie, bis der Wert stabil ist, und notieren Sie ihn.



5.5. Filtration

- Gießen Sie die Extrakte vorsichtig in den Filter. Das Filtern kann ziemlich lange dauern (1-2 Stunden). Geben Sie regelmäßig Extrakt in den Filter.





6. Messung des Salz-, NH₄-, NO₂- und NO₃-Gehalts von Kompost

Vorbemerkung

Diese Analysen werden mit den gefilterten Kompostextrakten oder mit Verdünnungen dieser Extrakte durchgeführt. Die Extrakte sollten sofort analysiert werden. Bei Bedarf können sie ein oder zwei Tage im Kühlschrank (bei 4 °C) oder länger im Gefrierschrank aufbewahrt werden.

6.1. Messung des Salzgehalts

- Tauchen Sie die Elektrode des Leitfähigkeitsmessgeräts in das H₂O-Extrakt und notieren Sie den Wert.
- Der gemessene Wert ist in mS/cm des Extrakts (=EC) angegeben. Er muss mit der folgenden Formel in KCl_{eq}/kg TS umgerechnet werden:



$$\text{Salzgehalt (in KCl}_{\text{eq}}/\text{kg TS)} = \text{EC (in mS/cm)}/\text{TS (in \% FS)} \times 583,4$$

6.2. Messung des NH₄-, NO₂- und NO₃-Gehalts mit dem RQ-flex

- Ein Kalibrierungsstreifen wird mit jeder Packung Teststreifen mitgeliefert. Kalibrieren Sie den RQ-flex mit diesem Teststreifen (siehe auch die Gebrauchsanweisung für den RQ-flex). Diese Kalibrierung muss für jeden Test und für jede neue Packung einzeln durchgeführt werden.



6.2.1. Verdünnung von Kompost-Extrakten

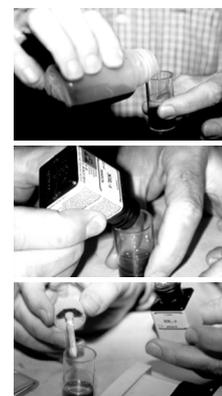
- Ein zu dunkler Extrakt kann die Messungen stören. In diesem Fall, oder wenn der Nährstoffgehalt zu hoch ist (der RQ-flex zeigt in diesem Fall das Ergebnis "hi an"), sollte der Extrakt mit entmineralisiertem oder destilliertem Wasser verdünnt werden (mit Hilfe der Messpipetten).
- 5-fache Verdünnung: 1 Teil Extrakt + 4 Teile Wasser.
- 10-fache Verdünnung: 1 Teil Extrakt + 9 Teile Wasser.

6.2.2. Bestimmung des Ammoniumgehalts (NH₄-N)

- Füllen Sie das Testglas (im Lieferumfang des NH₄-Tests enthalten) bis zum ersten Strich mit dem 0,01M CaCl₂-Extrakt.

Geben Sie 10 Tropfen des NH₄-1-Reagenz in das Testglas und mische es unter leichtem Schütteln. Achtung: Dies ist eine sehr aggressive Chemikalie, die nicht mit der Haut in Berührung kommen darf.

- Geben Sie einen gestrichenen blauen Messlöffel des NH₄-2-Reagenz in das Testglas und mische es unter leichtem Schütteln, bis sich das Reagenz aufgelöst hat.





- Wählen Sie den NH_4 -Test auf dem RQ-flex aus. Überprüfen Sie, ob der Code des RQ-flex-Tests mit dem Kalibrierungsband übereinstimmt. Drücken Sie die Taste "Start". Die Dauer des Tests wird angezeigt. Tauchen Sie den Teststreifen in den Extrakt ein und drücken Sie gleichzeitig ein zweites Mal auf die Taste "Start". Die Testdauer wird heruntergezählt.
- Etwa 30 Sekunden vor Ablauf der Testzeit den Teststreifen gut abtropfen lassen und in die Messzelle einführen (siehe auch RQ-flex Gebrauchsanweisung). Lesen Sie das Ergebnis ab. Notieren Sie sich das Ergebnis sowie die Verdünnung des Extrakts.
- Der vom RQ-flex angezeigte Wert ist in ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ Extrakt angegeben. Um diesen Wert in die Menge an $\text{NH}_4\text{-N}$ pro kg TS Kompost umzurechnen, verwendet man folgende Formel:
 - A = ppm NH_4 Extrakt
 - B = Gewicht des extrahierten Komposts (in g/500 ml)
 - C = Verdünnungsfaktor
 - D = TS des Komposts (in % FS)



$$\underline{\text{mg NH}_4\text{-N / kg TS} = \text{A} : \text{B} \times \text{C} : \text{D} \times 50000 : 1.2879}$$

6.2.3. Bestimmung des Nitritgehalts ($\text{NO}_2\text{-N}$)

- Wählen Sie den NO_2 -Test auf dem RQ-flex aus. Überprüfen Sie, ob der Code auf dem RQ-flex-Test mit dem Kalibrierungsband übereinstimmt. Drücken Sie die Taste "Start". Die Dauer des Tests wird angezeigt. Tauchen Sie den Teststreifen in den Extrakt ein und drücken Sie gleichzeitig ein zweites Mal auf die Taste "Start". Die Testdauer wird heruntergezählt.
- Nach etwa 2 Sekunden den Teststreifen gut abtropfen lassen und in die Messzelle einführen (siehe auch RQ-flex Gebrauchsanweisung). Lesen Sie das Ergebnis ab. Das Ergebnis sowie die Verdünnung des Extrakts notieren.
- Der vom RQ-flex angezeigte Wert ist in ppm $\text{NO}_2\text{-N}$ Extrakt angegeben. Um diesen Wert in die Menge $\text{NO}_2\text{-N}$ pro kg TS Kompost umzurechnen, verwendet man folgende Formel:
 - A= ppm NO_2 Extrakt
 - B= Gewicht des extrahierten Komposts (in g/500 ml)
 - C = Verdünnungsfaktor
 - D= TS des Komposts (in % FS)



$$\underline{\text{mg NO}_2\text{-N / kg TS} = \text{A} : \text{B} \times \text{C} : \text{D} \times 50000 : 3.2844}$$





6.2.3. Bestimmung des Nitratgehalts (NO₃-N)

- Ein Nitritgehalt > 0,5 ppm stört die Nitratmessung. Verdünnen Sie den Extrakt ggf. so, dass der NO₂-Gehalt unter diesem Grenzwert liegt.
- Wählen Sie den NO₃-Test auf dem RQ-flex aus. Überprüfen Sie, ob der Code auf dem RQ-flex-Test mit dem Kalibrierungsband übereinstimmt. Drücken Sie die Taste "Start". Die Dauer des Tests wird angezeigt. Tauchen Sie den Teststreifen in den Extrakt ein und drücken Sie gleichzeitig ein zweites Mal auf die Taste "Start". Die Testdauer wird heruntergezählt.
- Nach etwa 30 Sekunden den Teststreifen gut abtropfen lassen und in die Messzelle einführen (siehe auch RQ-flex Gebrauchsanweisung). Lesen Sie das Ergebnis ab. Das Ergebnis sowie die Verdünnung des Extrakts im Laborjournal festhalten.
- Der vom RQ-flex angezeigte Wert ist in ppm NO₃-N Extrakt angegeben. Um diesen Wert in die Menge NO₃-N pro kg TS Kompost umzurechnen, verwendet man folgende Formel
 - A= ppm NO₃ Extrakt
 - B= Gewicht des extrahierten Komposts (in g/500 ml)
 - C = Verdünnungsfaktor
 - D= TS des Komposts (in % FS)

$$\text{mg NO}_3\text{-N / kg TS} = \frac{A}{B} \times C \times D \times 50000 : 4.4266$$





7. Interpretation der Analysen von NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N

Vorhandensein der Form von N _{min} ¹			Interpretation
NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	
-	-	-	Kein N verfügbar. Zu kohlenstoffreiche Mischung, oder das gesamte NH ₄ -N ist aufgrund von Feuchtigkeitsmangel verloren gegangen. Wenn der Kompost reich an Kohlenstoff ist, besteht das Risiko der Immobilisierung von Stickstoff auf dem und im Feld. Empfehlung: N-reiches Material in die Mischung mischen (Gärreste, Gras, Hühnermist usw.).
+++++	-	-	Junger Kompost (oder Gärgut). Die Nitrifikation hat noch nicht begonnen. Empfehlung: Halten Sie die Mischung ausreichend feucht, um NH ₄ -N-Verluste zu vermeiden und die Nitrifikation zu ermöglichen.
+++++	++	+ / ++	Beginn des Nitrifikationsprozesses. Empfehlung: Halten Sie den ausreichend feuchte Mischung, um NH ₄ -N-Verluste zu vermeiden; stellen Sie sicher, dass die Mischung ständig mit ausreichend Sauerstoff versorgt wird.
+	+++	++ / +++	Der Nitrifikationsprozess schreitet voran. Empfehlung: Achten Sie darauf, dass die Mischung ständig mit ausreichend Sauerstoff versorgt wird.
-	-	++ / +++	Der Nitrifikationsprozess ist abgeschlossen. Empfehlung: Achten Sie darauf, dass die Sauerstoffzufuhr in der Mischung immer ausreichend ist. Der Kompost ist reif und kann verwendet werden
-	+++++	++	Problem durch Sauerstoffmangel. Empfehlung: Verbessern Sie die Belüftung des Kompostes.

¹ -: keine (< 10 mg N / kg TS); +: geringe Menge (10-50 mg N / kg TS); +++: mittlere Menge (50-200 mg N / kg TS); ++++: hohe Menge (> 200 mg N / kg TS).
 Quelle: Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. (Editors) 2016. Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture. BioGreenhouse COST Action FA 1105, www.biogreenhouse.org, 106 pp.





8. Interpretation der Analysen gemäß der schweizerischen "Qualitätsrichtlinie der Branche 2022".

Kriterien	Einsatz im Gartenbau		
	Kompost für den Gartenbau im Freiland	Kompost für Erdenmischungen und den Hobby-Bereich im Freiland	Kompost im gedeckten Gartenbau und für Substratmischungen
TS (Trockensubstanz)	> 50 %	> 55 %	> 55 %
OS (Organische Struktur)	< 50 %	< 40 %	< 40 %
pH-Wert	< 8.2	< 8.0	< 7.8
Siebgrösse	< 25 mm	< 15 mm	< 15 mm
Spezifisches Gewicht	x	x*	x*
Extraktfärbung (Extinktion 1 cm Küvette 550 nm)	< 0.6	< 0.4	< 0.2
Elektrische Leitfähigkeit	< 2 mS/cm	< 1.3 mS/cm	< 1.0 mS/cm
Salzgehalt	< 20 gKCl _{eq} /kg TS	< 13 gKCl _{eq} /kg TS	< 10 gKCl _{eq} /kg TS
Gesamtstickstoff (Gesamt-N)	> 10 g/kg TS	> 12 g/kg TS	> 12 g/kg TS
C/N-Verhältnis	< 25	< 25	< 20
Ammonium-N	< 200 mg/kg TS	< 100 mg/kg TS	< 40 mg/kg TS
Nitrat-N	> 80 mg/kg TS	> 100 mg/kg TS	> 160 mg/kg TS
Nitrit-N	< 20 mg/kg TS	< 20 mg/kg TS	< 10 mg/kg TS
N _{min.} (Ammonium + Nitrat)	> 100 mg/kg TS	> 100 mg/kg TS	> 160 mg/kg TS
Nitrat-N / N _{min.} -Verhältnis (nur wenn N _{min.} > 100 mg/kg TS)	> 0.4	> 0.5	> 0.8
x muss angegeben werden		(x) empfohlen anzugeben	

Die Schweizer "Qualitätsrichtlinie der Branche 2022" kann heruntergeladen werden unter https://www.biophyt.ch/documents/2022_Qualitaetsrichtlinie_d.pdf



Kompostqualität mittels Kressetests bestimmen



Fuchs, J.G., Weidmann, G. 2018

FiBL, CH-Frick

PRAXISTIPP NR. 054 vom Projekt OK-Net Arable

www.ok-net-arable.eu

Kompostqualität mittels Kresstests bestimmen

Problem

Kompost ist ein wertvoller Recyclingdünger, mit dem organische Abfälle in den Produktionsprozess zurückgeführt und die Bodenfruchtbarkeit gefördert werden. Für den Einsatz im Gartenbau und in der Landwirtschaft darf Kompost keine pflanzenschädlichen Stoffe oder Krankheitserreger enthalten. Ein zu junger oder ein unkontrolliert verrotteter oder gelagerter Kompost kann phytotoxische Substanzen enthalten.

Lösung

Mit Hilfe des offenen und des geschlossenen Kresstests kann die Phytotoxizität eines Komposts geprüft werden. Während der offene Kresstest als grober Indikator dient, zeigt der geschlossene Kresstest schon eine geringe Toxizität des Kompostes an, da die Pflanzen auch mit Gasen aus toxischen Verbindungen in Berührung kommen.

Es empfiehlt sich, jeweils beide Tests durchzuführen, da der offene Kresstest nicht immer auf einen pflanzenverträglichen Kompost schliessen lässt.

Vorteile

Die Kresse reagiert sensibel auf Störungen im Substrat. Die Kresstests sind einfach durchzuführen und zu interpretieren und es wird lediglich leicht zu beschaffendes Material benötigt.

Vorgehen

- **Offener Kresstest:** Füllen Sie einen Topf von zirka 10 cm Durchmesser mit kommerziellem Universalsubstrat und einen zweiten Topf mit dem zu untersuchenden Kompost.
- **Geschlossener Kresstest:** Füllen Sie ein verschliessbares, transparentes Glas- oder Kunststoffgefäss halbvoll mit kommerziellem Universalsubstrat und ein zweites Gefäss mit dem Kompost.
- Säen Sie pro Gefäss zirka 1 g Kresse und geben Sie ein wenig Wasser hinzu. Verschliessen Sie die Gefässe des geschlossenen Kresstests luftdicht. Stellen Sie die Töpfe dann an einen hellen Ort mit Zimmertemperatur (z.B. auf die Fensterbank).
- Vergleichen Sie nach 5 Tagen das Pflanzenwachstum in den beiden Töpfen.



Links: Offener Kresstest. Die schlecht entwickelte Kresse in den Töpfen der unteren Reihe deutet auf einen Kompost mit phytotoxischer Wirkung hin. Rechts: Geschlossener Kresstest. Der Kompost im rechten Gefäss wirkt phytotoxisch. (Fotos: Jacques Fuchs, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick)

Checkliste für die Umsetzung

Thema

Bodenqualität und -fruchtbarkeit, Nährstoffverfügbarkeit, Schädlings- und Krankheitsregulierung, Unkrautregulierung

Geographischer Anwendungsbereich

Wo Kompost zur Verfügung steht

Anwendungszeitpunkt

Vor der Anwendung des Kompostes

Erforderlicher Zeitaufwand

1 Stunde / 5 Tage

Wirkungsdauer

Mit Kompost gedüngte Kulturen

Erforderliche Geräte

Zwei Gefässe, Kressesamen

Idealer Einsatz

Bei selber hergestelltem oder bei erworbenem Kompost von fraglicher Qualität

Auswerten des Kresstests

1. Offener Kresstest (wenig empfindlich)

Ist die Pflanzenmasse im fraglichen Topf nach 5 Tagen weniger als halb so gross wie diejenige im Topf mit der Gartenerde, so ist der untersuchte Kompost phytotoxisch. Handelt es sich um jungen Kompost, sollte dieser nochmals umgesetzt und reifen gelassen werden. Handelt es sich um einen reifen Kompost, sollte dieser einem neuen Kompost beigemischt werden, damit die pflanzenschädlichen Substanzen abgebaut werden. Der Kompost sollte bei der Rotte mindestens 70 °C erreichen.

2. Geschlossener Kresstest (sehr empfindlich)

Wenn die Wurzeln der Kresse im komposthaltigen Gefäss nach 5 Tagen mindestens 70 % der Länge der Kresse in der Gartenerde aufweisen, kann der Kompost sowohl als Düngemittel für den Acker- und Gemüsebau, als auch bedenkenlos als Substrat für Jungpflanzen und Töpfe verwendet werden.

Teilen der Ergebnisse

Nutzen Sie die Kommentarfunktion auf der [Organic Farm Knowledge-Plattform](#), um Ihre Erfahrungen mit anderen Praktikern, Beratern und Forschern zu teilen! Wenn Sie Fragen zur Methode haben, wenden Sie sich bitte per E-Mail an die Kontaktperson.



Weiterführende Informationen

Links

- Unter www.biophyt.ch stehen umfassende Informationen zur Herstellung von hochwertigem Kompost in deutscher, französischer und englischer Sprache zur Verfügung.

Über dieses Practice Abstract und das OK-Net Arable-Projekt

Herausgeber:

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Schweiz
Ackerstrasse 113, Postfach 219, CH-5070 Frick
Tel. +41 62 865 72 72, info.suisse@fibl.org, www.fibl.org
IFOAM EU, Rue du Commerce 124, BE-1000 Brussels
Tel. +32 2 280 12 23, info@ifoam-eu.org, www.ifoam-eu.org

Autoren: Jacques Fuchs, Gilles Weidmann (FiBL)

Kontakt: jacques.fuchs@fibl.org

Permalink: [Orgprints.org/35343](https://orgprints.org/35343)

OK-Net Arable: Dieses Practice Abstract wurde im Rahmen des Organic Knowledge Network Arable-Projekts erarbeitet. OK-Net Arable fördert den Austausch von Wissen unter den Bauern, landwirtschaftlichen Beratern und Wissenschaftlern mit dem Ziel, die Produktivität und Produktequalität

im ökologischen Ackerbau in Europa zu erhöhen. Das Projekt läuft von März 2015 bis Februar 2018.

Projektwebsite: www.ok-net-arable.eu

Projektpartner: IFOAM EU Group (Projektkoordination), BE; Organic Research Centre, UK; Bioland Beratung GmbH, DE; Aarhus University (ICROFS), DK; Associazione Italiana, per l'Agricoltura Biologica (AIAB), IT; European Forum for Agricultural and Rural Advisory Services (EUFRAS); Centro Internazionale di Studi Agronomici Mediterranei - Istituto Agronomico Mediterraneo Di Bari (IAMMB), IT; FiBL Projekte GmbH, DE; FiBL Österreich, AT; FiBL Schweiz, CH; Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet (ÖMKI), HU; Con Marche Bio, IT; Estonian Organic Farming Foundation, EE; BioForum Vlaanderen, BE; Institut Technique de l'Agriculture Biologique, FR; SEGES, DK; Bioselena, Bulgaria

© 2018

