



D3.1. Leitlinien für Endverbraucher von Düngemitteln



Informationsblatt für die Lieferung

Version	FINAL
Nummer Finanzhilfevereinbarung	der 101060426
Projekt-Akronym	FER-PLAY
Titel des Projekts	Multibewertung von Kreislaufdüngern zur Förderung lokaler nachhaltiger Wertschöpfungsketten und sauberer Ökosysteme
Projektauftrag	HORIZON-CLD-2021-ZEROPOLLUTION-01
Projektdauer	September 2022 - Februar 2025 (30 Monate)
Lieferbare Nummer	3.1
Lieferbarer Titel	Leitlinien für Endnutzer
Lieferbar Typ	Bericht
Deliverable Verbreitungsgrad	PU - Öffentlich
Arbeitspaket	WP3
Autoren	Naturland: Ramona Kinder, Werner Vogt-Kaute Coldiretti: Partick Prociuc
Mitwirkende Partner	CIC, NuReSys. EBA
Rezensenten	CETENMA, CIC
Fälligkeitsdatum	30. September 2024
Liefertermin	30. September 2024
Dokument Geschichte	Entwurf 1 wird am 16. August 2024 mit den WP-Leitern geteilt Entwurf 2 wird dem Koordinator am 6. September 2024 mitgeteilt Entwurf der 3. Tranche mit dem Koordinator am 19. September 2024 Übermittlung der endgültigen Fassung an den Koordinator am 30. September 2024

Liste der Tabellen

Tabelle 1.	Nährstoffgehalt des Federmeihls in Trockenmasse	14
Tabelle 2.	Empfehlungen für die Verwendung von Federmehl (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften).....	15
Tabelle 3.	Schwellenwerte für Krankheitserreger für Federmehl	17
Tabelle 4.	Schwellenwerte für Kontaminanten für Federmehl	18
Tabelle 5.	Nährstoffgehalt von Struvit ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).....	19
Tabelle 6.	Empfehlungen für die Anwendung von Struvit (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften) 19	
Tabelle 7.	Schwellenwerte für Krankheitserreger für Struvit	23
Tabelle 8.	Nährstoffgehalt in Bioabfallkompost in Trockenmasse (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et al, 2014).....	24
Tabelle 9.	Empfehlungen für die Anwendung von Bioabfallkompost (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften).....	25
Tabelle 10.	Schwellenwert für Krankheitserreger für Bioabfallkompost	30
Tabelle 11.	Schwellenwert für Schadstoffe für Bioabfallkompost	30
Tabelle 12.	Durchschnittlicher Nährstoffgehalt des stabilisierten Schlammes in der Trockenmasse	32
Tabelle 13.	Empfehlungen für die Ausbringung von stabilisiertem Schlamm (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)	32
Tabelle 14.	Schwellenwerte für Schadstoffe (mg/kg Trockenmasse) bei stabilisiertem Klärschlamm 37	
Tabelle 15.	Nährstoffgehalte in der Feststofffraktion von Gärresten in Trockenmasse (Bundesgütegemeinschaft, 2018)	39
Tabelle 16.	Empfehlungen für die Verwendung der Feststofffraktion von Gärresten (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)	40
Tabelle 17.	Nährstoffgehalte in verbrauchten Pilzsubstraten in Trockenmasse (Möller et al, 2014)	45

Tabelle 18. Empfehlungen (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften) für verbrauchte Pilzsubstrate	46
Tabelle 19. Schwellenwerte für Krankheitserreger für verbrauchte Pilzsubstrate	50
Tabelle 20. Schwellenwert für Kontaminanten bei verbrauchten Pilzsubstraten	50

Liste der Abbildungen

Abbildung 1 FER-PLAY's Auswahl der sieben vielversprechendsten Kreislaufdünger-Wertschöpfungsketten in der Europäischen Union	13
Abbildung 2Federmehlpellets und Federmehl (Beckmann & Brehm)	16
Abbildung 3 Flussdiagramm Federmehl	16
Abbildung 4 Struvitkörnchen (Else Bünemann, FIBL)	21
Abbildung 5 Flussdiagramm Struvit	22
Abbildung 6 Ausbringung von Kompost (Foto vom CIC)	26
Abbildung 7 Flussdiagramm Bioabfallkompost	28
Abbildung 8 Wenden von Komposthaufen und Kompostanlage der Stadt Wien (Hartl, 2014)	28
Abbildung 9 Ausbringung von stabilisiertem Klärschlamm	33
Abbildung 10 Stabilisierter Schlamm nach dem Pressen (Bundesarchiv)	35
Abbildung 11 Flussdiagramm Stabilisierter Klärschlamm aus kommunalem Abwasser	36

Abbildung 12 Flussdiagramm Feststofffraktion von Gärresten aus Lebensmittelabfällen	
	43
Abbildung 13Biogasanlage mit Technikraum, Silos, Gärbehälter, Endlager und Gasspeicher (links) und Abscheider für die Feststofffraktion (rechts; E. Räder)	43
Abbildung 14 Produktionsschema für das verbrauchte Pilzsubstrat	
	47
Abbildung 15Zeitleiste von der Anlieferung der Rohstoffe bis zur Rücklieferung des verbrauchten Pilzsubstrats	48
Abbildung 16 Flussdiagramm: Verbrauchtes Pilzsubstrat	
	49

Stichwortliste

Leitlinien
 Empfehlungen
 Endverbraucher von Düngemitteln
 Kreisförmige Düngemittel
 Ressourceneffizienz
 Kreislaufwirtschaftliche Wertschöpfungsketten für Düngemittel
 Landwirtschaft, Lebenszyklusanalyse
 Klärschlamm
 Bioabfall
 Organische Nebenerzeugnisse
 Abwasser
 Verbrauchtes Pilzsubstrat
 Kompost
 Digestat
 Federmehl
 Abwasser

Haftungsausschluss

Dieses Dokument gibt die Meinung der Verfasser wieder und spiegelt nicht unbedingt die Ansichten oder die Politik der Europäischen Kommission wider. Obwohl alle Anstrengungen unternommen wurden, um die Richtigkeit und Vollständigkeit dieses Dokuments zu

gewährleisten, haftet die Europäische Kommission weder für die Verwendung der darin enthaltenen Informationen noch für etwaige Fehler oder Auslassungen, wie auch immer diese entstanden sein mögen. Dieses Dokument wurde unter der [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#) erstellt.

Inhaltsübersicht

Informationsblatt für die Lieferung	1
Liste der Tabellen	2
Liste der Abbildungen	3
Stichwortliste	4
Haftungsausschluss	4
1. Zusammenfassung	9
2. Einführung	11
3. Empfehlungen	14
3.1. Federmehl	14
3.1.1. Empfehlungen für die Verwendung	14
3.1.2. Verbesserung des Bodens.....	15
3.1.3. Technische Fakten	15
3.1.3.1. Produktionsprozess	15
3.1.3.2. Marktbezogene Aspekte	17
3.1.3.3. Regulatorische Analyse	17
3.1.4. Referenzen	18
3.2. Struvit aus kommunalen und industriellen Abwässern	19
3.2.1. Empfehlungen für die Verwendung	19
3.2.2. Verbesserung des Bodens.....	20
3.2.3. Technische Fakten	20
3.2.3.1. Produktionsprozess	20

3.2.3.2. Marktbezogene Aspekte	22
3.2.3.3. Regulatorische Analyse	23
3.2.4. Referenzen	23
3.3. Kompostierter Bioabfall	24
3.3.1. Empfehlungen für die Verwendung	24
3.3.2. Verbesserung des Bodens.....	26
3.3.3. Technische Fakten	27
3.3.3.1. Produktionsprozess	27
3.3.3.2. Marktbezogene Aspekte	29
3.3.3.3. Regulatorische Analyse	29
3.3.4. Referenzen	31
3.4. Stabilisierter Klärschlamm.....	31
3.4.1. Empfehlungen für die Verwendung	31
3.4.2. Verbesserung des Bodens.....	33
3.4.3. Technische Fakten	33
3.4.3.1. Produktionsprozess	33
3.4.3.2. Marktbezogene Aspekte	36
3.4.3.3. Regulatorische Analyse	36
3.4.4. Referenzen	37
3.5. Feste Fraktion des Gärrestes	38
3.5.1. Empfehlung für die Verwendung	38
3.5.2. Verbesserung des Bodens.....	40
3.5.3. Technische Fakten	41
3.5.3.1. Produktionsprozess	41

3.5.3.2. Marktbezogene Aspekte	43
3.5.3.3. Regulatorische Analysen	43
3.5.4. Referenzen	44
3.6. Verbrauchtes Pilzsubstrat (Champost)	45
3.6.1. Empfehlung für die Verwendung	45
3.6.2. Verbesserung des Bodens	46
3.6.3. Technische Aspekte	46
3.6.3.1. Produktionsprozess	46
3.6.3.2. Marktbezogene Aspekte	49
3.6.3.3. Regulatorische Analyse	50
3.6.4. Referenzen:	51
4. Schlussfolgerungen	52

1. Kurzfassung

In den letzten zehn Jahren sind neue alternative Wertschöpfungsketten für Kreislaufdünger entstanden, die vielversprechende Optionen für den Ersatz konventioneller Düngemittel darstellen. [FER-PLAY](#) kartierte achtundvierzig Wertschöpfungsketten von Sekundärrohstoffen und wählte dann die sieben vielversprechendsten auf der Grundlage einer vom Projekt entwickelten Methodik aus. Weitere Einzelheiten zu diesem Prozess finden Sie unter D1.2 "**Bericht über die Auswahl von Wertschöpfungsketten für Kreislaufdünger**". Schließlich wurden die folgenden sieben Wertschöpfungsketten bewertet: Struvit aus kommunalen Abwässern, Struvit aus Industrieabwässern, stabilisierter Klärschlamm, kompostierter Bioabfall, Federmehl, feste Fraktion von Gärresten, verbrauchtes Pilzsubstrat. Weitere Informationen finden Sie unter www.fer-play.eu.

Diese Leitlinien enthalten Informationen für Endverbraucher über diese ausgewählten Düngemittel, Empfehlungen für die Anwendung, Auswirkungen auf den Boden, die Herstellung des Düngemittels, rechtliche Fragen und Literatur. Die Leitlinien helfen den Landwirten bei der Entscheidung, welcher Kreislaufdünger unter bestimmten Bedingungen und für welche Kulturen verwendet werden kann.

Die ausgewählten Düngemittel sind in ihrer Wirkung unterschiedlich. Neue Kreislaufdünger können den Landwirten mehrere Vorteile bieten, z. B. Nährstoffe und Kohlenstoff für die Nährstoffversorgung und Bodenverbesserung. Die Empfehlungen sind auf die verschiedenen Kulturarten (Getreide, Leguminosen, Gemüse, Wein- und Obstbau) zugeschnitten. Neben den EU-Rechtsvorschriften und der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) sind möglicherweise auch nationale und regionale Vorschriften zu beachten, die den Einsatz all dieser Düngemittel einschränken können.

Die wichtigsten Ergebnisse dieses Dokuments sind:

- Das Angebot an verschiedenen Kreislaufdüngern bietet gute Optionen für die unterschiedlichen Bedürfnisse einer nachhaltigen Landwirtschaft.
- Struvit bietet die Möglichkeit der Rückgewinnung von Phosphor, dem limitierendsten Nährstoff in der Landwirtschaft, da die Quellen für Rohphosphat nicht unbegrenzt sind und häufig kontaminiert sind.
- Federmehl bietet organischen Stickstoff mit nicht zu viel Phosphor, was für Gemüse- und Obstbauern ein wichtiger Aspekt sein kann.
- Stabilisierte Schlämme liefern Makro- und Mikronährstoffe, die in der Regel relativ schnell freigesetzt werden.
- Mit einem hohen und stabilen Kohlenstoffgehalt sind kompostierte Bioabfälle und verbrauchtes Pilzsubstrat die typischen "Bodenverbesserer". Aber auch die anderen

Nährstoffe sollten nicht unterschätzt werden, da sie nicht teuer sind und recht gut verfügbar sind.

- Die feste Fraktion der Gärreste liefert sowohl schnell verfügbaren Stickstoff als auch etwas stabilen Kohlenstoff.

2. Einführung

[FER-PLAY](#) ist ein Projekt im Rahmen von Horizont Europa, das die Einführung von Kreislaufdüngern fördert, um Ökosysteme zu schützen, die Abhängigkeit der EU von Düngerimporten zu verringern, die Kreislaufwirtschaft zu fördern und die Bodengesundheit zu verbessern. Im Rahmen des Projekts wurden Kreislaufdünger aus Sekundärrohstoffen wie Gülle kartiert und bewertet und ihre vielfältigen Vorteile hervorgehoben, um ihre Produktion und Verwendung auf dem Feld in großem Maßstab zu fördern.

Zu diesem Zweck hat FER-PLAY eine wichtige Anstrengung unternommen, um die verschiedenen Perspektiven der drei Interessengruppen zu verstehen: Endverbraucher, Düngemittelhersteller und öffentliche Verwaltung, um deren Hauptanliegen in spezifischen Leitlinien für jede Zielgruppe zu behandeln. Die Leitlinien sind im Ressourcenbereich der Projektwebsite und auf [Zenodo](#) verfügbar. Bei ihrer Ausarbeitung wurden die Ergebnisse der themenübergreifenden Bewertung der Auswirkungen und Chancen auf wirtschaftlicher, regulatorischer, sozialer und ökologischer Ebene berücksichtigt, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurde und deren Ergebnisse in [D2.2 "Multi-assessment of impacts, trade-offs and framework conditions"](#) verfügbar sind. Zu diesem Zweck wurde ein spezielles Arbeitspaket für diese Diskussionen eingerichtet, wobei der am besten geeignete Ansatz darin bestand, den Prinzipien der Ko-Kreation zu folgen, d.h. Wissen systematisch zu teilen, zu mobilisieren und zu aktivieren .¹

Die Erfahrungen der Mitglieder des FER-PLAY-Konsortiums und das durch diese Aktivitäten gesammelte Feedback führten zur Ausarbeitung einer Reihe von Leitlinien (enthalten in D3.1, D3.2 und D3.3), die eine Antwort auf die Fragen geben sollen, die am häufigsten von den Herstellern von Kreislaufdüngern, den Endverbrauchern und den öffentlichen Verwaltungen gestellt werden. Die Empfehlungen des Leitfadens für Endverbraucher basieren auch auf den Ergebnissen des Dialogs und der Zusammenarbeit mit den Landwirten in Italien, Spanien, Belgien und Deutschland.

In diesem Dokument werden Anwendungsempfehlungen, Auswirkungen der Bodenverbesserung, Informationen über das Produkt und rechtliche Fragen dargelegt. Die dargestellten Informationen beruhen auf traditionellem Wissen, neuen Forschungsergebnissen und Veröffentlichungen für Landwirte. Für einige der neuen Düngemittel liegen nur wenige detaillierte Informationen über die Anwendungsempfehlungen vor. Daher wurden einige neue

¹ Triste, L. September 2018. Communities of Practice für die gemeinsame Schaffung von Wissen über nachhaltige Milchwirtschaft.

Empfehlungen auf der Grundlage der Empfehlungen für andere Düngemittel entwickelt. Bei den Literaturangaben handelt es sich in den meisten Fällen um Veröffentlichungen für Landwirte.

Die Landwirte wissen oft nicht genug über neue Kreislaufdünger. Viele Landwirte haben zum Beispiel noch nicht gehört, dass Struvit eine neue interessante Alternative zu Mineraldüngern und Rohphosphat ist. Dieser Mangel an Wissen führt zu mangelndem Vertrauen und negativen Vorurteilen. Kreislaufdünger können jedoch verschiedene Vorteile bieten: Bereitstellung von Nährstoffen mit relativ schneller bis langsamer Freisetzung und/oder Erhöhung des Kohlenstoffgehalts, wenn sie ein hohes C:N-Verhältnis aufweisen. Kreislaufdünger sind auf dem lokalen und internationalen Markt noch nicht weit verbreitet, aber die Nachfrage wird voraussichtlich steigen, so dass es sich lohnt, mehr Kapazitäten für die Produktion und Vermarktung aufzubauen, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Logistik einiger Düngemittel, wie Kompost, über weite Strecken wirtschaftlich nicht rentabel ist, während andere, wie Struvit, eine hohe Nährstoffdichte aufweisen und für größere Märkte geeignet sind.

Diese Sammlung von Empfehlungen hat das Ziel, Wissenslücken über Kreislaufdünger zu verringern. Besseres Wissen hilft, Vorurteile abzubauen und erhöht das Interesse. Die Empfehlungen versuchen, den optimalen Einsatz der ausgewählten Kreislaufdünger aufzuzeigen.

Die meisten der neuen Kreislaufdünger sind im ökologischen Landbau zugelassen und bieten den Biobauern die Möglichkeit, negative Nährstoffbilanzen (insbesondere Phosphor) für eine nachhaltige Produktion auszugleichen.

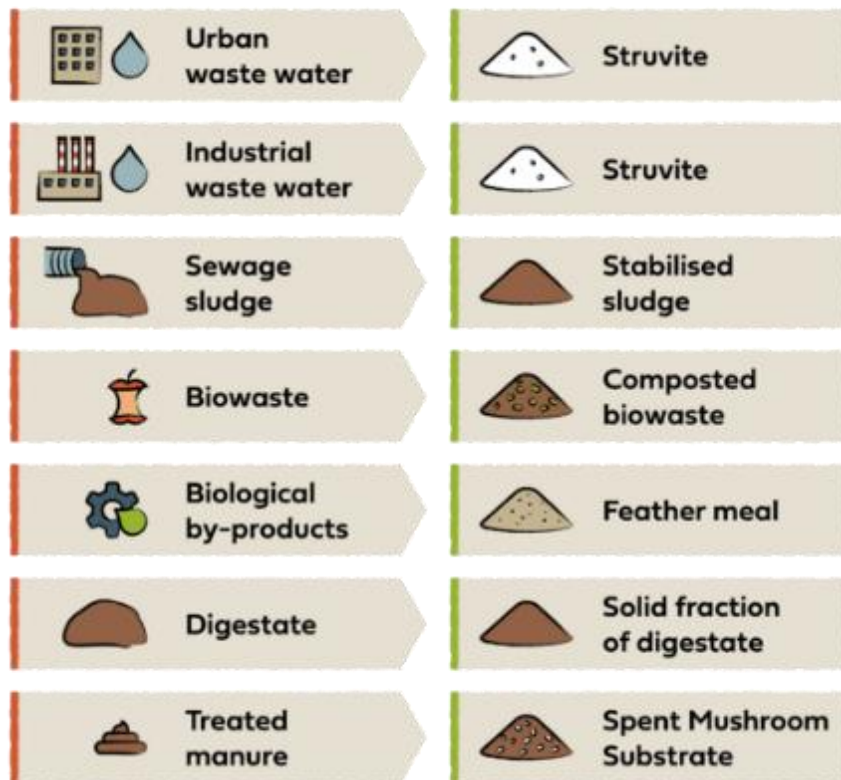


Figure 1. FER-PLAY's Auswahl der sieben vielversprechendsten Kreislaufdünger-Wertschöpfungsketten in der Europäischen Union

3. Empfehlungen

3.1. Federmehl

3.1.1. Empfehlungen für die Verwendung

Federmehl enthält einen hohen Anteil an Stickstoff und einen geringen Anteil an Kohlenstoff. Es ist anderen Düngemitteln aus tierischen Nebenprodukten wie Knochenmehl oder Blutmehl ähnlich. Arbeiten Sie es nach der Ausbringung leicht in die oberste Bodenschicht ein. Unter normalen Vegetationsbedingungen setzt die Wirkung von Stickstoff nach einigen Tagen ein und ist nach 6 bis 8 Wochen deutlich zu sehen. Die Wirkung von Stickstoff ist für einen organischen Dünger relativ schnell und nicht von langer Dauer. Es kann davon ausgegangen werden, dass 75-80 % des Stickstoffs nach einem Jahr abgebaut sind. Bei direktem Kontakt mit den Pflanzen sind Verbrennungen zu befürchten, die durch Mischen mit anderen Düngemitteln oder Einarbeitung in den Boden vermieden werden können.

Aufgrund des höheren Preises wird das Federmehl in der Regel nicht für Getreide, sondern für Gemüse und Obst verwendet.

Table 1. Nährstoffgehalt von Federmehl in der Trockenmasse

Nährstoff	Mittlerer Wert
Trockenmasse	95%
pH-Wert	5,5
Organisches Material	92 %
C org	40 %
N	14 %
C:N	3,1
P	0,4 %
K	1,6%
Ca	0,9 %
Mg	0,18 %
S	1,7 %

Nährstoff	Mittlerer Wert
Fe	520 mg/kg
Mn	21 mg/kg
Zn	195 mg/kg
Cu	15 mg/kg
B	< 10 mg/kg
Mo	< 1 mg/kg

Federmehl ist in 25 kg Säcken und 1000 kg Big Bags erhältlich. An einem kühlen, trockenen und vor Sonnenlicht geschützten Ort lagern. Nicht mit Futtermitteln mischen und den Kontakt mit Tieren vermeiden. Wasserverschmutzung muss vermieden werden. Die Pellets können mit einem normalen Düngerstreuer ausgebracht werden.

Table 2. Empfehlungen für die Verwendung von Federmehl (bitte prüfen Sie die regionalen Vorschriften)

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	30 - 80 kg/N ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Februar - Mai
Hülsenfrüchte	-	-
Gemüse	N-Bedarf je nach Kultur und Bodenanalyse	Feb - Sep
Obstgärten Weinberge	und N-Bedarf je nach Kultur und Bodenanalyse	Januar - Mai

3.1.2. Verbesserung des Bodens

Als organischer Dünger aktiviert Federmehl das Bodenleben, verbessert die Bodenstruktur und das Wasserhaltevermögen. Die Wirkung zur Verbesserung des Kohlenstoffgehalts im Boden ist geringer als bei Düngemitteln mit einem hohen C:N-Verhältnis wie Kompost.

3.1.3. Technische Fakten

3.1.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Bei der Schlachtung von Geflügel werden die anfallenden Federn und die daran haftenden Haut- und Kotreste sowie andere Verschmutzungen gesammelt, pasteurisiert, getrocknet, zerkleinert und gegebenenfalls hydrolysiert. Sie können zu Pellets oder Granulat verarbeitet werden. Federmehl wird entweder als Einzeldünger oder als Mehrnährstoffdünger in einer Mischung mit

anderen Düngemitteln (z. B. Vinasse, Rapsschrot, Kakaoschalen) verwendet, z. B. Bioilsa. Die Hydrolysate werden auch als Tierfutter verwendet.



Figure 2. Federmehlpellets und Federmehl (Beckmann & Brehm)

Feather meal

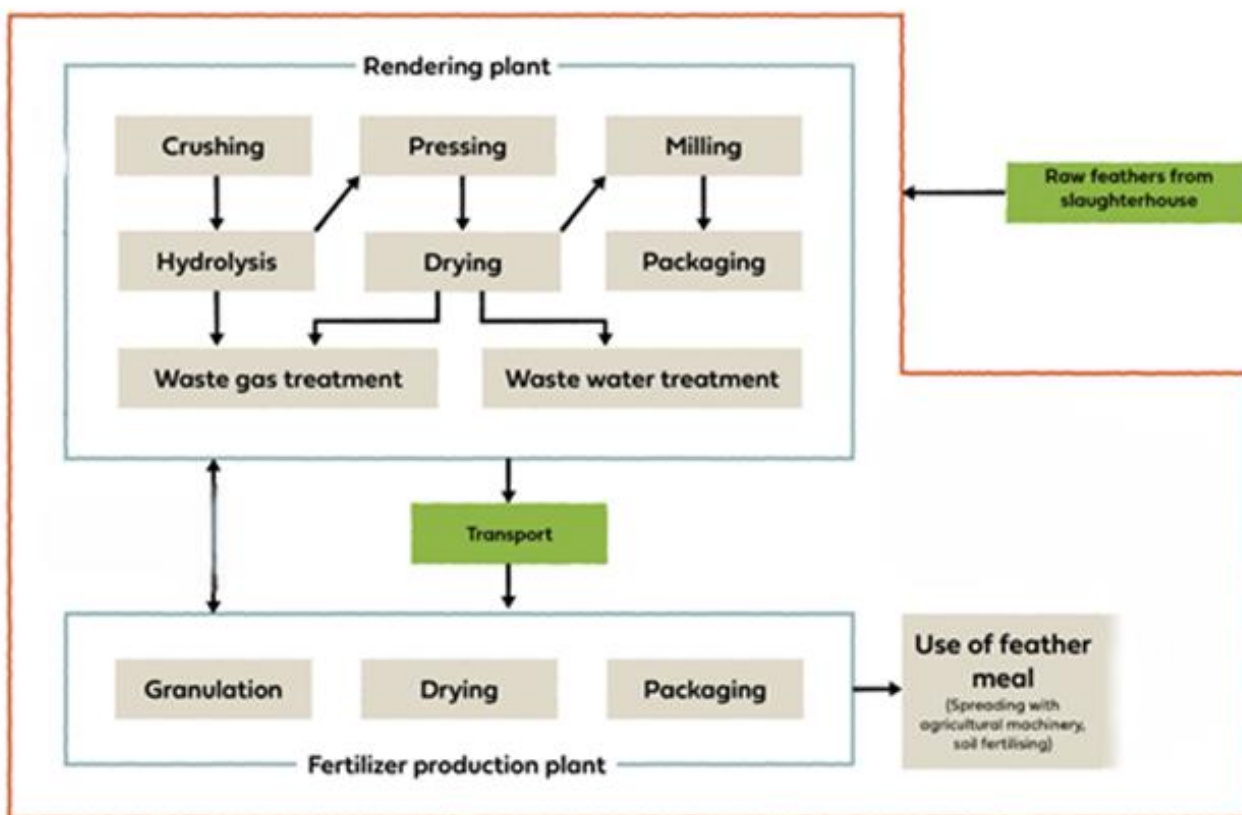


Figure 3. Flussdiagramm Federmehl

3.1.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

Federmehl ist ein Nebenprodukt des Schlachtens wie Knochenmehl, Fleischmehl, Blutmehl, Hornmehl und Haarmehl, die in ähnlicher Weise verwendet werden. Die Preise sind höher als bei einigen synthetischen Düngemitteln. Daher wird Federmehl im ökologischen Landbau relativ häufig verwendet, vor allem im Garten- und Obstbau. Die Verwendung von tierischen Nebenprodukten kann mit der Verwendung als Futtermittel konkurrieren, die dem Erzeuger einen höheren Preis bieten kann. Die Mengen sind begrenzt, können aber ein wichtiger Bestandteil einer Strategie sein, die Kreislaufdünger einsetzt, da der Stickstoff recht schnell freigesetzt wird. Die Produktion hängt von den Mengen der Geflügelproduktion ab. Die Transportkosten sind kein wichtiger Preisfaktor, so dass Federmehl in jeder Region verfügbar sein sollte.

3.1.3.3. REGULATORISCHE ANALYSE

Gemäß der "VERORDNUNG (EU) 2019/1009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019" wird Federmehl in die Produktkategorie 1A 1 "Fester organischer Bodendünger" eingestuft.

Gemäß der oben genannten Verordnung darf ein EU-Düngemittel nur aus Bestandteilen bestehen, die den Anforderungen einer oder mehrerer der in diesem Anhang aufgeführten Kategorien von Inhaltsstoffen (CMC) entsprechen. Federmehl in Form von hydrolisierten Proteinen ist in der EU zugelassen und wird hier unter CMC 10 "Folgeprodukte im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009" (bestimmte Folgeprodukte aus tierischen Nebenprodukten) eingeordnet.

Es gibt Spezifikationen für Höchstwerte von Schwermetallen und Krankheitserregern.

Die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthaltenen Krankheitserreger dürfen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte nicht überschreiten:

Table 3. Schwellenwerte für Krankheitserreger bei Federmehl

Krankheitserreger	Schwellenwert
Salmonella spp.	Kein Befund in 25 g oder 25 ml
Escherichia coli oder Enterococcaceae	1000 in 1 g oder 1 ml

Die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthaltenen Schadstoffe dürfen die folgenden Grenzwerte nicht überschreiten:

Table 4. Schwellenwerte für Kontaminanten bei Federmehl

Schadstoff	Schwellenwert
Kadmium (Cd)	2 mg/kg Trockensubstanz
Chrom VI (Cr VI)	2 mg/kg Trockensubstanz
Quecksilber (Hg)	1 mg/kg Trockenmasse
Nickel (Ni)	50 mg/kg Trockensubstanz
Blei (Pb)	120 mg/kg Trockensubstanz
Anorganisches Arsen (As)	40 mg/kg Trockensubstanz
Kupfer (Cu)	300 mg/kg Trockensubstanz
Zink (Zn)	300 mg/kg Trockensubstanz

Biuret (C₂H₅N₃O₂) darf nicht in einem organischen Düngemittel enthalten sein. Chrom VI darf nicht nachweisbar sein. Federmehl darf nicht auf essbare Pflanzenteile ausgebracht werden. Es können auch nationale Vorschriften gelten.

Federmehl ist im ökologischen Landbau erlaubt, aber Biobetriebe dürfen nicht mehr als 170 kg Stickstoff ausbringen (EU 2018/448).

Zusätzlich zu den EU-Rechtsvorschriften und der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) müssen möglicherweise nationale und regionale Vorschriften beachtet werden, z. B. Bioabfallverordnungen, Düngemittelverordnungen, Verordnungen zur Verbringung von Wirtschaftsdünger und Vorschriften in Wasserschutzgebieten oder Gebieten mit anderem Schutzstatus. Diese Verordnungen können auch vorübergehende Beschränkungen für die Ausbringung von Düngemitteln enthalten, z. B. im Winter. Es kann sein, dass die Ausbringung des Substrats gemäß diesen Verordnungen bei der zuständigen Behörde gemeldet werden muss.

3.1.4. Referenzen

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organische Handelsdünger im ökologischen Landbau, S.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

VERORDNUNG EU 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

VERORDNUNG EU 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Düngemittelverordnung: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, § 3 Abs. 5 in Verbindung mit Anhang 3

Beckmann & Brehm , <https://www.beckhorn.de/produkt/federmehl-pellets/> , aufgerufen am 18.05.2024

3.2. Struvit aus kommunalen und industriellen Abwässern

3.2.1. Empfehlungen für die Verwendung

Struvit kann bei allen Kulturen eingesetzt werden, da alle Kulturen Phosphor (P) benötigen. Es ist eine sehr gute Alternative zu Rohphosphat.

Die Freisetzung von Phosphor ist gering, aber kontinuierlich, wenn er durch die Wurzelexsudate oder in sauren Böden gelöst wird. Im Gegensatz zu Rohphosphat wird es auch in alkalischen Böden verfügbar (RELACS, 2021).

Da Struvit P nur langsam freisetzt, wird eine Ausbringung vor oder bei der Aussaat empfohlen. Struvit muss nach der Ausbringung in den Boden eingearbeitet werden. Der Einsatz von Struvit in Reihen ist ebenfalls möglich (Bünemann, 2022).

Table 5. Nährstoffgehalt von Struvit (NH₄MgPO₄·6H₂O)

Nährstoff	Mittlerer Wert
N	5 %
P ₂ O ₅	28 %
Mg	10 %
K ₂ O	< 1%

Struvit enthält im Gegensatz zu Rohphosphat kein Cadmium.

Struvit ist als Granulat mit einem Durchmesser von etwa 1 bis 3 mm formuliert, so dass es in normalen Landmaschinen verwendet werden kann. Unter trockenen Bedingungen lagern.

Table 6. Empfehlungen für die Anwendung von Struvit (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	70 - 100 kg/ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Das ganze Jahr

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Hülsenfrüchte	70 - 100 kg/ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Das ganze Jahr
Gemüse	70 - 100 kg/ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Das ganze Jahr
Obstgärten und Weinberge	70 - 100 kg/ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Das ganze Jahr

Die maximal auszubringende Menge entspricht dem erwarteten P-Entzug der Kultur. Die empfohlenen Dosierungen sind ähnlich wie bei anderen P-Düngern.

Struvit kann mit anderen festen Düngemitteln gemischt oder in einer sauren Lösung aufgelöst werden.

Struvit hat mehrere Vorteile, insbesondere im Vergleich zum nicht erneuerbaren Rohphosphat:

Struvit führt dem Kreislauf kein neues P zu, da es aus dem Recycling stammt. Die Vorkommen von Rohphosphat sind begrenzt.

Der Boden ist nicht mit Cadmium, radioaktiven Mineralien und anderen Schadstoffen belastet.

Auch in alkalischen Böden erfolgt eine kontinuierliche Freisetzung.

Struvite lässt sich mit den vorhandenen Landmaschinen leicht ausbringen.

3.2.2. Verbesserung des Bodens

Phosphor ist ein wichtiger Mineralstoff für den Boden und die Pflanzen. Eine ausreichende Versorgung ist für das Pflanzenwachstum und das Bodenleben notwendig.

3.2.3. Technische Fakten

3.2.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Struvit ist Magnesium-Ammonium-Phosphat mit der chemischen Formel $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. In Industrieabwässern kann es auch andere Mineralien wie Kalium enthalten, die das $\text{NH}_4\text{-N}$ ersetzen. Struvit entsteht durch die Ausfällung von Abwasser. Die Struvitkristallisation erfolgt sowohl bei kommunalem als auch bei industriellem Abwasser meist durch einen anaeroben Faulungsprozess. Bei der Behandlung von kommunalem Abwasser besteht das Konzept darin, das lösliche Phosphat innerhalb der mikrobiellen Masse in der Wasserleitung zu konzentrieren. Der Belebtschlamm wird zusammen mit dem Primärschlamm in einen anaeroben Faulbehälter geleitet. Während der Faulung wird der Phosphor aus den Feststoffen in die Wassermatrix freigesetzt, so dass er als konzentriertes lösliches $\text{PO}_4\text{-P}$ zur Verfügung steht und als Struvit

ausgefällt werden kann. Der Struvit kann dann im Gärrest oder nach der Entwässerung des Gärrestes aus dem Zentrat gebildet werden. In der industriellen Abwasserbehandlung folgt auf die Struvitfällung meist ein anaerobes Abwasserbehandlungssystem, z. B. UASB.

Die Ausfällung und Kristallisation erfolgt durch Zugabe von $MgCl_2$ und $NaOH$ (Bünemann et al., 2021). Die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser beträgt je nach Verfahren 12 - 22 %.

Struvit kann vor Ort hergestellt werden, wo immer es eine Kläranlage gibt.



Figure 4. Struvit-Granulat (Else Bünemann, FIBL)

Struvite from IWW

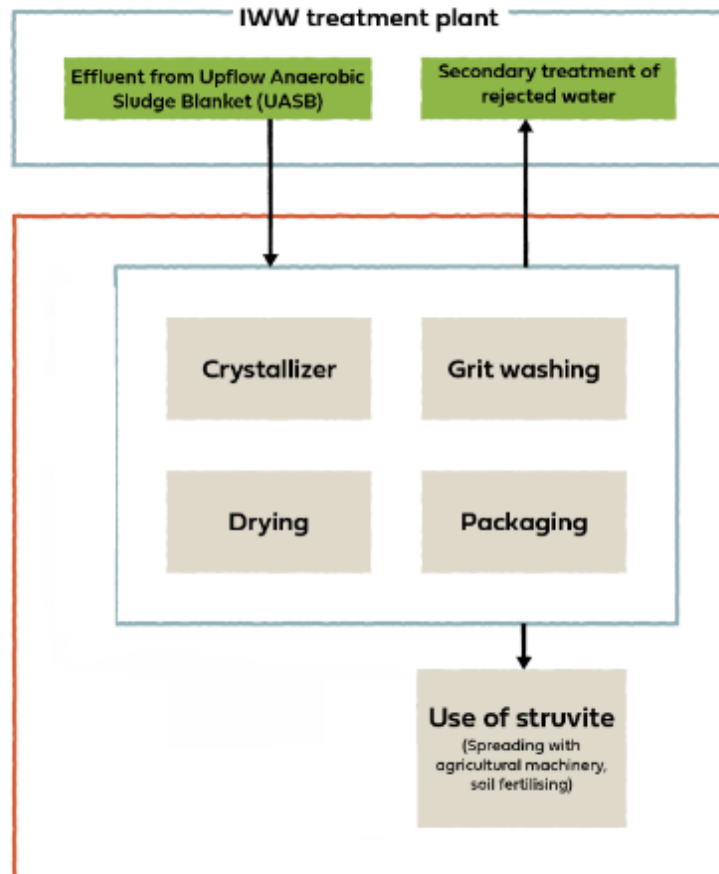


Figure 5. Flussdiagramm Struvit

3.2.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

Struvit ist ein recht neuer Dünger, der in der Landwirtschaft noch nicht so bekannt ist. Die angebotenen Mengen sind noch begrenzt, und in einigen Fällen gibt es rechtliche Hindernisse. Struvit und andere Nebenprodukte aus Abwässern haben jedoch das Potenzial, in Zukunft die wichtigste Quelle für die Phosphorversorgung in der Landwirtschaft zu sein, da Gesteinsphosphat weltweit eine begrenzte Quelle ist. Daher ist die Nutzung von Phosphor aus Abwässern eine wichtige Option für die Zukunft. Es ist davon auszugehen, dass das Angebot in den nächsten Jahren bei einem guten Preis-Kosten-Verhältnis schnell zunehmen wird, auch wenn es in den verschiedenen Regionen noch gewisse Preisunterschiede gibt. Die Transportkosten sind kein wichtiger Faktor für den Preis, so dass Struvit in jeder Region verfügbar sein sollte.

3.2.3.3. REGULATORISCHE ANALYSE

Gemäß der "VERORDNUNG (EU) 2019/1009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019" darf ein EU-Düngemittel nur aus Bestandteilen bestehen, die die Anforderungen für eine oder mehrere der in diesem Anhang aufgeführten Materialkategorien (CMC) erfüllen. Struvit ist in der EU zugelassen und wird hier unter PFC 1 "feste anorganische Makronährstoffdünger, CMC 12 "gefällte Phosphatsalze und Derivate" eingestuft.

Es gibt Spezifikationen für Nährstoffe und Krankheitserreger.

Die Krankheitserreger dürfen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte nicht überschreiten:

Table 7. Schwellenwerte für Krankheitserreger für Struvit

Krankheitserreger	Schwellenwert
Salmonella spp.	Kein Befund in 25 g oder 25 ml
Escherichia coli oder Enterococcaceae	1000 in 1 g oder 1 ml

Diese Anforderungen gelten nicht, wenn eine Drucksterilisation, Pasteurisierung oder Hygienisierung unter festgelegten Bedingungen stattgefunden hat.

Die gefällten Phosphatsalze müssen mindestens 16 % Phosphorpentoxid (P₂O₅) in der Trockensubstanz, höchstens 3 % organischen Kohlenstoff in der Trockensubstanz, höchstens 3 g/kg makroskopische Verunreinigungen über 2 mm in jeglicher Form (organische Stoffe, Glas, Steine, Metall, Kunststoff) und höchstens 5 g/kg der Summe in der Trockensubstanz enthalten. Es können auch nationale Vorschriften gelten. In einigen Ländern gibt es noch Beschränkungen.

Rückgewonnene Struvit- und gefällte Phosphatsalze wurden mit der Durchführungsverordnung 2023/121 am 17. Januar 2023 in die Verordnung (EU) 2018/848 für den ökologischen Landbau aufgenommen. Tierische Gülle als Quelle darf nicht aus der industriellen Tierhaltung stammen.

3.2.4. Referenzen

VERORDNUNG EU 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

VERORDNUNG EU 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Düngemittelverordnung: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, § 3 Abs. 5 in Verbindung mit Anhang 3

https://relacs-project.eu/wp-content/uploads/2021/05/RELACS_PA_07_struvite_FiBL_final.pdf

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0121>

https://nutriman.net/sites/default/files/2021-05/Thematic_training_material_STRUVITE_DE.pdf

Das Potenzial von Struvit als alternative Phosphorquelle für den ökologischen Landbau, RELACS Practice abstract (2021), in: www.organic-farmknowledge.org/tool/40053

STRUVITE: Ergebnisse zur Struvit ausfällung (2023), NUTRI-KNOW-Präsentation, in: <https://eufarmbook.eu/en/contributions/661f794ead7afadbf522b0a>

3.3. Kompostierte Bioabfälle

3.3.1. Empfehlungen für die Verwendung

Kompost ist ein natürlicher Bodenverbesserer, der die Gesundheit des Bodens fördert, indem er die organische Substanz erhöht, die mikrobielle Aktivität steigert, den Nährstoffgehalt verbessert und zur Feuchtigkeitsspeicherung beiträgt.

Kompost kann den Pflanzen wichtige Nährstoffe liefern. Die verwerteten Nährstoffe wie Stickstoff sind nur teilweise wirksam und hängen vom C:N-Verhältnis ab. Die deutsche Düngverordnung geht beispielsweise davon aus, dass 10 % des Gesamtstickstoffgehalts des Komposts im Jahr der Ausbringung angerechnet werden. Im ersten Folgejahr werden 4% des Gesamtstickstoffs bei der Düngbedarfsberechnung berücksichtigt und im zweiten und dritten Folgejahr müssen 3% des ursprünglich ausgebrachten Gesamtstickstoffs angerechnet werden. In der Praxis setzen Komposte mit einem C:N-Verhältnis von mehr als 15:1 weniger Stickstoff frei. Phosphat, Kalium und Schwefel werden zu 100 % angerechnet.

Tabelle 8 zeigt den durchschnittlichen Nährstoffgehalt in der Trockenmasse. Die Schwankungen sind groß. Aus diesem Grund sollten die genauen Gehalte der liefernden Substratpflanze bekannt sein - auch um den gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen.

Table 8. Nährstoffgehalt in Bioabfallkompost in Trockenmasse (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et al, 2014)

Nährstoff	Mittelwert (in Trockenmasse)	Reichweite (in Trockenmasse)
Trockenmasse	64 %	51 - 74 %
pH-Wert	8	7,5 – 9
Salzgehalt	1,6 %	
Organisches Material	64 %	45 - 87 %

Nährstoff	Mittelwert (in Trockenmasse)	Reichweite (in Trockenmasse)
C	33 %	26 - 50 %
N	1,4 %	1,1 - 2,6 %
P	0,35 %	0,22 - 0,67 %
K	1,04 %	0,73 - 1,83 %
Ca	3,61 %	2,0 - 6,8 %
Mg	0,50 %	
S	0,3 %	0,15 - 0,4 %
Cu	37 g / t	
Zk	155 g / t	
B	26 g / t	
Mn	414 g / t	
Mo	1 g / t	

Kompost kann bei allen Kulturen, auch im Obstbau, verwendet werden. Er kann vor der Aussaat im Frühjahr oder Herbst, während der Ernte oder nach der Ernte im Sommer ausgebracht und in den Boden eingearbeitet werden. Die übliche Ausbringungsmenge beträgt 10 bis 20 Tonnen pro Hektar, je nach dem Bedarf der Kulturen und den Düngebeschränkungen in der jeweiligen Region. Bei regelmäßiger Ausbringung sind die zulässigen Höchstausbringungsmengen zu beachten, insbesondere hinsichtlich der einzuhaltenden Schwermetallgehalte. Kompost mit einem hohen C:N-Verhältnis kann ideal für Leguminosen verwendet werden, da keine N-Freisetzung zu erwarten ist - es ist sogar möglich, dass die N-Fixierung durch eine Verringerung des mineralischen N, die aus dem hohen CN-Verhältnis resultiert, verbessert werden kann.

Der Kaliumgehalt ist relativ hoch und sollte berücksichtigt werden, während der Phosphorgehalt niedrig, aber leicht verfügbar ist.

Im Gartenbau kann Kompost in Substraten bis zu 100 % Torf ersetzen.

Die Ausbringung erfolgt mit handelsüblichen Dungstreuern oder speziellen Maschinen für die Kompostausbringung. Pelletierter Kompost kann mit einem Standarddüngerstreuer ausgebracht und mit anderen Düngemitteln gemischt werden.

Table 9. Empfehlungen für die Ausbringung von Bioabfallkompost (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	10 - 30 t/ha	Normalerweise bei der Bodenbearbeitung vor der Aussaat
Mais	20 - 40 t/ha	Normalerweise bei der Bodenbearbeitung vor der Aussaat
Hülsenfrüchte	10 - 30 t/ha bei einem C:N-Verhältnis von mehr als 16:1	Das ganze Jahr
Gemüse	10 - 40 t/ha	Das ganze Jahr
Obstplantagen und Weinberge (Anpflanzung)	10 - 40 t/ha	Bei der Bodenbearbeitung vor der Aussaat
Obstgarten und Weinberge	6 15 t/ha	Das ganze Jahr



Figure 6. Ausbringung von Kompost (Foto: CIC)

3.3.2. Verbesserung des Bodens

Kompost ist die ideale Quelle zur Verbesserung des Bodens durch Erhöhung der organischen Substanz, da er mehr als 30 % C enthält. Der Kohlenstoff ist umso stabiler, je höher das C:N-Verhältnis ist. Bei einem durchschnittlichen C:N-Verhältnis von 16:1 ist ein großer Teil des Kohlenstoffs relativ stabil und wirkt sich positiv auf den Humusgehalt aus. Er trägt zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei. Die Wirkung ist am deutlichsten bei Böden mit niedrigem Humusgehalt (<1% Humus) bis mittlerem Humusgehalt (2-3% Humus). Sie verbessert auch die Bodenstruktur, die Stabilität der Aggregate, das Porenvolumen, die Wasserinfiltration, das Wasserhaltevermögen, die biologische Aktivität des Bodens und die Bodenfruchtbarkeit. Langfristig werden die Erträge stabilisiert.

3.3.3. Technische Fakten

3.3.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Die Kompostierung ist ein Prozess der Zersetzung organischer Stoffe unter aeroben Bedingungen (mit Luft), die durch Temperatur und Wassergehalt beeinflusst werden. Alle Arten von organischem Material können kompostiert werden: Ernterückstände, Nebenprodukte der Agrarindustrie, Hofdünger, Laub, Baumschnitt, Äste und organische Lebensmittelabfälle aus dem Haushalt. Ein wichtiger Faktor bei der Herstellung von Kompost ist das Verhältnis von Kohlenstoff und Stickstoff (C:N-Verhältnis). Um eine erfolgreiche Zersetzung zu gewährleisten, sollte das C:N-Verhältnis zu Beginn höher als 20:1 sein. Materialien wie Bioabfall aus dem Haushalt oder einige Grünabfälle wie Gras benötigen möglicherweise eine Zugabe von C-reichen Materialien wie Holzspänen. Wenn die Materialien zu trocken sind, sollte Wasser zugegeben werden. In der ersten Phase, der so genannten aktiven Kompostierungszeit, erreicht das Material Temperaturen zwischen 55°C und 70°C oder sogar bis zu 80°C; die hohe Temperatur ist notwendig, um Unkrautsamen und Krankheitserreger abzutöten. Diese hohen Temperaturen werden durch den intensiven Abbau der labilen organischen Fraktion erreicht und aufrechterhalten. Damit dies geschehen kann, müssen die Mikroorganismen, die den Abbau durchführen, Zugang zu Sauerstoff haben. Es gibt zwei Haupttechnologien, um dies zu erreichen: eine Möglichkeit ist die Verwendung von statischen Haufen, in die von unten Luft eingeblasen wird, und die andere die Verwendung von dynamischen Haufen, bei denen der Haufen ständig gedreht und gemischt wird. Nach der ersten Phase, in der sich die Bakterien schnell entwickeln, werden sie durch Pilze ersetzt, wenn die Abkühlungsphase beginnt. Im reifen Zustand hat der Kompost eine dunkle Farbe, ist leicht krümelig und riecht wie Waldboden. Die Kompostierung dauert einige Monate, abhängig von der Methode, der Intensität des Umsetzens und dem Endziel des Produkts. Es ist möglich, den Bioabfall einem anaeroben Vergärungsprozess zu unterziehen, bevor das Gärgut mit demselben Verfahren wie frischer Bioabfall kompostiert wird. Auf diese Weise ist es möglich, Biomethan oder erneuerbare Energie zu erzeugen, während gleichzeitig ein Abfall bewirtschaftet und ein Düngemittel hergestellt wird.

Es gibt einige spezielle Methoden der Kompostierung wie die mikrobielle Karbonisierung mit niedrigeren Temperaturen, Vermikompostierung mit Regenwürmern und Hochgeschwindigkeitsverfahren, die jedoch nicht Gegenstand dieses Leitfadens sind. Die Kompostierung erfolgt meist in industriellen Kompostieranlagen, kann aber auch in landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt werden

Composted biowaste

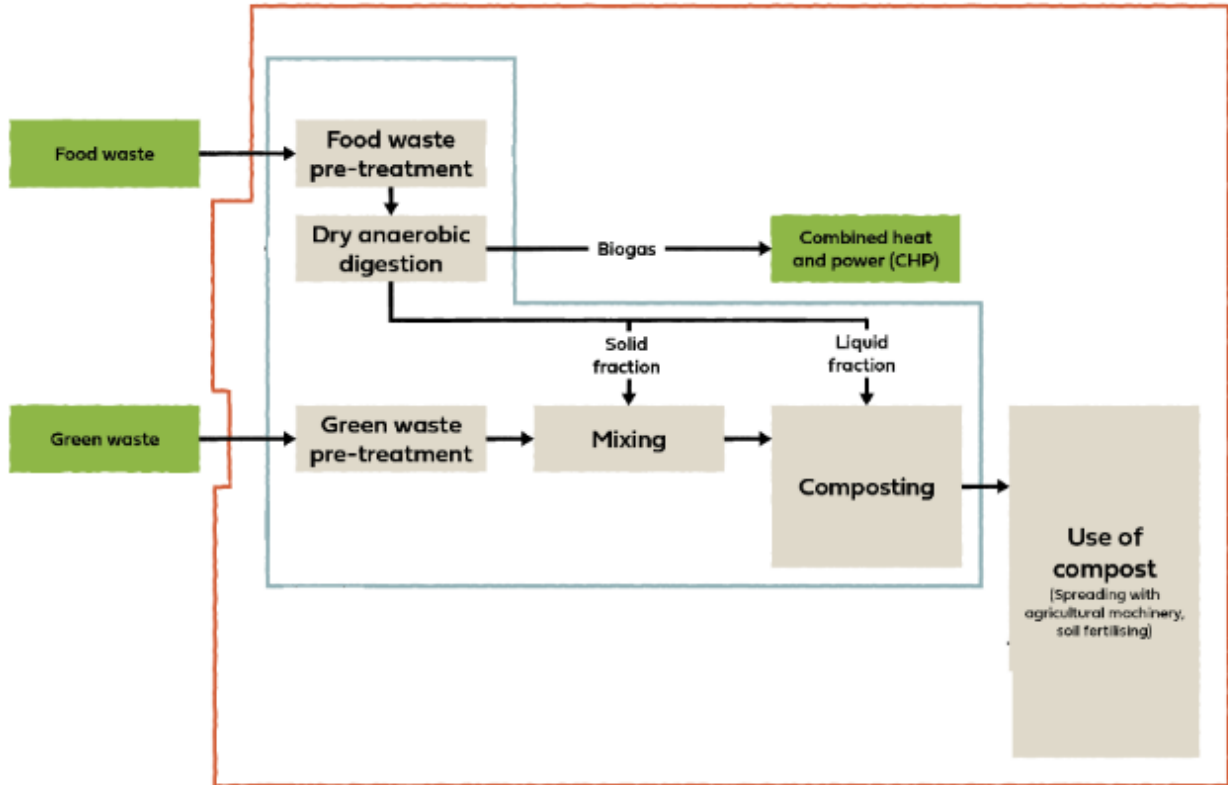


Figure 7. Flussdiagramm Bioabfallkompost



Figure 8. Wenden von Komposthaufen und Kompostanlage der Stadt Wien (Hartl, 2014)

3.3.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

Kompost ist eine ideale Quelle für die Verbesserung des Bodens. Die Preise für Kompost sind niedrig und sehr wettbewerbsfähig. Selbst wenn man nur die Preise für die Makronährstoffe ohne Kohlenstoff berechnet, ist der Preis immer noch sehr wettbewerbsfähig. Die Verfügbarkeit von Nährstoffen wie Phosphor ist relativ gut. Da Kompost nicht sehr weit transportiert werden kann, ist das regionale Angebot von Region zu Region unterschiedlich. Die Produktion von Kompost könnte durch die Verbesserung der Systeme zur getrennten Sammlung von Lebensmittelabfällen erheblich gesteigert werden. Daher ist Kompost ein wichtiger Bestandteil für die Bereitstellung von Kreislaufdüngern für eine zukünftige nachhaltige Landwirtschaft.

3.3.3.3. REGULATORISCHE ANALYSE

Gemäß der EU-Düngemittelverordnung "VERORDNUNG (EU) 2019/1009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019" ist Kompost in die Produktkategorie Funktion 3A "Organische Bodenverbesserungsmittel" eingestuft. Kompost wird hier unter CMC 3 "Kompost" eingeordnet. Außerdem muss er, wenn er Dung als Zutat enthält, die Nitratrichtlinie einhalten und darf nicht mehr als 340 kg/ha Stickstoff oder 170 kg/ha Stickstoff in gefährdeten Gebieten ausbringen. (EU 2018/448).

Die oben genannte Verordnung legt bestimmte Anforderungen fest, die berücksichtigt werden sollten.

Die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthaltenen Krankheitserreger dürfen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Werte sollten für Kompost nicht relevant sein, da die Krankheitserreger nicht mehr vorhanden sein sollten, wenn der Prozess die aktive Kompostierungszeit durchlaufen hat.

Table 10. Schwellenwert für Krankheitserreger für Bioabfallkompost

Krankheitserreger	Schwellenwert
Salmonella spp.	Kein Befund in 25 g oder 25 ml
Escherichia coli oder Enterococcaceae	1000 in 1 g oder 1 ml

Für Schwermetalle, die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthalten sind, gelten die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte, die eingehalten werden müssen.

Table 11. Schwellenwert für Schadstoffe in Bioabfallkompost

Schadstoff	Schwellenwert
Kadmium (Cd)	2 mg/kg Trockensubstanz
Chrom VI (Cr VI)	2 mg/kg Trockensubstanz
Quecksilber (Hg)	1 mg/kg Trockenmasse
Nickel (Ni)	50 mg/kg Trockensubstanz
Blei (Pb)	120 mg/kg Trockensubstanz
Anorganisches Arsen (As)	40 mg/kg Trockensubstanz
Kupfer (Cu)	300 mg/kg Trockensubstanz
Zink (Zn)	300 mg/kg Trockensubstanz

Es gibt Anforderungen an einen Mindestrottegrad III, einen Höchstwert von 6 mg/kg Trockenmasse an PAK16, einen Höchstwert von nicht mehr als 3 g/(kg Trockenmasse) an makroskopischen Verunreinigungen über 2 mm in Form von Glas, Metall oder Kunststoff und nicht mehr als 5 g/kg Trockenmasse an der Summe der Verunreinigungen.

Es können auch nationale Vorschriften gelten, die unterschiedlich sein können.

Kompost aus Bioabfällen ist im ökologischen Landbau zulässig, sofern das Produkt Gülle als Rohstoff enthält, die nicht aus industrieller Viehhaltung stammt. In den EU-Öko-Standards gibt es zusätzliche Grenzwerte für Schwermetalle in Bioabfallkompost.

Zusätzlich zu den EU-Rechtsvorschriften und der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) müssen möglicherweise nationale und regionale Vorschriften beachtet werden, z. B. Bioabfallverordnungen, Düngemittelverordnungen, Verordnungen zur Verbringung von Wirtschaftsdünger und Vorschriften in Wasserschutzgebieten oder Gebieten mit anderem Schutzstatus. Diese Verordnungen können auch vorübergehende Beschränkungen für die Ausbringung von Düngemitteln enthalten, z. B. im Winter. Es kann sein, dass die Ausbringung

des Substrats gemäß diesen Verordnungen bei der zuständigen Behörde gemeldet werden muss.

3.3.4. Referenzen

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organische Handelsdünger im ökologischen Landbau, S.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

VERORDNUNG EU 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

VERORDNUNG EU 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Düngemittelverordnung: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, § 3 Abs. 5 in Verbindung mit Anhang 3

https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/Forschung/Praxismerkblaetter/180E009_Pflanzenernaehrung_ProBio_Qualitaet.pdf

GUIDE ON HIGH-QUALITY ON-FARM COMPOSTING, in: https://academy.naturland.org/pluginfile.php/1184/mod_resource/content/7/Compost%20Guide_EN_V3.pdf

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2018): Organische Düngung - Kompost für die Landwirtschaft, in: [Organische Düngung Juli 2018 .pdf \(kompost.de\)](#)

Kompost: Vorteile und Nachteile, Best4Soil Factsheet (2020), in: <https://www.best4soil.de/>

Kompost - Praktische Informationen, Best4Soil Factsheet (2022), in: <https://www.best4soil.de/>

3.4. Stabilisierter Klärschlamm

3.4.1. Empfehlungen für die Verwendung

Stabilisierter Klärschlamm fördert die Gesundheit des Bodens, indem er die organische Substanz erhöht, die mikrobielle Aktivität steigert, den Nährstoffgehalt verbessert und die Feuchtigkeitsspeicherung unterstützt (Kamizela, 2022). Er kann wichtige Makronährstoffe (N, P, K), die nur teilweise wirksam sind, und Mikronährstoffe für Pflanzen liefern. Das C:N-Verhältnis beträgt oft weniger als 20:1. (Novosel, 2022). Die Kombination mit anderen organischen Materialien wie Kompost kann das C:N-Verhältnis und die Nährstoffbilanz optimieren.

Tabelle 12 zeigt den durchschnittlichen Nährstoffgehalt in der Trockenmasse. Die Schwankungen sind groß. Aus diesem Grund sollten die genauen Gehalte der liefernden Substratpflanze bekannt sein - auch um den gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen.

Table 12. Durchschnittlicher Nährstoffgehalt des stabilisierten Schlammes in der Trockenmasse

Nährstoff	Bereich
Organisches Material	40 - 80 %
N	3,6 - 5 %
P	0,8 - 2,5 %
K	0,1 - 0,3 %
Ca	4 - 6 %
Mg	0,6 - 2 %

Stabilisierter Klärschlamm kann bei allen Kulturen, auch im Obstbau, verwendet werden. Er kann vor der Aussaat im Frühjahr oder Herbst, während der Ernte oder nach der Ernte im Sommer ausgebracht werden und muss in den Boden eingearbeitet werden. Die übliche Ausbringungsmenge hängt von den jeweiligen Beschränkungen ab.

Stabilisierter Klärschlamm sollte weniger als 50 % Feuchtigkeit aufweisen, damit er mit einem normalen Düngestreuer ausgebracht werden kann. Pelletierter Klärschlamm kann mit einem normalen Düngestreuer ausgebracht und mit anderen Düngemitteln gemischt werden.

Klärschlamm kann Schadstoffe wie Schwermetalle, organische Schadstoffe, Arzneimittelrückstände oder Mikroplastik enthalten. Er darf nicht auf Böden ausgebracht werden, auf denen Obst- und Gemüsepflanzen angebaut werden (ausgenommen Obstbäume), sowie auf Grünland oder Futterflächen, die in den nächsten drei Wochen von Tieren beweidet oder abgeerntet werden sollen.

Table 13. Empfehlungen für die Ausbringung von stabilisiertem Schlamm (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	1 - 3 to/ha	Das ganze Jahr
Hülsenfrüchte	1 - 3 to/ha bei einem C:N-Verhältnis von mehr als 16:1	Das ganze Jahr
Gemüse	1 - 3 to/ha	Das ganze Jahr
Obstgärten und Weinberge	1 - 3 to/ha	Das ganze Jahr

Die Ausbringung erfolgt mit handelsüblichen Gülleverteilern



Figure 9. Ausbringung von stabilisiertem Schlamm

3.4.2. Verbesserung des Bodens

Stabilisierter Klärschlamm ist eine gute Quelle für organische Stoffe und Nährstoffe. Stabilisierter Klärschlamm erhöht die organische Substanz, insbesondere bei einem C:N-Verhältnis von 16:1 oder höher, und kann zur Kohlenstoffspeicherung im Boden beitragen (Glodnik, 2022). Außerdem verbessert er die Bodenstruktur, die Stabilität der Aggregate, das Porenvolumen, die Wasserinfiltration, das Wasserhaltevermögen, die biologische Aktivität des Bodens und die Bodenfruchtbarkeit (Novosel, 2022). Langfristig werden die Ernteerträge stabilisiert.

3.4.3. Technische Fakten

3.4.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Klärschlamm ist ein Nebenprodukt der kommunalen Abwasserbehandlung, das im Vorklärbecken, im Nachklärbecken und in anderen damit verbundenen Prozessen anfällt. Er enthält organische Stoffe und Nährstoffe, die ihn Düngemittel attraktiv machen.

Um sicherzustellen, dass der Schlamm sicher für landwirtschaftliche Zwecke verwendet werden kann, muss er zunächst stabilisiert und sein Wassergehalt reduziert werden. Für die Stabilisierung stehen mehrere Technologien zur Verfügung. Die in Europa am häufigsten verwendeten sind anaerobe Faulung, aerobe Faulung, Kompostierung, chemische Behandlung und thermische Trocknung.

- Die anaerobe Faulung dient der Reduzierung, Stabilisierung und teilweisen Desinfektion von Schlamm. Sie besteht darin, den Schlamm in einem Behälter bei einer Temperatur von etwa 35 °C über einen bestimmten Zeitraum hinweg einzuschließen. Bei diesem Prozess entsteht als Nebenprodukt Biogas (ein Gemisch aus Methan und Kohlendioxid), das in der Regel zur

Aufrechterhaltung der Temperatur des Behälters verwendet wird (Europäische Kommission, 2001).

- Bei der Kompostierung handelt es sich um ein aerobes Verfahren, bei dem Klärschlamm, der mit einem Nebenprodukt wie Sägemehl oder Tiermist vermischt ist, belüftet wird. Bei der Kompostierung entsteht überschüssige Wärme, die genutzt werden kann, um die Temperatur der Kompostierungsmasse zu erhöhen. Die Mischung entwickelt sich dann über mehrere Wochen. Der kompostierte Schlamm erreicht einen guten Desinfektionsgrad und wird stabilisiert, wodurch die Geruchsbildung verringert wird. Der endgültige Trockensubstanzgehalt von kompostiertem Schlamm kann mehr als 60 % betragen, wodurch er leicht zu handhaben ist (Europäische Kommission, 2001).
- Die chemische Behandlung bezieht sich hauptsächlich auf die Kalkbehandlung, d.h. die Zugabe von Kalk zum Schlamm, um dessen pH-Wert auf 12 zu erhöhen und so die für den Abbau der organischen Verbindungen verantwortliche Biomasse zu zerstören oder zu hemmen. Die Behandlung trägt auch dazu bei, den Schlamm zu desinfizieren, seinen Trockenmassegehalt zu erhöhen und seine Handhabung zu erleichtern (Europäische Kommission, 2001).
- Bei der thermischen Trocknung wird dem System Energie zugeführt, um das Wasser zu verdampfen, was zu seiner Verdichtung führt. Ein Trockensubstanzgehalt von mindestens 45 % ist erforderlich, um das erneute Wachstum von Bakterien zu verhindern (Europäische Kommission, 2001).
- Die aerobe Faulung stabilisiert den Schlamm durch den Abbau der organischen Stoffe durch Mikroorganismen unter aeroben Bedingungen (d.h. in Gegenwart von Sauerstoff). Obwohl es sich um ein einfacheres Verfahren als die anaerobe Faulung handelt, erfordert es eine erhebliche Menge an Energie (5 bis 10 Mal mehr als die anaerobe Faulung) (Europäische Kommission, 2001).

In den meisten kommunalen Kläranlagen finden bereits Stabilisierungsprozesse statt, da dies durch EU-Vorschriften (Richtlinie 91/271/EWG) vor jeder Form der Entsorgung gefördert wird. Je nach den Merkmalen der Kläranlage, d.h. Größe und Eigenschaften des Zulaufs sowie der geografischen Region, wird eine der fünf vorgestellten Technologien gewählt.



Figure 10. Stabilisierter Schlamm nach dem Pressen (Bundesarchiv)

Stabilised sludge from UWW

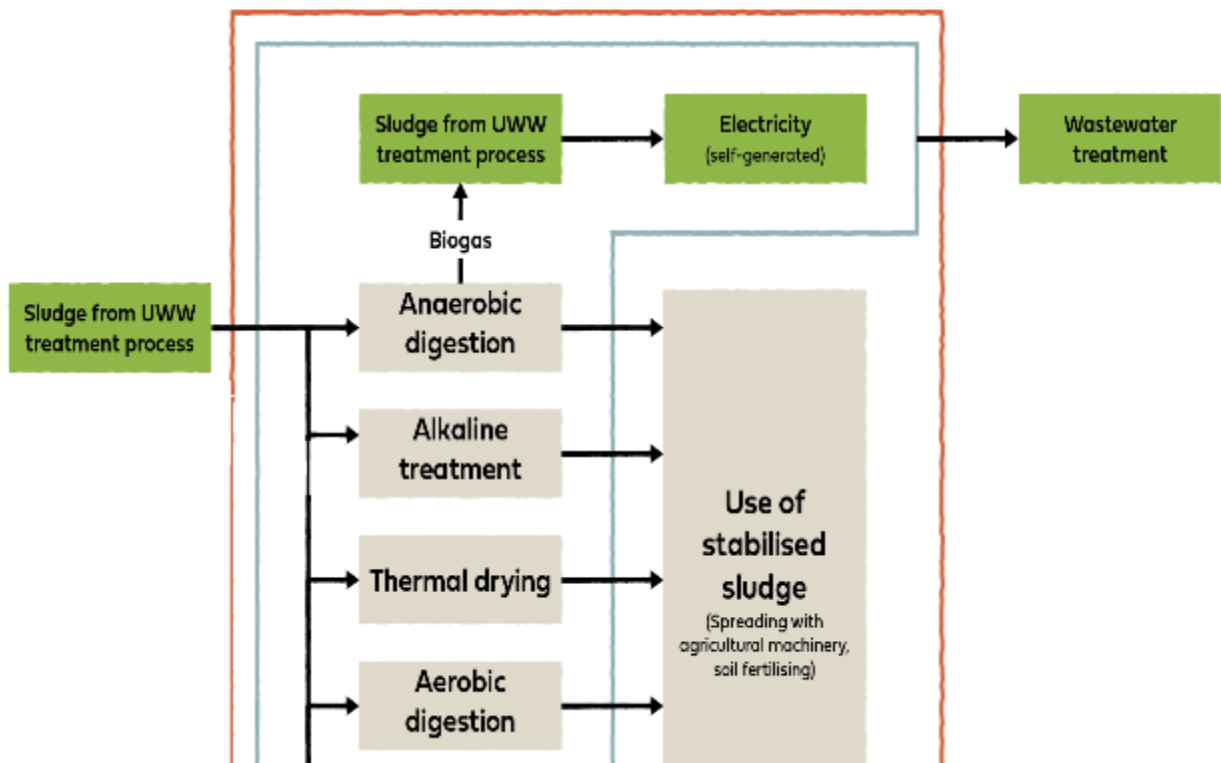


Figure 11. Flussdiagramm Stabilisierter Schlamm aus kommunalen Abwässern

3.4.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

Flussdiagramm Stabilisierter Klärschlamm aus kommunalem Abwasser

Stabilisierter Klärschlamm ist eine gute Nährstoffquelle zu einem sehr wettbewerbsfähigen Preis. Um von Landwirten und Verbrauchern akzeptiert zu werden, müssen die Werte von Schwermetallen, Krankheitserregern und anderen Schadstoffen so niedrig wie möglich sein. Das Angebot kann von Region zu Region unterschiedlich sein, da die Qualität schwanken kann. Stabilisierter Klärschlamm sollte in jeder Kläranlage verfügbar sein, kann aber auch über eine gewisse Entfernung transportiert werden.

3.4.3.3. REGULATORISCHE ANALYSE

Gemäß der EU-Richtlinie 86/278 gibt es Grenzwerte für die Konzentration von Schwermetallen in Böden, in Schlämmen zur Verwendung in der Landwirtschaft und für die Mengen an Schwermetallen, die jährlich auf der Grundlage eines 10-Jahres-Durchschnitts auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden dürfen. Die Mitgliedsstaaten können eine Überschreitung der Werte zulassen.

Table 14. Schwellenwerte für Schadstoffe (mg/kg Trockenmasse) bei stabilisiertem Schlamm

Parameter	Schwermetalle Boden	im Schwermetalle in Schlämmen	in Jährlicher Zusatz
Kadmium (Cd)	1 - 3	20 - 40	0,15
Kupfer (Cu)	50 - 400	1000 - 1750	12
Nickel (Ni)	30 - 75	300 - 400	3
Blei (Pb)	50 - 300	750 - 1200	15
Zink (Zn)	150 - 300	2500 - 4000	30
Quecksilber (Hg)	1 - 1,5	16 - 25	0,1

Normalerweise müssen Klärschlämme vor ihrer Verwendung in der Landwirtschaft behandelt werden. In einigen EU-Ländern kann es Ausnahmen geben.

Nationale und regionale Vorschriften sind zu beachten, z. B. die Bioabfallverordnung, die Düngemittelverordnung und andere. Nach der Düngemittelverordnung ist Klärschlamm in der GMK 5 "Andere Gärreste als Gärreste von Frischpflanzen" und in der GMK 3 "Kompost" nicht zugelassen. Klärschlamm ist im ökologischen Landbau nicht zugelassen.

3.4.4. Referenzen

EU-Richtlinie 2001/C 14/26): <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2001:014:0141:0150:EN:PDF>

EU-Richtlinie 91/291 (1991): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271>

EU-Richtlinie 86/278 (1986): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%A4rschlamm>

Głodniok, Marcin, Małgorzata Deska, und Paweł Kaszycki. "Impact of the Stabilised Sewage Sludge-based Granulated Fertiliser on *Sinapis alba* Growth and Biomass Chemical Characteristics". *Biology and Life Sciences Forum*. Vol. 3. No. 1. MDPI, 2021.

Novosel, Barbara, Vesna Mislej, und Viktor Grilc. "Grundlegende morphologische, thermische und physikochemische Eigenschaften von Klärschlamm für seine nachhaltige energetische und stoffliche Nutzung in der Kreislaufwirtschaft". *Recent Perspectives in Pyrolysis Research* (2022).

Kamizela, T., Lyng, K. A., Saxegård, S., Švédová, B., & Grobelak, A. (2021). Bionor Klärschlammtechnologie - Biomasse zu Dünger und Bodenzusatz. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128655.

3.5. Feste Fraktion des Gärrestes

3.5.1. Empfehlung für die Verwendung

Gärreste sind eine hervorragende Nährstoffquelle für Nutzpflanzen, aber ihre Ausbringung muss sorgfältig gehandhabt werden, um ihren Nutzen zu maximieren und die Umweltrisiken zu minimieren. Die feste Fraktion von Gärresten ist aufgrund ihres hohen Nährstoffgehalts und ihrer organischen Substanz als Düngemittel besonders wichtig. Sie bietet Stickstoff, der recht schnell verfügbar ist, und stabilen Kohlenstoff. Sie kann bis zu 87 % des gesamten Stickstoffs und 71 % des Phosphors enthalten, die im ursprünglichen Gärrest vorhanden sind. Im Folgenden werden einige Empfehlungen für die effektive Nutzung der stabilisierten festen Fraktion von Gärresten gegeben:

- *Einarbeitung in den Boden:* Hierbei werden die Gärreste auf der Bodenoberfläche verteilt und dann mit Hilfe von Bodenbearbeitungsgeräten in den Boden eingearbeitet. Diese Methode trägt ebenfalls zur Verringerung von Ammoniakemissionen und Gerüchen bei, ist aber möglicherweise nicht so wirksam wie die Injektion.
- *Präzisionslandwirtschaftliche Techniken (GPS-Ortung):* Durch den Einsatz von GPS-Technologie wird sichergestellt, dass die Gärreste gleichmäßig auf dem Feld ausgebracht werden, so dass eine Überdüngung in einigen Bereichen und eine Unterdüngung in anderen vermieden wird. Präzisionslandwirtschaftstechniken können den Landwirten helfen, genau die Nährstoffmenge auszubringen, die von den Pflanzen benötigt wird, und so die Effizienz der Nährstoffnutzung zu verbessern und die Umweltbelastung zu verringern.
- *Zeitpunkt der Bewerbung:*

Anwendungen vor der Aussaat: Die Ausbringung von Gärresten vor der Aussaat stellt sicher, dass die Nährstoffe in den kritischen frühen Wachstumsstadien verfügbar sind. Dieser Zeitpunkt kann auch dazu beitragen, das Risiko von Nährstoffverlusten durch Auswaschung oder Verflüchtigung zu verringern.

Deckfruchtanwendungen: Gärrest kann auf Deckfrüchte aufgebracht werden, die die Nährstoffe aufnehmen und verhindern, dass sie in Zeiten, in denen die Hauptkulturen nicht wachsen, verloren gehen. Deckfrüchte können auch die Bodenstruktur und den Gehalt an organischer Substanz verbessern.

- *Optimale Bedingungen für die Ausbringung:* Vermeiden Sie die Ausbringung von Gärresten bei starken Regenfällen oder wenn der Boden gesättigt ist, da dies zu Nährstoffabfluss und Wasserverschmutzung führen kann. Ebenso kann die Ausbringung bei Wind das Risiko der Verflüchtigung von Ammoniak erhöhen.
- *Bodenbedingungen:* Bringen Sie Gärreste aus, wenn der Boden nicht gefroren oder staunass ist, damit die Nährstoffe vom Boden aufgenommen und von den Pflanzen verwertet werden können.
- *Einsatz von Nitrifikationshemmern:* Sie können die Umwandlung von Ammonium in Nitrat verlangsamen, wodurch die Gefahr der Nitratauswaschung verringert und die Effizienz der Stickstoffnutzung verbessert wird. Dies kann besonders in Gebieten mit starken Regenfällen oder Bewässerung nützlich sein.
- *Einhaltung von Vorschriften:* Stellen Sie sicher, dass die Anwendung von Gärresten den lokalen und EU-Vorschriften entspricht, einschließlich der EU-Nitratrichtlinie. Die Einhaltung dieser Vorschriften trägt zur Vermeidung von Nitratverschmutzung bei und fördert nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken.

Wenn die Landwirte diese Empfehlungen befolgen, können sie den Einsatz von Gärresten optimieren und so die Produktivität der Pflanzen steigern und gleichzeitig die Umwelt schützen. Die Verwendung von Gärresten trägt nicht nur zu einem nachhaltigen Nährstoffmanagement bei, sondern unterstützt auch die Kreislaufwirtschaft, indem organische Abfälle in wertvolle landwirtschaftliche Betriebsmittel umgewandelt werden.

Tabelle 15 zeigt den durchschnittlichen Nährstoffgehalt in der Trockenmasse. Die Schwankungen sind groß. Aus diesem Grund sollten die genauen Gehalte der liefernden Substratpflanze bekannt sein - auch um den gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen.

Table 15. Nährstoffgehalte in der Feststofffraktion des Gärrestes in Trockenmasse (Bundesgütegemeinschaft, 2018)

Nährstoff	Mittelwert im Feststoffanteil von Gärresten aus pflanzlichem NaWaRo*-Material (Bereich)	Mittelwert der festen Fraktion von Gärresten aus Bioabfall (Bereich)
Trockenmasse	27,5 % (21 - 30 %)	35,6 % (25 - 48 %)
pH-Wert	8,6 (8,1 - 8,9)	8,1 (7,5 - 8,7)
Organisches Material	48 % (34 - 51 %)	55 % (37 - 72 %)
C	28 % (20 - 30 %)	31 % (21 - 40 %)

Nährstoff	Mittelwert im Feststoffanteil von Gärresten aus pflanzlichem NaWaRo*-Material (Bereich)	Mittelwert der festen Fraktion von Gärresten aus Bioabfall (Bereich)
N	2,4 % (1,5 - 3,7 %)	2,6 % (1,3 - 6,0 %)
C:N-Verhältnis	21,7 (13,1 - 29,2)	15,4 (5,0 - 23,4)
P	1,1 % (0,4 - 3,3 %)	0,8 % (0,4 - 1,4 %)
K	2,3 % (1,1 - 2,4 %)	1,0 % (0,6 - 1,5 %)
Ca	1,8 % (0,4 - 4,6 %)	4,6 % (1,1 - 9,9 %)
Mg	0,7 % (0,4 - 1,8 %)	0,7 % (0,3 - 1,2 %)

* Rein pflanzliche Inhaltsstoffe ohne tierischen Dünger

Table 16. Empfehlungen für die Verwendung der Feststofffraktion von Gärresten (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften)

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	30 - 80 kg/N ha je nach Kultur und Bodenanalyse	Februar - Mai
Hülsenfrüchte	-	-
Gemüse	N-Bedarf je nach Kultur und Bodenanalyse	Feb - Sep
Obstgärten Weinberge	und N-Bedarf je nach Kultur und Bodenanalyse	Januar - Mai

3.5.2. Verbesserung des Bodens

Die feste Fraktion der Gärreste ist die ideale Quelle zur Verbesserung des Bodens durch Erhöhung der organischen Substanz, da die feste Fraktion der Gärreste mehr als 25 % Kohlenstoff enthält. Er trägt zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei. Die Wirkung ist am deutlichsten bei Böden mit niedrigem Humusgehalt (<1% Humus) bis mittlerem Humusgehalt (2-3% Humus). Sie verbessert auch die Bodenstruktur, die Stabilität der Aggregate, das Porenvolumen, die Wasserinfiltration, das Wasserhaltevermögen, die biologische Aktivität des Bodens und die Bodenfruchtbarkeit. Langfristig werden die Erträge stabilisiert.

Die feste Fraktion der Gärreste ist eine einzigartige Mischung, die sowohl Nährstoffe mit hoher und relativ schneller Verfügbarkeit als auch stabilen Kohlenstoff bietet. Durch die Umwandlung

von organischen Abfällen in einen wertvollen Dünger erzeugt dieses Verfahren nicht nur erneuerbare Energie, sondern verbessert auch die Nährstoffverfügbarkeit, die Bodengesundheit und die ökologische Nachhaltigkeit. Die durch dieses Verfahren erzeugten hygienisierten, nährstoffreichen Gärreste stellen einen bedeutenden Fortschritt in der Bewirtschaftung organischer Abfälle und in der landwirtschaftlichen Produktivität dar und stehen im Einklang mit den Zielen der Kreislaufwirtschaft und der nachhaltigen Entwicklung.

Ihr Einsatz kann die Abhängigkeit von synthetischen Düngemitteln erheblich verringern, das Risiko der Nitratverschmutzung senken und die Bodengesundheit verbessern. Mit diesem Ansatz können Landwirte zu einem stärker kreislaforientierten und umweltfreundlichen landwirtschaftlichen System beitragen. Sowohl die flüssigen als auch die festen Fraktionen von Gärresten enthalten relevante Mengen an Nährstoffen, was bei der Verwendung beider Fraktionen als Düngemittel eine Chance darstellt.

3.5.3. Technische Fakten

3.5.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Die anaerobe Vergärung (AD) ist ein biologischer Prozess, bei dem Mikroorganismen organische Stoffe in Abwesenheit von Sauerstoff abbauen und dabei eine Mischung von Gasen erzeugen: 50 - 75% Methan (CH_4), 25 - 50% Kohlendioxid (CO_2), Wasserdampf und Spuren von Sauerstoff (O_2), Stickstoff (N_2) und Schwefelwasserstoff (H_2S). Die Bedeutung von Biogas besteht darin, dass es entweder zur Energieerzeugung (Strom und Wärme) verbrannt oder zu Biomethan aufbereitet werden kann, das als Kraftstoff für Fahrzeuge verwendet oder in das Gasnetz eingespeist werden kann, um als Ersatz für Erdgas zu dienen.

Das Hauptprodukt von AD ist Biogas; der Rest (Gärreste) wurde mehrere Jahre lang als Abfall betrachtet. Jetzt wird es als Kreislaufdünger genutzt, um die darin enthaltenen Nährstoffe zurückzugewinnen. Gärreste sind ein heterogenes Gemisch aus einer flüssigen und einer festen Phase (d. h. flüssige und feste Fraktion der Gärreste). Beide sind reich an Nährstoffen, und beide werden zu Dünge Zwecken verwendet.

Es gibt mehrere Abfallströme, die zur Gewinnung von Biogas der AD unterzogen werden können: Gülle, Lebensmittelabfälle und Klärschlamm. Für die Zwecke dieser Bewertung wurden die drei genannten betrachtet. Es werden zwei Arten von AD unterschieden: nass und trocken. Das System für Lebensmittelabfälle wurde unter Berücksichtigung der trockenen AD modelliert, da sie in Europa am weitesten verbreitet ist; für Klärschlamm ist die einzige mögliche Option die nasse AD, und für Gülle wurde ebenfalls die nasse AD modelliert, da für sie die meisten Daten verfügbar sind.

Das System für Lebensmittelabfälle umfasst eine Vorbehandlungsstufe, in der Eisenmetalle zurückgewonnen und die Abfälle der Abfallwirtschaft zugeführt werden, sowie die Trennung von

festen und flüssigen Fraktionen mit einer Schneckenpresse; die flüssige Fraktion wird auf den Boden aufgebracht und ersetzt so den Einsatz von Düngemitteln. Beim Klärschlammssystem hingegen werden Primär- und Sekundärschlamm aus der Kläranlage entnommen, gemischt und vor der AD-Anlage eingedickt, und anschließend werden durch einen Entwässerungsprozess flüssige und feste Fraktionen getrennt; die flüssige Fraktion wird zurück zur Kläranlage geleitet. Das Güllesystem beginnt direkt mit der AD, der Gärrest durchläuft eine Flüssig-Feststoff-Trennung, und die flüssige Fraktion wird als Ersatz für den Einsatz von Düngemitteln verwendet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Produktion von stabilisierten Gärresten durch anaerobe Vergärung eine vielseitige Lösung für eine nachhaltige Landwirtschaft darstellt. Durch die Umwandlung organischer Abfälle in ein wertvolles Düngemittel erzeugt dieses Verfahren nicht nur erneuerbare Energie, sondern verbessert auch die Nährstoffverfügbarkeit, die Bodengesundheit und die ökologische Nachhaltigkeit. Die durch dieses Verfahren erzeugten hygienisierten, nährstoffreichen Gärreste stellen einen bedeutenden Fortschritt in der Bewirtschaftung organischer Abfälle und der landwirtschaftlichen Produktivität dar und stehen im Einklang mit den Zielen der Kreislaufwirtschaft und der nachhaltigen Entwicklung.

Solid fraction of digestate from food waste

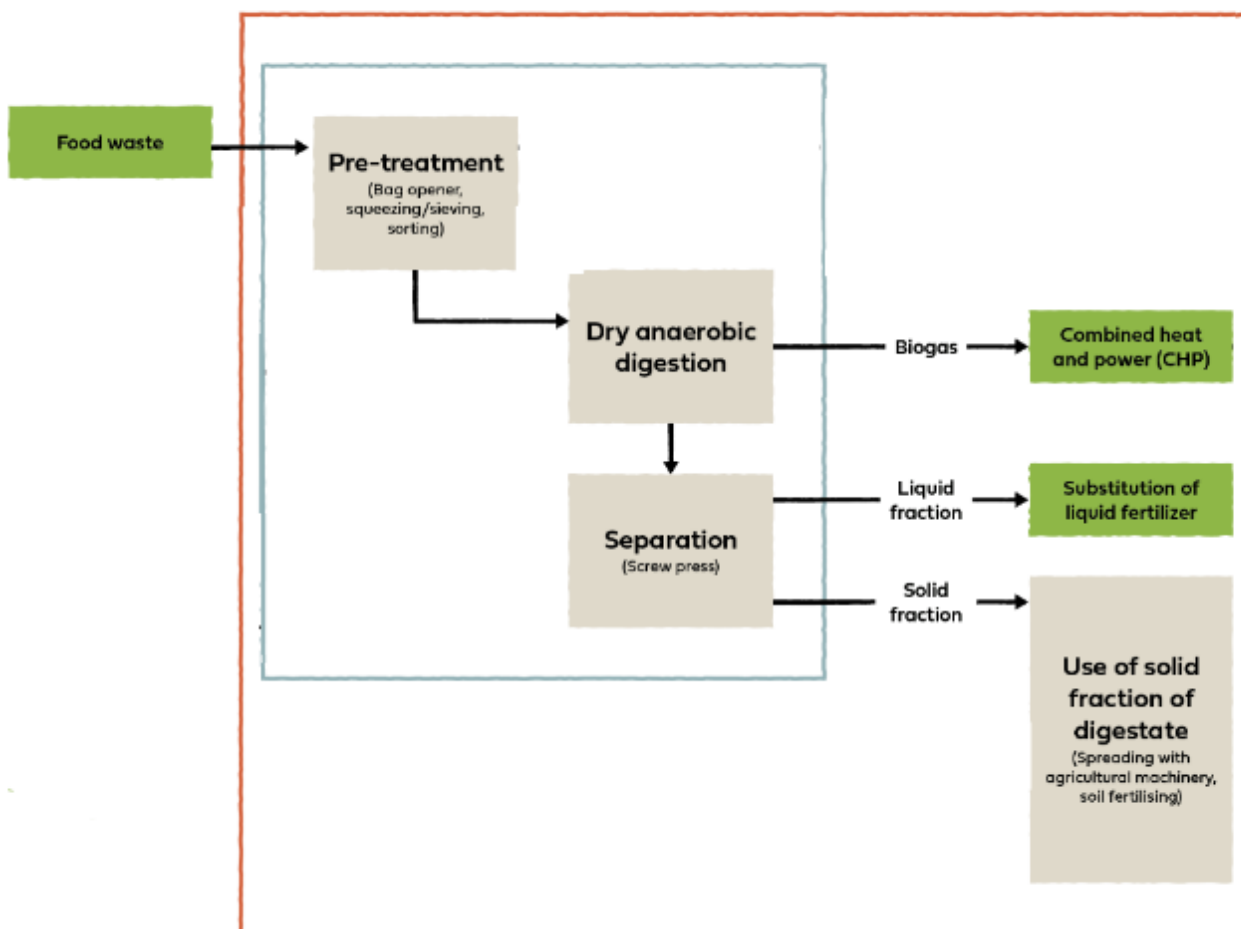


Figure 12. Flussdiagramm Feststofffraktion von Gärresten aus Lebensmittelabfällen



Figure 13. Biogasanlage mit Technikraum, Silos, Gärbehälter, Endlager und Gasspeicher (links) und Abscheider der Feststofffraktion (rechts; E. Räder)

3.5.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

In Europa werden Gärreste je nach den in den einzelnen Ländern installierten Kapazitäten unterschiedlich produziert. Daher sind sie nicht in jeder Region verfügbar. Es gibt große Unterschiede bei den Nährstoffen und den Preisen, aber die Preise sind oft sehr wettbewerbsfähig. Die feste Fraktion gilt im Vergleich zur flüssigen Fraktion als kostengünstiger zu transportieren. Die Produktion kann stark skaliert werden, hängt aber von den nationalen Elektrizitätsstrategien ab.

3.5.3.3. REGULATORISCHE ANALYSEN

Gemäß der EU-Nitratrichtlinie (91/676/EWG) müssen Gärreste, die als Düngemittel verwendet werden, bestimmte Kriterien erfüllen, um eine Nitratverschmutzung zu verhindern. Diese Richtlinie, die auf landwirtschaftliche Praktiken als Hauptverursacher der Nitratverschmutzung abzielt, legt jährliche Grenzwerte für die Stickstoffausbringung in gefährdeten Gebieten fest, um die Wasserqualität in ganz Europa zu schützen. Stabilisierte Gärreste können dazu beitragen, diese Anforderungen zu erfüllen, indem sie Stickstoff und andere wichtige Nährstoffe kontrolliert freisetzen und so die Nährstoffeffizienz verbessern und gleichzeitig die Umweltauswirkungen minimieren.

Die EU-Nitratrichtlinie schreibt vor, dass die Mitgliedstaaten nitratgefährdete Gebiete (NVZ) ermitteln, in denen die Nitratverschmutzung ein Problem darstellt, und Aktionsprogramme zur Kontrolle und Verringerung der Nitratauswaschung durchführen. Dazu gehört die Festlegung jährlicher Stickstoffausbringungsgrenzen, um sicherzustellen, dass die ausgebrachte Stickstoffmenge den Bedarf der Pflanzen und die Aufnahmekapazität des Bodens nicht

übersteigt. Überschüssiger Stickstoff aus Düngemitteln kann in Gewässer versickern, die Eutrophierung verursachen und sich negativ auf aquatische Ökosysteme auswirken.

Die feste Fraktion der Gärreste, die durch die anaerobe Vergärung organischer Materialien entsteht, bietet eine praktikable Lösung zur Erfüllung der Anforderungen der EU-Nitratrictlinie. Die kontrollierte Freisetzung von Stickstoff aus stabilisierten Gärresten gewährleistet eine effiziente Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen und verringert das Risiko der Nitratauswaschung. Darüber hinaus enthalten stabilisierte Gärreste andere wichtige Nährstoffe wie Phosphor und Kalium in einem ausgewogenen Verhältnis und tragen so zur allgemeinen Bodenfruchtbarkeit und Gesundheit der Pflanzen bei.

Gemäß der VERORDNUNG (EU) 2019/1009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019 erfüllt die feste Fraktion von Gärresten die Anforderungen von CMSC 5 "Gärreste, ausgenommen Gärreste von Frischpflanzen" und PFC 1(A)(I) "feste organische Düngemittel" oder PFC 3(AQ) "feste Bodenverbesserungsmittel". Klärschlamm ist jedoch in CMC 5 nicht zugelassen.

Gärreste aus Gülle, Grünschnitt und Bioabfällen sind im ökologischen Landbau erlaubt, allerdings müssen Biobetriebe nachweisen, dass die Bestandteile des Substrats nicht aus der industriellen Tierhaltung stammen und dürfen nicht mehr als 170 kg Stickstoff ausbringen (EU 2018/448).

3.5.4. Referenzen

VERORDNUNG EU 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

VERORDNUNG EU 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2018): Organische Düngung - Kompost für die Landwirtschaft, in: [Organische Düngung Juli 2018 .pdf \(kompost.de\)](#)

Europäischer Biogasverband. (2013). *EBA's Biomethane factsheet*. Abgerufen von

Anaerobe Gärreste als Nährstoffquelle für den ökologischen Landbau, RELACS practice abstract (2021) in: www.organic-farmknowledge.org/tool/40054

Organische Düngung von jungen Apfelplantagen, DOMINO Practice Abstract (2021), in: www.organic-farmknowledge.org/tool/42596

SOS Aquae: Effizientere Kohlenstoff- und Stickstoff-Agrarsysteme mit Biogas, NUTRI-KNOW Präsentation (2023), in <https://eufarmbook.eu/en/contributions/662113c30beeac6e7e385efb>

3.6. Verbrauchtes Pilzsubstrat (Champost)

3.6.1. Empfehlung für die Verwendung

Das Pilzsubstrat hat eine korrigierende Wirkung auf Böden mit einem zu niedrigen pH-Wert (Lakaria, 2019). Bei salzempfindlichen Kulturen sollte auf den Salzgehalt geachtet werden. Mit seinem hohen Schwefelgehalt ist verbrauchtes Pilzsubstrat eine gute Option für Kulturen mit einem hohen Schwefelbedarf wie Raps und Leguminosen (Möller et al, 2014)

Verbrauchtes Pilzsubstrat kann den Pflanzen wichtige Nährstoffe liefern. Die verwerteten Nährstoffe wie Stickstoff sind nur teilweise wirksam. In der deutschen Düngeverordnung werden im Jahr der Ausbringung 10 % des Gesamtstickstoffgehalts des gebrauchten Pilzsubstrats angerechnet. Im ersten Folgejahr werden 4% des Gesamtstickstoffs bei der Düngebedarfsberechnung berücksichtigt und im zweiten und dritten Folgejahr müssen 3% des ursprünglich ausgebrachten Gesamtstickstoffs angerechnet werden. Phosphat, Kalium und Schwefel werden zu 100 % angerechnet. In anderen Regionen sind abweichende Regelungen möglich.

Tabelle 17 zeigt den durchschnittlichen Nährstoffgehalt in der Trockenmasse. Die Schwankungen sind groß. Aus diesem Grund sollten die genauen Gehalte der liefernden Substratpflanze bekannt sein - auch um den gesetzlichen Vorgaben zu entsprechen.

Table 17. Nährstoffgehalte in verbrauchten Pilzsubstraten in Trockenmasse (Möller et al, 2014)

Nährstoff	Mittlerer Wert	Bereich
Trockenmasse	38,0 %	23,2 - 79,1 %
pH-Wert	6,5	5,3 - 8,1
Salzgehalt KCl	2,1 %	1,1 - 2,4%
Organisches Material	64,6 %	36,7 - 86,0 %
C	33,6 %	23,8 - 43,9 %
N	2,12 %	0,34 - 6,2 %
P	0,89 %	0,28 - 1,8 %
K	2,02 %	0,85 - 3,2 %
Ca	4,24 %	0,29 - 12,6 %
Mg	0,85 %	0,21 - 1,84 %
S	2,35 %	0,86 - 4,03 %

Verbrauchtes Pilzsubstrat kann in allen Kulturen, auch in Obstgärten und für andere Pilzarten, verwendet werden. Es kann vor der Aussaat im Frühjahr oder Herbst, in der Kultur oder nach der Ernte im Sommer ausgebracht und in den Boden eingearbeitet werden. Die übliche Ausbringungsmenge beträgt 10 bis 20 Tonnen pro Hektar, sofern es in der Region keine anderen Beschränkungen gibt. Bei regelmäßiger Anwendung sind zulässige Höchstaubringungsmengen, z.B. 30 Tonnen DM in 3 Jahren, zu beachten, insbesondere im Hinblick auf die einzuhaltenen Schwermetallgehalte.

Table 18. Empfehlungen (bitte prüfen Sie Ihre regionalen Vorschriften) für verbrauchte Pilzsubstrate

Kulturpflanzen	Menge	Zeitpunkt der Anwendung
Getreide	10 - 30 to/ha	Das ganze Jahr
Hülsenfrüchte	10 - 30 to/ha, wenn das C:N-Verhältnis höher ist 16:1	Das ganze Jahr
Gemüse	10 - 30 to/ha	Das ganze Jahr
Obstgärten und Weinberge	10 - 30 to/ha	Das ganze Jahr

3.6.2. Verbesserung des Bodens

Ausgeschiedenes Pilzsubstrat enthält oft mehr als 30 % Kohlenstoff. Mit einem durchschnittlichen C:N-Verhältnis von 16:1 ist ein großer Teil des Kohlenstoffs relativ stabil und wirkt sich positiv auf den Humusgehalt aus. Er trägt zur Kohlenstoffspeicherung im Boden bei. Die Wirkung ist am deutlichsten bei Böden mit niedrigem Humusgehalt (<1% Humus) bis mittlerem Humusgehalt (2-3% Humus). Sie verbessert auch die Bodenstruktur, die Stabilität der Aggregate, das Porenvolumen, die Wasserinfiltration, das Wasserhaltevermögen, die biologische Aktivität des Bodens und die Bodenfruchtbarkeit. Langfristig werden die Erträge stabilisiert.

3.6.3. Technische Aspekte

3.6.3.1. PRODUKTIONSPROZESS

Nachdem die Pilze gewachsen sind und durch hohe Temperaturen behandelt wurden, wird das Pilzsubstrat als fertiger Kompost in die Landwirtschaft zurückgeführt und als Dünger verwendet. Pilzsubstrate sind je nach Pilzart Mischungen aus verschiedenen Bestandteilen: Mist, Stroh, Gips, Wasser, aber auch Ton, Sand, Mergel, Torf und Zuckerrübenmist.

Abbildung 14 zeigt ein schematisches Schema der Champignon- und Altpilzproduktion. Der Substrathersteller kompostiert Gülle mit Kalk, Gips und Weizenstroh.

Dieser "frische Kompost" (Phase 1) wird dann pasteurisiert (Phase 2) und abgelagert (Phase 3).

Einige Pilzproduzenten beziehen das abgelagert Substrat (Phase 3), andere ziehen es vor, das pasteurisierte Substrat (Phase 2) zu beziehen und das Lagern selbst durchzuführen.

Das gelagert Substrat wird mit Hüllenerde (in der Regel Torf) bedeckt, und die Pilze werden gezüchtet.

Nach der Ernte der Pilze entsorgt der Pilzproduzent das verbrauchte Substrat, indem er entweder eine zweite Kompostierungsstufe durchführt und dann den Dünger ausbringt oder es an den Substrathersteller zurückschickt, der es als Rohstoff verwertet.

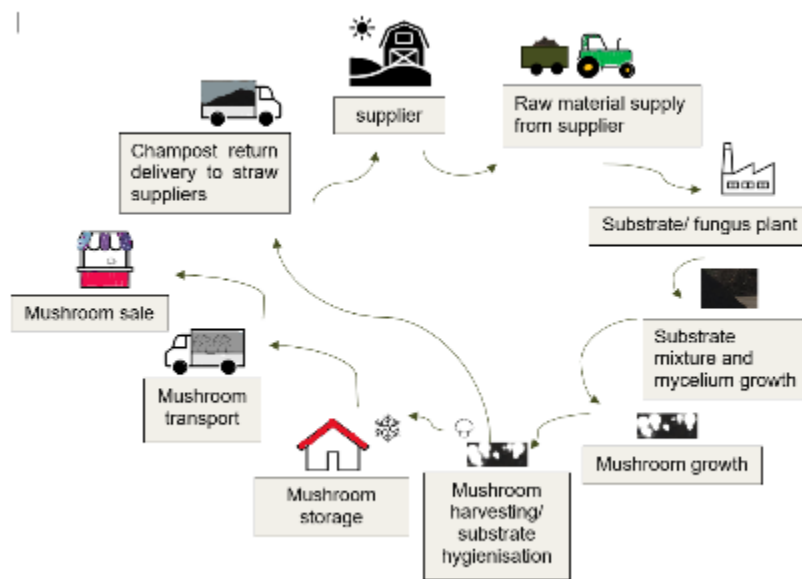


Figure 14. Produktionsschema des verbrauchten Pilzsubstrats

Abbildung 15 zeigt ein Beispiel für einen Zeitplan für die Pilzproduktion. Beachten Sie, dass die Produktion und die Produktionszeit je nach Pilzsubstrat und Substratpflanze variieren können.

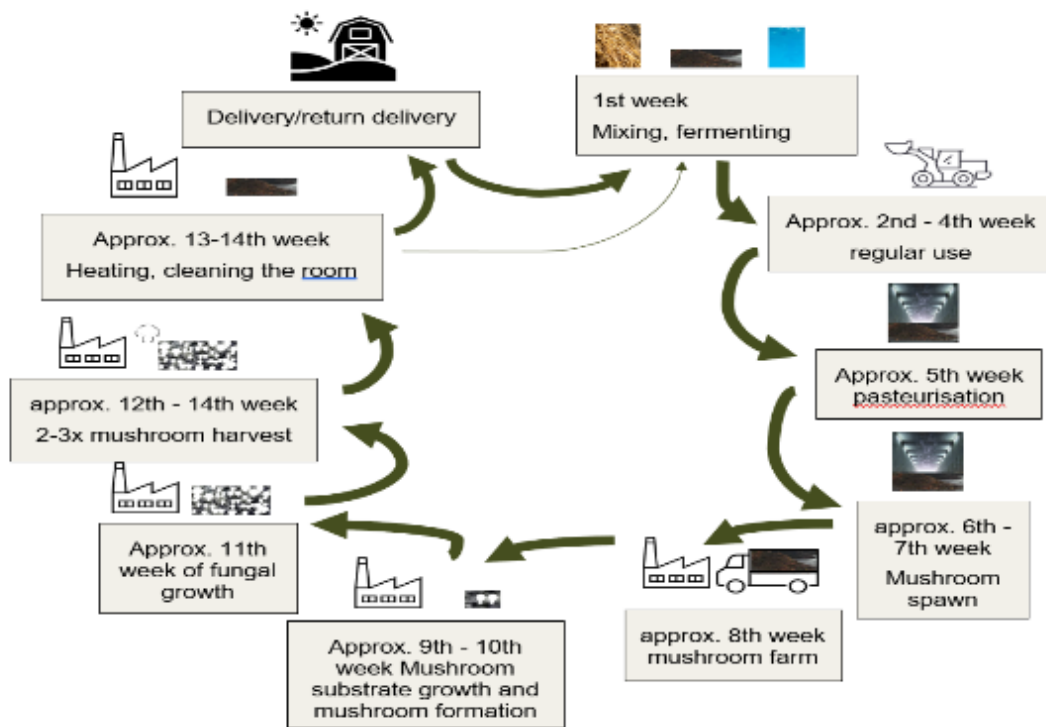


Figure 15. Zeitplan von der Anlieferung der Rohstoffe bis zur Rücklieferung des verbrauchten Pilzsubstrats

Spent mushroom substrate

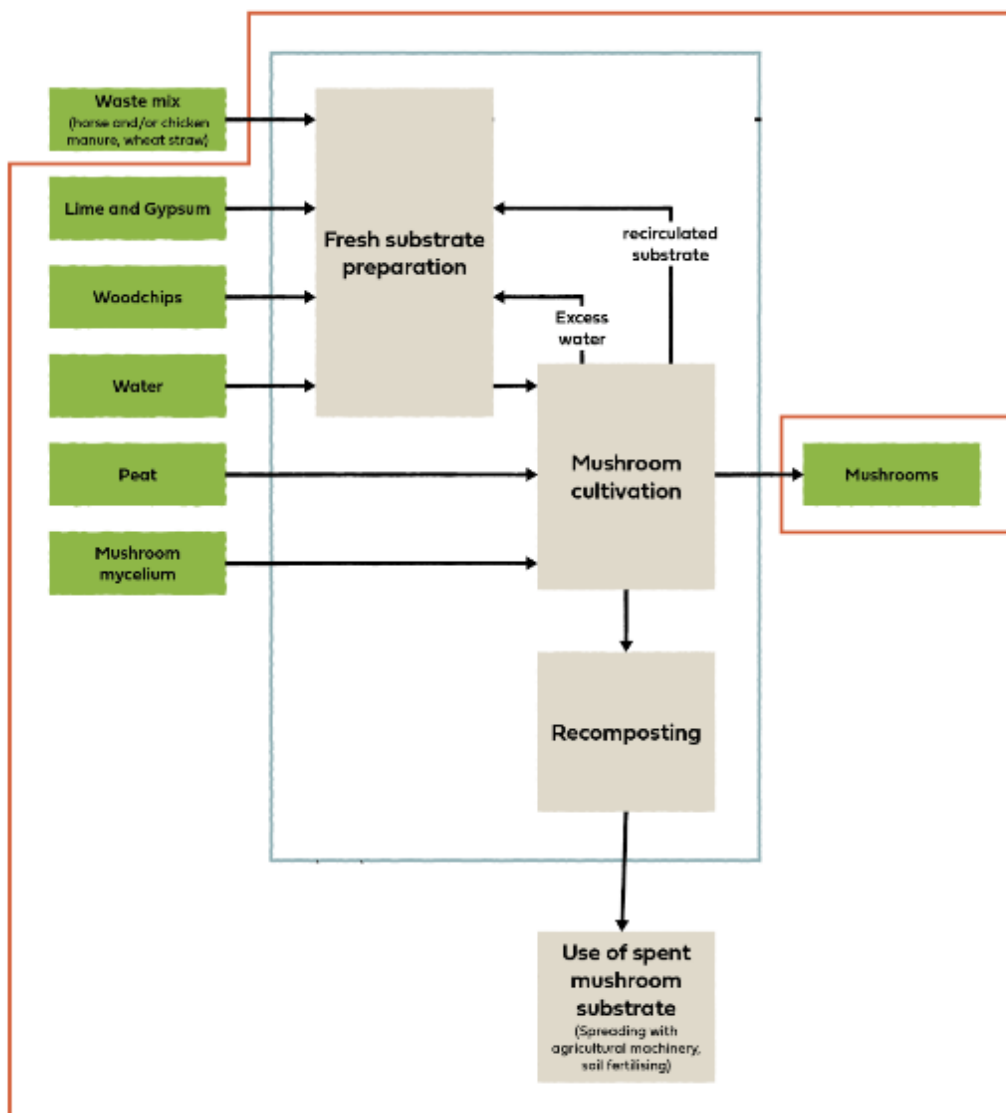


Figure 16. Flussdiagramm Verbrauchtes Pilzsubstrat

3.6.3.2. MARKTBEZOGENE ASPEKTE

Verbrauchtes Pilzsubstrat ist eine ideale Quelle für die Verbesserung von Böden wie Kompost. Die Preise für Kompost sind niedrig und sehr wettbewerbsfähig. Selbst wenn man nur die Preise für die Makronährstoffe ohne Kohlenstoff berechnet, ist der Preis immer noch sehr wettbewerbsfähig. Das Angebot ist auf die Produktion von Pilzen beschränkt. Da verbrauchtes Pilzsubstrat nicht sehr weit transportiert werden kann, ist das Angebot von Region zu Region unterschiedlich.

3.6.3.3. REGULATORISCHE ANALYSE

Nach der EU-Düngemittelverordnung "VERORDNUNG (EU) 2019/1009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juni 2019" ist das gebrauchte Pilzsubstrat in die Produktkategorie Funktion 3A "Organische Bodenverbesserungsmittel" eingestuft.

Gemäß der Verordnung darf ein EU-Düngemittel, das bei der Bereitstellung auf dem Markt mit der CE-Kennzeichnung versehen ist, nur aus Materialien bestehen, die den Anforderungen einer oder mehrerer der in diesem Anhang aufgeführten Kategorien von Inhaltsstoffen (CMC) entsprechen. Verbrauchtes Pilzsubstrat ist in der EU zugelassen und fällt unter CMC 10 "Folgeprodukte im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009" (bestimmte Folgeprodukte aus tierischen Nebenprodukten) oder CMC 3 "Kompost", wenn der Endpunkt für Gülle erreicht ist. Es gibt Spezifikationen für Höchstwerte von Schwermetallen und Krankheitserregern.

Die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthaltenen Krankheitserreger dürfen die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte nicht überschreiten:

Table 19. Schwellenwerte für Krankheitserreger bei verbrauchten Pilzsubstraten

Krankheitserreger	Schwellenwert
Salmonella spp.	Kein Befund in 25 g oder 25 ml
Escherichia coli oder Enterococcaceae	1000 in 1 g oder 1 ml

Die in einem organischen Bodenverbesserungsmittel enthaltenen Schadstoffe dürfen die folgenden Grenzwerte nicht überschreiten:

Table 20. Schadstoffschwellenwert für verbrauchte Pilzsubstrate

Schadstoff	Schwellenwert
Kadmium (Cd)	2 mg/kg Trockensubstanz
Chrom VI (Cr VI)	2 mg/kg Trockensubstanz
Quecksilber (Hg)	1 mg/kg Trockenmasse
Nickel (Ni)	50 mg/kg Trockensubstanz
Blei (Pb)	120 mg/kg Trockensubstanz
Anorganisches Arsen (As)	40 mg/kg Trockensubstanz
Kupfer (Cu)	300 mg/kg Trockensubstanz
Zink (Zn)	300 mg/kg Trockensubstanz

Es können auch nationale Vorschriften gelten.

Verbrauchtes Pilzsubstrat ist im ökologischen Landbau erlaubt, allerdings müssen Biobetriebe nachweisen, dass die Bestandteile des Substrats nicht aus der industriellen Tierhaltung stammen und dürfen nicht mehr als 170 kg Stickstoff ausbringen (EU 2018/448).

Zusätzlich zu den EU-Rechtsvorschriften und der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) müssen möglicherweise nationale und regionale Vorschriften beachtet werden, z. B. Bioabfallverordnungen, Düngemittelverordnungen, Verordnungen zur Verbringung von Wirtschaftsdünger und Vorschriften in Wasserschutzgebieten oder Gebieten mit anderem Schutzstatus. Diese Verordnungen können auch vorübergehende Beschränkungen für die Ausbringung von Düngemitteln enthalten, z. B. im Winter. Es kann sein, dass die Ausbringung des Substrats gemäß diesen Verordnungen bei der zuständigen Behörde gemeldet werden muss.

3.6.4. Referenzen:

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organische Handelsdünger im ökologischen Landbau, S.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

VERORDNUNG EU 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

VERORDNUNG EU 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Düngemittelverordnung: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, § 3 Abs. 5 in Verbindung mit Anhang 3

[Champost - RPZ Rheinische Pilz-Zentrale \(rhpz.de\)](http://Champost-RPZ-Rheinische-Pilz-Zentrale.rhpz.de)

Lakaria, B. L., et al. "Bodengesundheit: Konzept, Komponenten, Management und Möglichkeiten". *Advances in Compost Production Technology* (2019): 95-103.

4. Schlussfolgerungen

Kreislaufdünger sind im Vergleich zu energieintensiven synthetischen Düngemitteln eine nachhaltige Option und bieten viele verschiedene Möglichkeiten - sowohl für konventionelle als auch für ökologische Landwirte. Sie sind für alle Kulturen geeignet - von Gemüse und Obst bis hin zu Ackerkulturen einschließlich Leguminosen.

Struvit bietet die Möglichkeit der Rückgewinnung von Phosphor, dem limitierendsten Nährstoff in der Landwirtschaft, da die Quellen für Rohphosphat nicht unbegrenzt und oft kontaminiert sind. Federmehl bietet organischen Stickstoff mit nicht zu viel Phosphor, was für Gemüse- und Obstbauern ein wichtiger Aspekt sein kann. Stabilisierter Klärschlamm liefert Makro- und Mikronährstoffe, die in der Regel relativ schnell freigesetzt werden.

Mit einem hohen und stabilen Kohlenstoffgehalt sind kompostierte Bioabfälle und verbrauchtes Pilzsubstrat die typischen "Bodenverbesserer". Aber auch die anderen Nährstoffe sollten nicht unterschätzt werden, denn sie sind nicht teuer, und die Verfügbarkeit der Nährstoffe ist recht gut. Die feste Fraktion ist im Vergleich ziemlich einzigartig, da sie sowohl schnell verfügbaren Stickstoff als auch etwas stabilen Kohlenstoff liefert.

Viele der Kreislaufdünger weisen große Schwankungen auf. Aus diesem Grund sollte der genaue Gehalt der liefernden Substratpflanze bekannt sein.

Ein kritischer Aspekt ist, dass rechtliche Fragen den Einsatz all dieser Düngemittel einschränken können. Auch wenn die Preise der meisten Kreislaufdünger wettbewerbsfähig sind, muss die Akzeptanz der Landwirte für Kreislaufdünger verbessert werden. Die Verfügbarkeit von Kreislaufdüngern sollte auch durch eine Steigerung der Produktion verbessert werden.

Um mehr als 60 Wertschöpfungsketten für Kreislaufdünger kennenzulernen, besuchen Sie die [FER-PLAY-Datenbank](#). Wenn Sie tief in die ökologische, soziale, wirtschaftliche und regulatorische Bewertung der sieben vorgestellten Düngemittel eintauchen möchten, schauen Sie sich [D2.2 "Multi-assessment of impacts, trade-offs and framework conditions"](#) an.



fer ▶ play

*"Dieses Projekt wurde durch das Forschungs- und Innovationsprogramm
Horizont Europa der Europäischen Union unter der Finanzhilfvereinbarung
Nr. 101060426 gefördert."*



Finanziert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind jedoch ausschließlich die des Autors/der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder der Europäischen Exekutivagentur für die Forschung wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können für sie verantwortlich gemacht werden.

