D3.1. Richtlijnen voor eindgebruikers van meststoffen

Dit project is gefinancierd door het onderzoeks- en innovatieprogramma Horizon Europe van de Europese Unie onder subsidieovereenkomst nr. 101060426.

Informatieblad te leveren producten

Versie	FINAAL
Nummer subsidieovereenkomst	101060426
Acroniem project	FER-PLAY
Titel project	Multi-evaluatie van circulaire meststoffen voor de bevordering van lokale duurzame waardeketens en ecosystemen
Projectoproep	HORIZON-CLD-2021-ZEROPOLLUTION-01
Duur van het project	September 2022 - februari 2025 (30 maanden)
Leverbaar aantal	3.1
Titel	Richtlijnen voor eindgebruikers
Type te leveren product	Rapport
Deliverable Verspreidingsniveau	PU - Publiek
Werkpakket	WP3
Auteurs	Naturland: Ramona Kinder, Werner Vogt-Kaute Coldiretti: Partick Prociuc
Bijdragende partners	CIC, NuReSys. EBA
Recensenten	CETENMA, CIC
Vervaldatum	30 september 2024
Leveringsdatum	30 september 2024
Geschiedenis	Concept 1 gedeeld met WP-leiders op 16 augustus 2024. Ontwerp 2 gedeeld met de coördinator op 6 september 2024 Ontwerp 3 gedeeld met de coördinator op 19 september 2024 Definitieve versie verzonden naar de coördinator op 30 september 2024

Lijst van tabellen

Table 1. Nutriëntengehalte in verenmeel in droge stof 12

Table 2. Aanbevelingen voor het gebruik van verenmeel (controleer de regionale voorschriften) 13

Table 3. Drempelwaarden voor pathogenen voor verenmeel 15

Table 4. Drempelwaarden voor verontreinigingen in verenmeel 16

Table 5. Nutriëntengehalte van struviet ($NH_4MgPO_4.6H_2O$) 17

Table 6. Aanbevelingen voor het gebruik van struviet (controleer de regionale voorschriften) 17

Table 7. Drempelwaarden voor pathogenen voor struviet 20

Table 8. Nutriëntengehalte in bioafvalcompost in droge stof (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et at, 2014) 22

Table 9. Aanbevelingen voor het gebruik van compost van bioafval (controleer de regionale voorschriften) 23

Table 10. Drempelwaarde voor pathogenen voor compost van bioafval 26

Table 11. Drempelwaarde voor verontreinigingen in compost van bioafval 26

Table 12. Gemiddeld nutriëntengehalte van gestabiliseerd slib in de droge stof 28

Table 13. Aanbevelingen voor het gebruik van gestabiliseerd slib (controleer de regionale voorschriften) 29

Table 14. Drempelwaarden voor verontreinigingen (mg/kg droge stof) voor gestabiliseerd slib 33

Table 15. Nutriëntengehaltes in de dikke fractie van digestaat in droge stof (Bundesgütegemeinschaft, 2018) 35

Table 16. Aanbevelingen voor toepassing van de dikke fractie van digestaat (controleer de regionale voorschriften) 36

Table 17. Nutriëntengehaltes in droge stof in champost (Möller et al, 2014) 41

Table 18. Aanbevelingen (controleer de regionale voorschriften) voor champost 41

Table 19. Drempelwaarden voor ziekteverwekkers voor champignonsubstraten 45

Table 20. Drempelwaarde van verontreinigingen voor gebruikte champignonsubstraten 45

Lijst met afbeeldingen

Figure 1. FER-PLAY's selectie van de zeven meest veelbelovende waardeketens voor circulaire meststoffen in de Europese Unie 11

Figure 2. Verenmeelkorrels en verenmeel (Beckmann & Brehm) 14

Figure 3. Stroomdiagram verenmeel 14

Figure 4. Struvietkorrels (Else Bünemann, FIBL) 19

Figure 5. Stroomdiagram struviet uit industrieel afvalwater 19

Figure 6. Compost verspreiden (foto CIC) 23

Figure 7. Stroomdiagram compost van bioafval 25

Figure 8. Het draaien van composthoop en compostfabriek van de stad Wenen (Hartl, 2014) 25

Figure 9. Uitstrooien van gestabiliseerd slib 29

Figure 10. Gestabiliseerd slib na het persen (Bundesarchiv) 31

Figure 11. Stroomdiagram van gestabiliseerd slib van stedelijk afvalwater 31

Figure 12. Stroomdiagram dikke fractie van digestaat uit voedselafval 38

Figure 13. Biogasinstallatie met technische ruimte, silo's, fermentatietank, opslagplaats en gasopslag (links) en scheider van de dikke fractie (rechts; E. Räder) 38

Figure 14. Productieschema van het champignonsubstraat 43

Figure 15. Tijdlijn vanaf de levering van de grondstoffen tot de retourlevering van het gebruikte champignonsubstraat 43

Figure 16. Stroomdiagram Afgewerkt champignonsubstraat 44

Trefwoordenlijst

Richtlijnen
Aanbevelingen
Eindgebruikers van meststoffen
Circulaire meststoffen
Efficiënt gebruik van hulpbronnen
Circulaire waardeketens voor meststoffen
Landbouw, levenscyclusanalyse
Zuiveringsslib
Bio-afval
Organische bijproducten
Afvalwater
Afgewerkt champignonsubstraat
Compost
Digestaat
Verenmeel
Afvalwater

Disclaimer

Dit document geeft de standpunten van de auteur(s) weer en weerspiegelt niet noodzakelijkerwijs de standpunten of het beleid van de Europese Commissie. Hoewel alles in het werk is gesteld om de nauwkeurigheid en volledigheid van dit document te waarborgen, is de Europese Commissie niet verantwoordelijk voor het gebruik van de informatie die het bevat, noch voor eventuele fouten of weglatingen, ongeacht de oorzaak. Dit document is geproduceerd onder de Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationale Licentie.

Inhoudsopgave

Informatieblad te leveren producten 1
Lijst van tabellen 2
Lijst met afbeeldingen 3
Trefwoordenlijst 4
Disclaimer 4

1. Samenvatting 8

2. Inleiding 9

3. Aanbevelingen 12

3.1. Verenmeel 12

3.1.1. Aanbevelingen voor gebruik 12

3.1.2. Bodemverbetering 13

3.1.3. Technische feiten 13

3.1.3.1. Productieproces 13

3.1.3.2. Marktgerelateerde aspecten 15

3.1.3.3. Analyse van regelgeving 15

3.1.4. Referenties 16

3.2. Struviet uit stedelijk en industrieel afvalwater 17

3.2.1. Aanbevelingen voor gebruik 17

3.2.2. Bodemverbetering 18

3.2.3. Technische feiten 18

3.2.3.1. Productieproces 18
3.2.3.2. Marktgerelateerde aspecten 20
3.2.3.3. Analyse van regelgeving 20
3.2.4. Referenties 21
3.3. Gecomposteerd bioafval 21
3.3.1. Aanbevelingen voor gebruik 21
3.3.2. Bodemverbetering 23
3.3.3. Technische feiten 24
3.3.3.1. Productieproces 24
3.3.3.2. Marktgerelateerde aspecten 25
3.3.3.3. Analyse van regelgeving 26
3.3.4. Referenties 27
3.4. Gestabiliseerd slib 28
3.4.1. Aanbevelingen voor gebruik 28
3.4.2. Bodemverbetering 29
3.4.3. Technische feiten 29
3.4.3.1. Productieproces 29
3.4.3.2. Marktgerelateerde aspecten 32
3.4.3.3. Analyse van regelgeving 32
3.4.4. Referenties 33
3.5. Dikke fractie van digestaat 34
3.5.1. Aanbeveling voor gebruik 34
3.5.2. Bodemverbetering 36

3.5.3. Technische feiten 36

3.5.3.1. Productieproces 36

3.5.3.2. Marktgerelateerde aspecten 39

3.5.3.3. Regelgevende analyses 39

3.5.4. Referenties 40

3.6. Champost 40

3.6.1. Aanbeveling voor gebruik 40

3.6.2. Bodemverbetering 42

3.6.3. Technische aspecten 42

3.6.3.1. Productieproces 42

3.6.3.2. Marktgerelateerde aspecten 44

3.6.3.3. Analyse van regelgeving 44

3.6.4. Referenties: 46

4. Conclusies 47

1. Samenvatting

Nieuwe alternatieve waardeketens voor circulaire meststoffen zijn de afgelopen tien jaar verschenen als veelbelovende opties om conventionele meststoffen te vervangen. FER-PLAY bracht achtenveertig waardeketens van secundaire grondstoffen in kaart en selecteerde vervolgens de zeven meest veelbelovende op basis van een door het project ontwikkelde methodologie. Meer details over dit proces zijn te vinden in D1.2 "**Verslag over de selectie van waardeketens voor circulaire meststoffen**". Uiteindelijk werden de volgende zeven waardeketens geselecteerd: struviet uit stedelijk afvalwater, struviet uit industrieel afvalwater, gestabiliseerd slib, gecomposteerd bioafval, verenmeel, dikke fractie van digestaat en champost. Zie voor meer informatie www.fer-play.eu.

Deze richtlijnen geven eindgebruikers informatie over deze geselecteerde meststoffen, aanbevelingen voor toepassing, effecten op de bodem, productie van de meststof, regelgevingskwesties en literatuur. De richtlijnen helpen landbouwers om te beslissen welke circulaire meststof kan worden gebruikt onder specifieke omstandigheden en voor welke gewassen.

De geselecteerde meststoffen hebben verschillende effecten. Nieuwe circulaire meststoffen kunnen landbouwers verschillende voordelen bieden, zoals voedingsstoffen en koolstof voor de toevoer van nutriënten en verbetering van de bodemvruchtbaarheid. De aanbevelingen zijn afgestemd op de verschillende gewastypen (granen, peulvruchten, groenten, wijngaarden en boomgaarden). Naast de EU-wetgeving en het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) moeten nationale en regionale voorschriften in acht worden genomen, omdat deze het gebruik van al deze meststoffen kunnen beperken.

De belangrijkste resultaten van dit document zijn:

- Het assortiment van verschillende circulaire meststoffen biedt goede opties voor verschillende behoeften van een duurzame landbouw.
- Struvietproductie biedt de mogelijkheid om fosfor terug te winnen, de meest beperkende grondstof in de landbouw, omdat bronnen van rotsfosfaat eindig zijn en vaak verontreinigd.
- Verenmeel biedt organische stikstof met niet te veel fosfor, wat een belangrijk aspect kan zijn voor groente- en fruittelers.
- Gestabiliseerd slib levert macro- en micronutriënten die meestal relatief snel vrijkomen.
- Met een hoog en stabiel koolstofgehalte zijn gecomposteerd bioafval en champost de typische "bodemverbeteraars". Maar de andere nutriënten mogen niet onderschat worden, omdat ze niet duur zijn en vrij goed verkrijgbaar.
- De dikke fractie van digestaat levert zowel snel beschikbare stikstof als wat stabiele koolstof.

2. Inleiding

FER-PLAY is een Horizon Europe-project dat de invoering van circulaire meststoffen bevordert om ecosystemen te beschermen, de afhankelijkheid van de EU van de invoer van meststoffen te verminderen, circulariteit te stimuleren en de bodemgezondheid te verbeteren. Het project bracht circulaire meststoffen gemaakt van secundaire grondstoffen, zoals mest, in kaart en beoordeelde ze, en benadrukte hun meervoudige voordelen om de productie en het gebruik ervan op grote schaal in het veld te bevorderen.

Met dit laatste doel voor ogen heeft FER-PLAY een belangrijke inspanning geleverd om inzicht te krijgen in de verschillende perspectieven van drie groepen belanghebbenden: eindgebruikers, meststofproducenten en overheidsinstanties, om hun belangrijkste knelpunten te behandelen in specifieke richtlijnen voor elke doelgroep. De richtlijnen zijn beschikbaar in de sectie 'Resources' van de projectwebsite en op Zenodo en bij de uitwerking ervan is rekening gehouden met de resultaten van de multi-thematische beoordeling van de effecten en kansen op economisch, regelgevend, sociaal en milieuniveau die het project heeft uitgevoerd en waarvan de resultaten beschikbaar zijn in D2.2 "Multi-beoordeling van effecten, trade-offs en randvoorwaarden". Met dit doel is een specifiek werkpakket gewijd aan deze discussies en de meest geschikte aanpak was het volgen van co-creatieprincipes, wat betekent dat kennis systematisch wordt gedeeld, gemobiliseerd en geactiveerd[1].

De ervaring van de partners van het FER-PLAY consortium en de feedback die via deze activiteiten is verzameld, hebben geleid tot de opstelling van een reeks richtlijnen (opgenomen in D3.1, D3.2 en D3.3) die een antwoord moeten bieden op de vragen die het meest gesteld worden door de producenten van circulaire meststoffen, de eindgebruikers en de overheden. De aanbevelingen van de richtlijnen voor eindgebruikers zijn ook gebaseerd op de uitkomsten van de dialoog en het co-creatieproces met de boerengroepen in Italië, Spanje, België en Duitsland.

Dit document bevat aanbevelingen voor gebruik, effecten van bodemverbetering, informatie over het product en regelgevingskwesties. De gepresenteerde informatie is gebaseerd op traditionele kennis, nieuwe onderzoeksresultaten en publicaties voor landbouwers. Er is weinig gedetailleerde informatie beschikbaar over de aanbevelingen voor het gebruik van sommige van de nieuwe meststoffen. Daarom zijn er enkele nieuwe aanbevelingen ontwikkeld, gebaseerd op de aanbevelingen voor andere meststoffen. De literatuurreferenties zijn in de meeste gevallen publicaties voor landbouwers.

[1] Triste, L. september 2018. Communities of practice for knowledge co-creation on sustainable dairy farming.

Landbouwers beschikken vaak nog niet over alle informatie van de nieuwe circulaire meststoffen. Veel landbouwers hebben bijvoorbeeld niet gehoord dat struviet een nieuw interessant alternatief is voor minerale meststoffen en rotsfosfaat. Dit gebrek aan kennis brengt een gebrek aan vertrouwen en negatieve vooroordelen met zich mee. Maar circulaire meststoffen kunnen verschillende voordelen bieden: levering van nutriënten met een relatief snelle tot langzame afgifte en/of verhoging van het koolstofgehalte bij een hoge C:N-verhouding. Circulaire meststoffen zijn nog niet op grote schaal beschikbaar op de lokale en internationale markt, maar de vraag zal naar verwachting toenemen, waardoor het de moeite waard is om meer capaciteit op te bouwen voor productie en marketing, rekening houdend met het feit dat de logistiek van sommige meststoffen, zoals compost, economisch niet rendabel is over een lange afstand, terwijl andere, zoals struviet, een hoge nutriëntendichtheid hebben en geschikt zijn voor bredere markten.

Deze verzameling aanbevelingen heeft als doel de kennislacunes over circulaire meststoffen te verkleinen. Betere kennis helpt vooroordelen te verminderen en vergroot de interesse. De aanbevelingen proberen het optimale gebruik van de geselecteerde circulaire meststoffen te laten zien.

De meeste nieuwe circulaire meststoffen zijn toegestaan in de biologische landbouw en bieden biologische landbouwers de mogelijkheid om negatieve nutriëntenbalansen (vooral fosfor) in evenwicht te brengen voor een duurzame productie.

Figure 1. FER-PLAY's selectie van de zeven meest veelbelovende waardeketens voor circulaire meststoffen in de Europese Unie

3. Aanbevelingen

3.1. Verenmeel

3.1.1. Aanbevelingen voor gebruik

Verenmeel bevat veel stikstof en weinig koolstof. Het is vergelijkbaar met andere meststoffen uit dierlijke bijproducten zoals beendermeel of bloedmeel. Na het aanbrengen dient het lichtjes in de bovenste laag van de grond gewerkt te worden. Onder normale vegetatieomstandigheden begint het effect van stikstof na enkele dagen en is het duidelijk zichtbaar na 6 tot 8 weken. Het effect van stikstof is relatief snel voor een organische meststof en niet langdurig. Verwacht kan worden dat 75 - 80% van de stikstof na een jaar is vrijgegeven. Er is bezorgdheid over verbranding van planten door direct contact, wat kan worden opgelost door het te mengen met andere meststoffen of door het in de grond te verwerken.

Vanwege de hogere prijs wordt verenmeel meestal niet toegepast op granen, maar op groenten en fruit.

Table 1. Nutriëntengehalte in verenmeel in droge stof

Voedingsstoffen	Gemiddelde waarde
Droge stof	95%
pH-waarde	5,5
Organisch materiaal	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 %
Fe	520 mg/kg

Voedingsstoffen	Gemiddelde waarde
Mn	21 mg/kg
Zn	195 mg/kg
Cu	15 mg/kg
B	< 10 mg/kg
Mo	< 1 mg/kg

Verenmeel is verkrijgbaar in zakken van 25 kg en big bags van 1000 kg. Bewaar op een koele, droge plaats, beschermd tegen zonlicht. Niet mengen met voer en contact met dieren vermijden. Watervervuiling moet vermeden worden. Pellets kunnen gestrooid worden met een normale kunstmeststrooier.

Table 2. Aanbevelingen voor het gebruik van verenmeel (controleer de regionale voorschriften)

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	30 - 80 kg/N ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Feb - mei
Peulvruchten	-	-
Groenten	N-behoefte afhankelijk van gewas en bodemanalyses	Feb - Sep
Boomgaarden en wijngaarden	N-behoefte afhankelijk van gewas en bodemanalyses	Januari - mei

3.1.2. Bodemverbetering

Als organische meststof activeert verenmeel het bodemleven, verbetert het de bodemstructuur en het watervasthoudend vermogen. Het effect van het verbeteren van het koolstofgehalte in de bodem is lager dan bij meststoffen met een hoge C:N-verhouding zoals compost.

3.1.3. Technische feiten

3.1.3.1. PRODUCTIEPROCES

Wanneer pluimvee wordt geslacht, worden de veren en de daaraan vastzittende huid- en ontlastingresten en andere verontreinigingen verzameld, gepasteuriseerd, gedroogd, geplet en, indien nodig, gehydrolyseerd. Ze kunnen worden verwerkt tot pellets of granulaten. Verenmeel wordt gebruikt als enkelvoudige meststof of als samengestelde meststof in een mengsel met

andere meststoffen (bijv. vinasse, raapzaadmeel, cacaodoppen), bijv. Bioilsa. De hydrolysaten worden ook gebruikt voor diervoeder.

Figure 2. Verenmeelkorrels en verenmeel (Beckmann & Brehm)

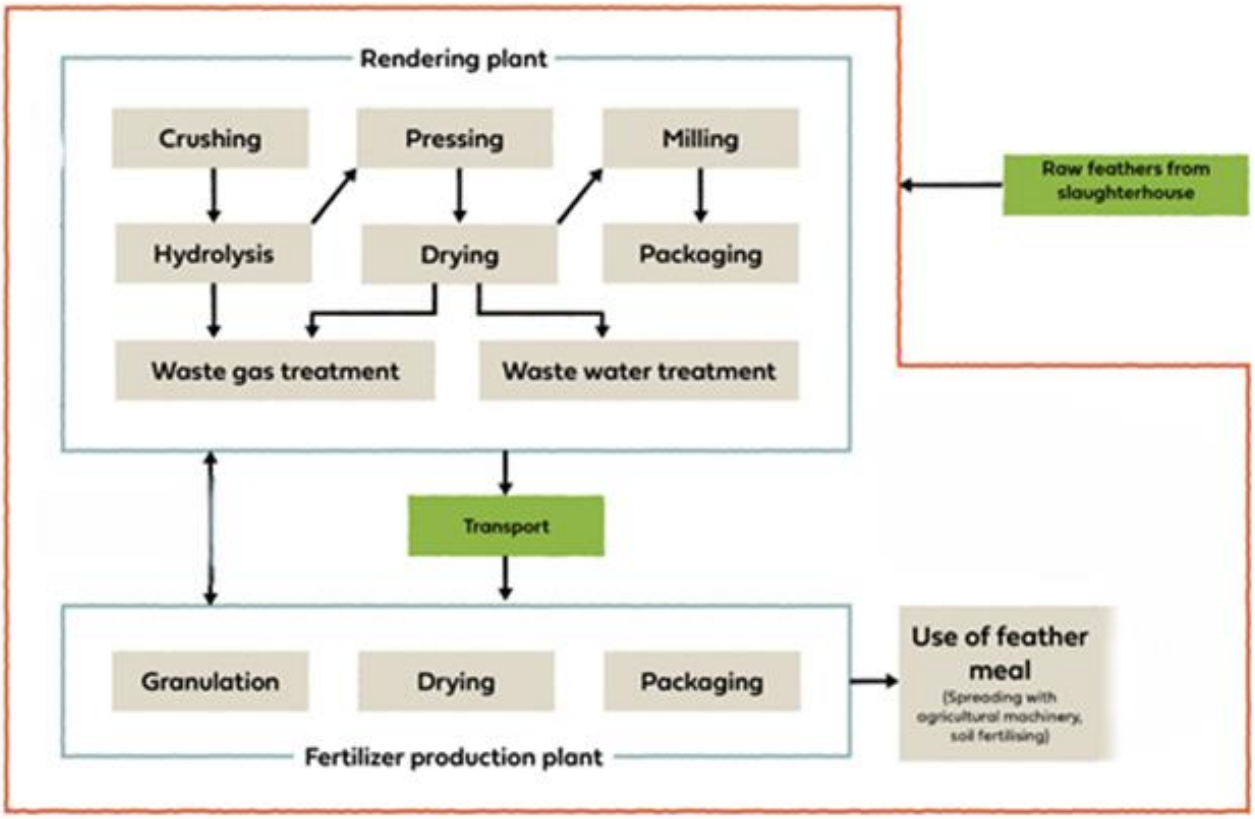

Figure 3. Stroomdiagram verenmeel

3.1.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

Verenmeel is een bijproduct van de slacht, net als beendermeel, vleesmeel, bloedmeel, hoornmeel en haarmeel, die op dezelfde manier worden gebruikt. De prijzen zijn hoger dan die van sommige kunstmeststoffen. Daarom wordt verenmeel relatief vaak gebruikt in de biologische landbouw, vooral in tuinbouw- en fruitgewassen. Het gebruik van dierlijke bijproducten kan concurreren met het gebruik als diervoeder, wat een hogere prijs kan opleveren voor de producent. De hoeveelheden zijn beperkt, maar kunnen een belangrijk onderdeel zijn van een strategie met circulaire meststoffen, omdat de stikstof vrij snel vrijkomt. De productie is afhankelijk van de hoeveelheden pluimvee. Transportkosten zijn geen belangrijke prijsfactor, dus verenmeel zou in elke regio beschikbaar moeten zijn.

3.1.3.3. ANALYSE VAN REGELGEVING

Volgens "VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 5 juni 2019" wordt verenmeel ingedeeld in productcategorie 1A 1 "Vaste organische meststof voor de bodem".
Volgens bovengenoemde verordening mag een EU-meststof alleen bestaan uit ingrediënten die voldoen aan de eisen voor een of meer van de in deze bijlage vermelde categorieën van samenstellende materialen (CMC). Verenmeel in de vorm van gehydolyseerde eiwitten is toegestaan in de EU en wordt hier ingedeeld onder CMC 10 "afgeleide producten in de zin van Verordening (EG) nr. 1069/2009" (bepaalde afgeleide producten van dierlijke bijproducten).
Er zijn specificaties voor maximale gehaltes aan zware metalen en ziekteverwekkers.

Pathogenen in een organische bodemverbeteraar mogen de limieten in de volgende tabel niet overschrijden:

Table 3. Drempelwaarden voor pathogenen voor verenmeel

Ziekteverwekker	Drempel
Salmonella spp.	Geen bevindingen in 25 g of 25 ml
Eschericha coli of Enterococcaceae	1000 in 1 g of 1 ml

Verontreinigingen in een organische bodemverbeteraar mogen de volgende limieten niet overschrijden:

Table 4. Drempelwaarden voor verontreinigingen in verenmeel

Verontreinigende stof	Drempel
Cadmium (Cd)	2 mg/kg droge stof
Chroom VI (Cr VI)	2 mg/kg droge stof
Kwik (Hg)	1 mg/kg droge stof
Nikkel (Ni)	50 mg/kg droge stof
Lood (Pb)	120 mg/kg droge stof
Anorganisch arseen (As)	40 mg/kg droge stof
Koper (Cu)	300 mg/kg droge stof
Zink (Zn)	300 mg/kg droge stof

Biureet (C2H5N3O2) mag niet aanwezig zijn in een organische meststof. Chroom VI mag niet aantoonbaar zijn. Verenmeel mag niet worden toegepast op eetbare delen van het gewas. Nationale regelgeving kan ook van toepassing zijn.

Verenmeel is toegestaan in de biologische landbouw, maar biologische bedrijven mogen niet meer dan 170 kg stikstof opbrengen (EU 2018/448).

Naast de EU-wetgeving en het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) moeten mogelijk ook nationale en regionale voorschriften worden nageleefd, bijv. verordeningen inzake bioafval, meststoffen, overdracht van landbouwmest en voorschriften in waterbeschermingsgebieden of gebieden met een andere beschermingsstatus. Deze voorschriften kunnen ook tijdelijke beperkingen inhouden voor het uitrijden van meststoffen, bijvoorbeeld in de winter. Het kan zijn dat de toepassing van het substraat moet worden gemeld aan de bevoegde autoriteit onder deze voorschriften.

3.1.4. Referenties

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organic commercial fertilisers in organic farming, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

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

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

Fertiliser Ordinance: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Section 3 para. 5 in conjunction with Annex 3

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

3.2. Struviet uit stedelijk en industrieel afvalwater

3.2.1. Aanbevelingen voor gebruik

Struviet kan worden toegepast op alle gewassen, omdat alle gewassen fosfor (P) nodig hebben. Het is een zeer goed alternatief voor rotsfosfaat.

De afgifte van P is laag, maar continu, wanneer het wordt opgelost door wortelexudaten of in zure bodems. In tegenstelling tot rotsfosfaat komt het zelfs beschikbaar in alkalische bodems (RELACS, 2021).

Omdat struviet P vrij traag vrijgeeft, wordt toepassing vóór het zaaien of bij het zaaien aanbevolen. Struviet moet in de grond worden opgenomen na een breedwerpige toepassing. Gebruik van struviet in rijen is ook mogelijk (Bünemann, 2022).

Table 5. Nutriëntengehalte van struviet ($NH_4MgPO_4.6H_2O$)

Nutriënten	Gemiddelde waarde
N	5 %
P_2O_5	28 %
Mg	10 %
K_2O	< 1%

Struviet bevat geen cadmium, in tegenstelling tot rotsfosfaat.

Struviet is geformuleerd in korrels met een diameter van ongeveer 1 tot 3 mm, waardoor het gebruikt kan worden in normale landbouwmachines. Droog bewaren.

Table 6. Aanbevelingen voor het gebruik van struviet (controleer de regionale voorschriften)

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	70 - 100 kg/ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Het hele jaar
Peulvruchten	70 - 100 kg/ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Het hele jaar
Groenten	70 - 100 kg/ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Het hele jaar
Boomgaarden en wijngaarden	70 - 100 kg/ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Het hele jaar

De maximaal toe te passen hoeveelheid komt overeen met de verwachte P-opname van het gewas. De aanbevolen dosis is vergelijkbaar met andere P-meststoffen.

Struviet kan worden gemengd met andere vaste meststoffen of kan worden opgelost in een zure oplossing.

Struviet heeft verschillende voordelen, vooral in vergelijking met het niet-hernieuwbare rotsfosfaat:

- *Struviet voegt geen nieuwe P toe aan de cyclus, omdat het werd gerecycleerd. Bronnen van rotsfosfaat zijn beperkt.*
- *Er is geen bodemvervuiling met cadmium, radioactieve mineralen en andere verontreinigende stoffen.*
- *Er is een continue afgifte, zelfs in alkalische bodems.*

Struviet is gemakkelijk aan te brengen met bestaande landbouwmachines.

3.2.2. Bodemverbetering

Fosfor is een essentieel mineraal in de bodem en in planten. Voldoende fosfor is nodig voor de groei van planten en het leven in de bodem.

3.2.3. Technische feiten

3.2.3.1. PRODUCTIEPROCES

Struviet is magnesiumammoniumfosfaat met de chemische formule $NH_4MgPO_4.H_2O$. In industrieel water kan het ook andere mineralen bevatten zoals kalium ter vervanging van NH_4-N. Struviet wordt geproduceerd door het neerslaan van afvalwater. Struvietkristallisatie volgt in het geval van zowel stedelijk afvalwater als industrieel afvalwater meestal een anaeroob vergistingsproces. Bij de behandeling van stedelijk afvalwater is het de bedoeling om het oplosbare fosfaat te concentreren in de microbiële massa in de waterlijn. Geactiveerd slib in combinatie met primair slib wordt toegevoegd aan een anaerobe gistingstank. Tijdens de gisting komt het fosfor vrij uit de vaste stoffen in de watermatrix, waardoor het beschikbaar komt als geconcentreerd oplosbaar PO_4-P dat kan worden neergeslagen als struviet. Vervolgens kan het struviet worden geproduceerd in het digestaat of na het ontwateren van het digestaat uit het centraat. Bij industriële afvalwaterbehandeling wordt struvietneerslag meestal gevolgd door een anaeroob afvalwaterbehandelingssysteem, bijvoorbeeld UASB.

De precipitatie en kristallisatie gebeurt door toevoeging van $MgCl_2$ en NaOH (Bünemann et al, 2021). De terugwinning van fosfor uit afvalwater is 12 - 22%, afhankelijk van het proces.

Struviet kan lokaal worden geproduceerd, overal waar een afvalwaterzuiveringsinstallatie is.

Figure 4. Struvietkorrels (Else Bünemann, FIBL)

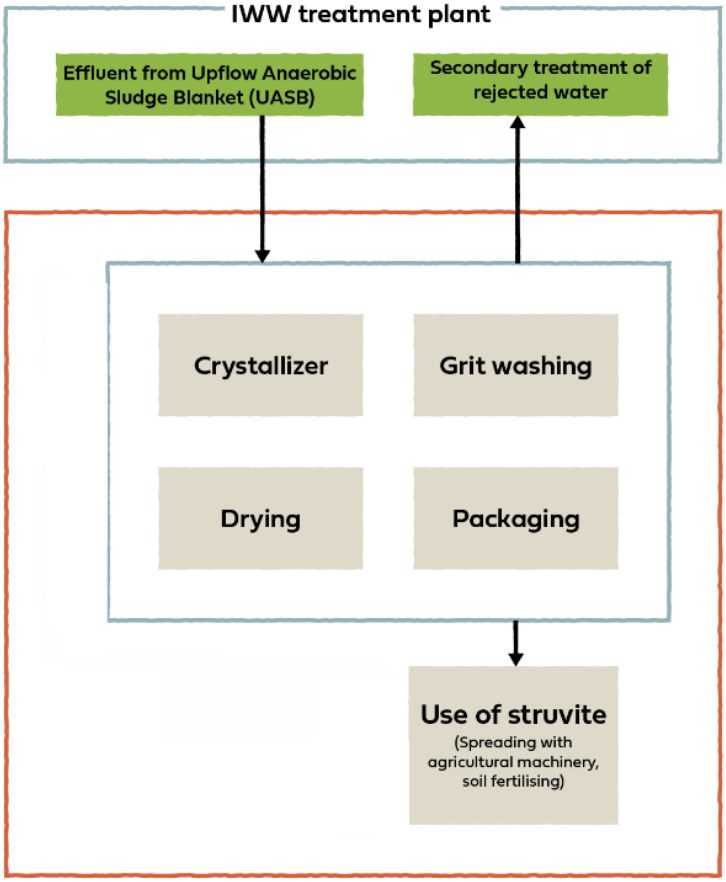

Figure 5. Stroomdiagram struviet uit industrieel afvalwater

3.2.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

Struviet is een vrij nieuwe meststof die nog niet zo bekend is in de landbouw. De hoeveelheden die worden aangeboden zijn nog beperkt en in sommige gevallen zijn er belemmeringen door regelgeving. Maar struviet en andere bijproducten van afvalwater hebben het potentieel om in de toekomst de belangrijkste bron van fosfor in de landbouw te worden, aangezien rotsfosfaat wereldwijd een beperkte bron is. Daarom is het gebruik van fosfor uit afvalwater een belangrijke optie voor de toekomst. Er kan worden verwacht dat het aanbod het komende jaar snel zal toenemen met een goede prijs-kostenverhouding, hoewel er nog steeds enkele prijsverschillen zijn in verschillende regio's. Transportkosten zijn geen belangrijke factor in de prijs, dus struviet zou in elke regio beschikbaar moeten zijn.

3.2.3.3. ANALYSE VAN REGELGEVING

Volgens "VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 5 juni 2019" mag een EU-meststof alleen bestaan uit ingrediënten die voldoen aan de voorschriften voor een of meer van de in deze bijlage vermelde categorieën van samenstellende materialen (CMC). Struviet is toegestaan in de EU en wordt hier ingedeeld onder PFC 1 "vaste anorganische meststof met macronutriënten, CMC 12 "neergeslagen fosfaatzouten en derivaten". Er zijn specificaties voor voedingsstoffen en pathogenen.
Ziekteverwekkers mogen de limieten in de volgende tabel niet overschrijden:

Table 7. Drempelwaarden voor pathogenen voor struviet

Ziekteverwekker	Drempel
Salmonella spp.	Geen bevindingen in 25 g of 25 ml
Eschericha coli of Enterococcaceae	1000 in 1 g of 1 ml

Deze voorschriften zijn niet van toepassing wanneer onder bepaalde omstandigheden sterilisatie onder druk, pasteurisatie of hygiënisatie heeft plaatsgevonden.

De neergeslagen fosfaatzouten moeten minimaal 16% fosforpentoxide (P_2O_5) in de droge stof bevatten, een maximumgehalte van 3% organische koolstof in de droge stof, maximaal 3 g/kg macroscopische onzuiverheden van meer dan 2 mm in welke vorm dan ook (organisch materiaal, glas, stenen, metaal, plastic) en maximaal 5 g/kg van de som in de droge stof. Er kunnen ook nationale regels van toepassing zijn. In sommige landen gelden nog steeds beperkingen.

Teruggewonnen struviet en neergeslagen fosfaatzouten zijn met de Uitvoeringsverordening 2023/121 op 17 januari 2023 toegevoegd aan de Verordening (EU) 2018/848 voor biologische landbouw. Dierlijke mest als bron mag niet afkomstig zijn uit de industriële veehouderij.

3.2.4. Referenties

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

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

Fertiliser Ordinance: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Section 3 para. 5 in conjunction with Annex 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

Struvite's potential as an alternative phosphorus source for organic agriculture, RELACS Practice abstract (2021), in: www.organic-farmknowledge.org/tool/40053

STRUVITE: Results about struvite precipitation (2023), NUTRI-KNOW presentation, in: https://eufarmbook.eu/en/contributions/661f794ead7afadbfd522b0a

3.3. Gecomposteerd bioafval

3.3.1. Aanbevelingen voor gebruik

Compost is een natuurlijke bodemverbeteraar die een gezonde bodem bevordert door het organische materiaal te verhogen, de microbiële activiteit te verbeteren, het gehalte aan voedingsstoffen te verhogen en vocht vast te houden.

Compost kan essentiële voedingsstoffen leveren aan planten. De gebruikte voedingsstoffen zoals stikstof zijn slechts gedeeltelijk effectief en hangen af van de C:N-verhouding. De Duitse meststoffenverordening gaat er bijvoorbeeld van uit dat 10% van het totale stikstofgehalte van de compost wordt benut in het jaar van toepassing. In het eerste daaropvolgende jaar wordt 4% van de totale stikstof in aanmerking genomen bij de berekening van de meststofbehoefte en in het tweede en derde daaropvolgende jaar moet 3% van de oorspronkelijk opgebrachte totale stikstof in aanmerking worden genomen. In werkelijkheid zal compost met een C:N-verhouding van meer dan 15:1 minder stikstof vrijgeven. Fosfaat, kalium en zwavel worden voor 100% benut.

Tabel 8 toont het gemiddelde nutriëntengehalte in de droge stof. De schommelingen zijn groot. Daarom moeten de exacte gehaltes van de leverende substraatplant bekend zijn - ook om te voldoen aan de wettelijke vereisten.

Table 8. Nutriëntengehalte in bioafvalcompost in droge stof (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et at, 2014)

Nutriënten	Gemiddelde waarde (in droge stof)	Bereik (in droge stof)
Droge stof	64 %	51 - 74 %
pH-waarde	8	7,5 - 9
Zoutgehalte	1,6 %	
Organisch materiaal	64 %	45 - 87 %
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	

Compost kan gebruikt worden voor alle gewassen, inclusief boomgaarden. Het kan worden toegepast voor het zaaien in de lente of herfst, in het gewas of na de oogst in de zomer en kan worden opgenomen in de bodem. De gebruikelijke toepassingsdosering is 10 tot 20 ton per hectare, afhankelijk van de gewasbehoefte en de bemestingsbeperkingen in de regio. In het geval van regelmatige toediening moeten de toegestane maximale toedieningshoeveelheden in acht worden genomen, vooral met betrekking tot de gehaltes aan zware metalen. Compost met een hoge C:N-verhouding kan perfect worden gebruikt voor peulvruchten, omdat er geen N-afgifte te verwachten is - het is zelfs mogelijk dat de N-fixatie kan worden versterkt door een afname van minerale N, afkomstig van de hoge C:N-verhouding.

De hoeveelheid kalium is relatief hoog en moet in overweging worden genomen, terwijl het fosforgehalte laag is, maar gemakkelijk beschikbaar.

In de tuinbouw kan compost turf voor 100% vervangen in substraten.

Het verspreiden gebeurt met in de handel verkrijgbare mestverspreiders of met specifieke machines voor het verspreiden van compost. Compost in pellets kan worden verspreid met een standaard kunstmeststrooier en kan worden gemengd met andere meststoffen.

Table 9. Aanbevelingen voor het gebruik van compost van bioafval (controleer de regionale voorschriften)

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	10 - 30 t/ha	Meestal tijdens grondbewerking voor het zaaien
Maïs	20 - 40 t/ha	Meestal tijdens grondbewerking voor het zaaien
Peulvruchten	10 - 30 t/ha als C:N-verhouding hoger is 16:1	Het hele jaar
Groenten	10 - 40 t/ha	Het hele jaar
Boomgaarden en wijngaarden (aanplant)	10 - 40 t/ha	Tijdens grondbewerking voor het planten
Boomgaard en wijngaarden	6 15 t/ha	Het hele jaar

Figure 6. Compost verspreiden (foto CIC)

3.3.2. Bodemverbetering

Compost is de ideale bron om de bodem te verbeteren door het gehalte organische stof te verhogen, omdat compost meer dan 30% C bevat. De koolstof is stabieler naarmate de C:N-verhouding hoger is. Met een gemiddelde C:N-verhouding van 16:1 is een groot deel van de koolstof relatief stabiel en heeft het een positief effect op het humusgehalte. Het draagt bij aan de opslag van koolstof in de bodem. Het effect is het meest zichtbaar op humusarme bodems (<1% humus) tot bodems met een gemiddeld humusgehalte (2-3% humus). Het verbetert ook de

bodemstructuur, stabiliteit van aggregaten, poriënvolume, waterinfiltratie, watervasthoudend vermogen, bodembiologische activiteit en bodemvruchtbaarheid. Langetermijnopbrengsten worden gestabiliseerd.

3.3.3. Technische feiten

3.3.3.1. PRODUCTIEPROCES

Compostering is een proces van ontbinding van organisch materiaal onder aerobe omstandigheden (met lucht) die beïnvloed worden door de temperatuur en het watergehalte. Alle soorten organisch materiaal kunnen worden gecomposteerd: oogstresten, bijproducten van de agro-industrie, stalmest, bladeren, snoeihout, takken en organisch huishoudelijk voedselafval. Een belangrijke factor bij de productie van compost is de verhouding tussen koolstof en stikstof (C:N-verhouding). Voor een succesvolle afbraak moet de C:N-verhouding in het begin hoger zijn dan 20:1. Materialen zoals huishoudelijk bioafval of sommige groene afvalmaterialen zoals gras kunnen een toevoeging van C-rijke materialen zoals houtsnippers nodig hebben. Als de materialen te droog zijn, moet er water worden toegevoegd. In de eerste fase, actieve compostering genoemd, bereikt het materiaal temperaturen tussen 55°C en 70°C of zelfs tot 80°C; hoge temperaturen zijn nodig om onkruidzaden en ziekteverwekkers te doden. Zulke hoge temperaturen worden bereikt en behouden vanwege de intense afbraak van de labiele organische fractie. Om dit te laten gebeuren, moeten de micro-organismen die de afbraak uitvoeren toegang hebben tot zuurstof. Er zijn twee belangrijke technologieën om dit te bereiken: de ene optie is het gebruik van statische hopen met lucht die van onderaf wordt geïnjecteerd, en de andere is het gebruik van dynamische hopen, waarbij de hoop continu wordt gedraaid en gemengd. Na de eerste fase waarin bacteriën zich snel ontwikkelen, worden ze vervangen door schimmels wanneer de afkoelfase begint. Gerijpte compost heeft een donkere kleur, verkruimelt gemakkelijk en ruikt naar bosgrond. De compostering duurt enkele maanden, afhankelijk van de methode, de intensiteit van het draaien en het einddoel van het product. Het is mogelijk om een anaeroob vergistingsproces uit te voeren op het bioafval voordat het digestaat gecomposteerd wordt met hetzelfde proces als voor vers bioafval. Op deze manier is het mogelijk om biomethaan of hernieuwbare energie te produceren en tegelijkertijd een afvalstof te beheren en een meststof te produceren.

Er zijn enkele speciale composteringsmethoden, zoals microbiële carbonisatie met lagere temperaturen, vermicompost met aardwormen en hogesnelheidsmethoden, maar die vallen buiten het bestek van deze richtlijn. Compostering wordt meestal geproduceerd in industriële composteerinstallaties, maar kan ook op de boerderij worden gedaan.

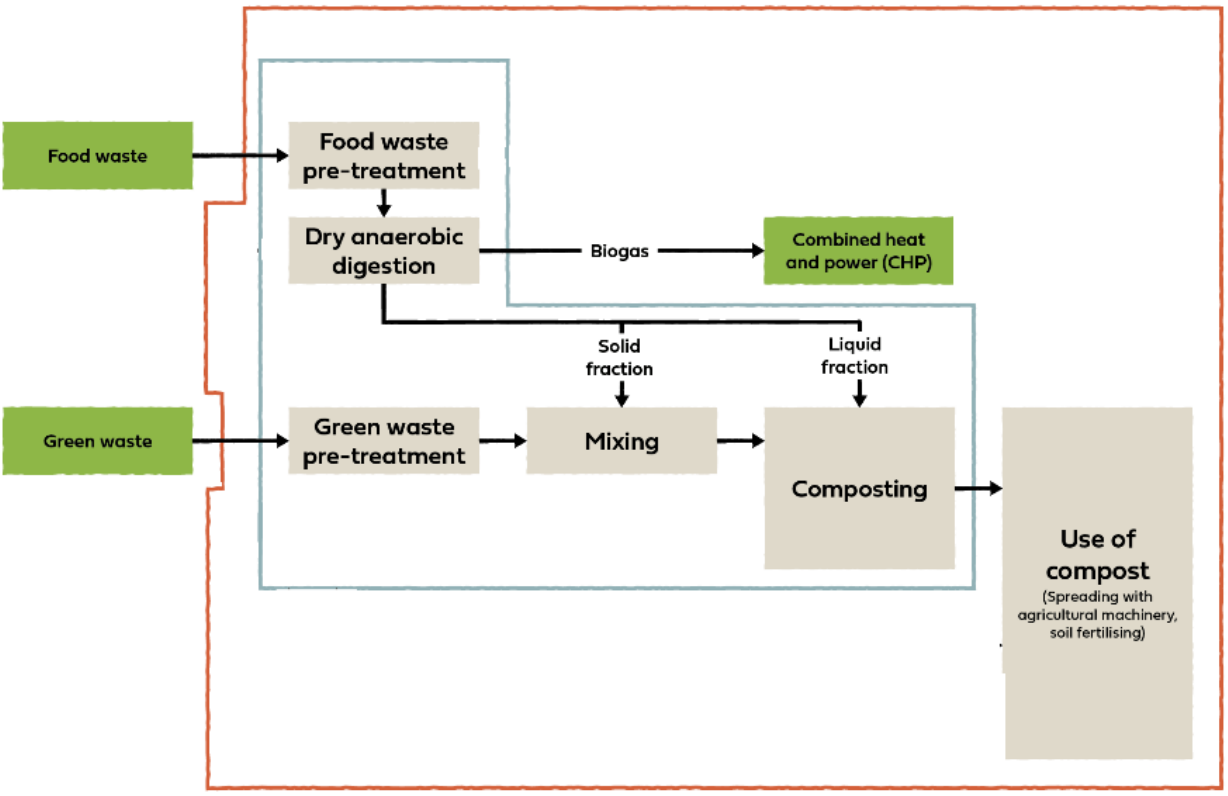

Figure 7. Stroomdiagram compost van bioafval

Figure 8. Het draaien van composthoop en compostfabriek van de stad Wenen (Hartl, 2014)

3.3.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

Compost is een ideale bron voor bodemverbetering. De prijzen van compost zijn laag en zeer concurrerend. Zelfs als je alleen de prijzen voor de macronutriënten zonder koolstof berekent, is de prijs nog steeds zeer concurrerend. De beschikbaarheid van nutriënten zoals fosfor is relatief goed. Omdat compost niet ver vervoerd kan worden, verschilt het aanbod van regio tot regio. De

productie van compost kan sterk worden verhoogd door de selectieve inzameling van voedselafval te verbeteren. Daarom is compost een belangrijk onderdeel voor de levering van circulaire meststoffen voor een toekomstige duurzame landbouw.

3.3.3.3. ANALYSE VAN REGELGEVING

Volgens de EU-verordening inzake meststoffen "VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 5 juni 2019" wordt compost ingedeeld in productcategorie functie 3A "Organische bodemverbeteraar". Compost wordt hier ingedeeld onder CMC 3 "compost". Bovendien, als het mest als ingrediënt heeft, moet het voldoen aan de nitraatrichtlijn en mag het niet meer dan 340 kg/ha stikstof of 170 kg/ha stikstof in kwetsbare zones toedienen. (EU 2018/448).
Bovengenoemde verordening stelt bepaalde eisen waarmee rekening moet worden gehouden.
De pathogenen in een organische bodemverbeteraar mogen de grenswaarden in de volgende tabel niet overschrijden. Deze waarden zijn niet relevant voor compost, omdat als het proces de actieve composteringstijd heeft doorlopen, de ziekteverwekkers afwezig zouden moeten zijn.

Table 10. Drempelwaarde voor pathogenen voor compost van bioafval

Ziekteverwekker	Drempel
Salmonella spp.	Geen bevindingen in 25 g of 25 ml
Eschericha coli of Enterococcaceae	1000 in 1 g of 1 ml

De grenswaarden voor zware metalen in een organische bodemverbeteraar zijn opgenomen in de volgende tabel.

Table 11. Drempelwaarde voor verontreinigingen in compost van bioafval

Verontreinigende stof	Drempel
Cadmium (Cd)	2 mg/kg droge stof
Chroom VI (Cr VI)	2 mg/kg droge stof
Kwik (Hg)	1 mg/kg droge stof
Nikkel (Ni)	50 mg/kg droge stof
Lood (Pb)	120 mg/kg droge stof
Anorganisch arseen (As)	40 mg/kg droge stof
Koper (Cu)	300 mg/kg droge stof
Zink (Zn)	300 mg/kg droge stof

Er zijn vereisten voor een minimale rijpheidsgraad III, een maximum van 6 mg/kg droge stof van PAK16, een maximum van niet meer dan 3 g/kg droge stof van macroscopische onzuiverheden van meer dan 2 mm in de vorm van glas, metaal of plastic en niet meer dan 5 g/kg droge stof van de som van de onzuiverheden.

Nationale voorschriften kunnen ook van toepassing zijn en kunnen verschillen.

Compost van bioafval is toegestaan in de biologische landbouw, als het product mest als grondstof bevat en niet afkomstig is van industriële veehouderij. Er zijn extra drempelwaarden voor zware metalen in compost van bioafval in de EU biologische normen.

Naast de EU-wetgeving en het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) moeten mogelijk ook nationale en regionale voorschriften worden nageleefd, bijv. verordeningen inzake bioafval, meststoffen, overdracht van landbouwmest en voorschriften in waterbeschermingsgebieden of gebieden met een andere beschermingsstatus. Deze voorschriften kunnen ook tijdelijke beperkingen inhouden voor het uitrijden van meststoffen, bijvoorbeeld in de winter. Het kan zijn dat de toepassing van het substraat moet worden gemeld aan de bevoegde autoriteit onder deze voorschriften.

3.3.4. Referenties

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organic commercial fertilisers in organic farming, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

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

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

Fertiliser Ordinance: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Section 3 para. 5 in conjunction with Annex 3

https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/Forschung/Praxismerkblaetter/18OE009_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_duengung_Juli_2018_.pdf (kompost.de)

Compost: Advantages and Disadvantages, Best4Soil Factsheet (2020), in: https://eufarmbook.eu/en/contributions/6694f31f1f007009947658a4

Compost - Practical Information, Best4Soil Factsheet (2022), in: https://eufarmbook.eu/en/contributions/6694efffcdbe474b40ec1bd7

3.4. Gestabiliseerd slib

3.4.1. Aanbevelingen voor gebruik

Gestabiliseerd slib bevordert een gezonde bodem door de organische stof te verhogen, de microbiële activiteit te verbeteren, het gehalte aan voedingsstoffen te verhogen en vocht vast te houden (Kamizela, 2022). Het kan essentiële macronutriënten (N, P, K) leveren die slechts gedeeltelijk effectief zijn en micronutriënten voor planten. De C:N-verhouding is vaak minder dan 20:1 (Novosel, 2022). Combinatie met andere organische materialen zoals compost kan de C:N-verhouding en nutriëntenbalans optimaliseren.

Tabel 12 toont het gemiddelde nutriëntengehalte in de droge stof. De schommelingen zijn groot. Daarom moeten de exacte gehaltes van de leverende substraatplant bekend zijn - ook om te voldoen aan de wettelijke vereisten.

Table 12. Gemiddeld nutriëntengehalte van gestabiliseerd slib in de droge stof

Nutriënten	Bereik
Organisch materiaal	40 - 80 %
N	3,6 - 5 %
P	0,8 - 2,5 %
K	0,1 - 0,3 %
Ca	4 - 6 %
Mg	0,6 - 2 %

Gestabiliseerd slib kan worden gebruikt voor alle gewassen, inclusief boomgaarden. Het kan worden toegepast vóór het zaaien in de lente of de herfst, in het gewas of na de oogst in de zomer en moet worden opgenomen in de bodem. De gebruikelijke toepassingsdosering hangt af van de beperkingen.

Gestabiliseerd slib moet minder dan 50% vocht bevatten voor gebruik met een normale meststrooier. Gepelletiseerd slib kan worden verspreid met een standaard kunstmeststrooier en kan worden gemengd met andere meststoffen.

Zuiveringsslib kan verontreinigende stoffen bevatten zoals zware metalen, organische verontreinigende stoffen, farmaceutische residuen of microplastic. Het mag niet worden toegepast op bodems waarop fruit- en groentegewassen worden geteeld (behalve fruitbomen) en op grasland of voedergewassen die de komende drie weken door dieren worden begraasd of geoogst.

Table 13. Aanbevelingen voor het gebruik van gestabiliseerd slib (controleer de regionale voorschriften)

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	1 - 3 tot/ha	Het hele jaar
Peulvruchten	1 - 3 tot/ha als C:N-verhouding hoger is 16:1	Het hele jaar
Groenten	1 - 3 tot/ha	Het hele jaar
Boomgaarden en wijngaarden	1 - 3 tot/ha	Het hele jaar

Het verspreiden gebeurt met in de handel verkrijgbare mestverspreiders.

Figure 9. Uitstrooien van gestabiliseerd slib

3.4.2. Bodemverbetering

Gestabiliseerd slib is een goede bron van organische stof en nutriënten. Gestabiliseerd slib verhoogt de hoeveelheid organische stof, vooral met een C:N-verhouding van 16:1 of hoger, en kan bijdragen aan de opslag van koolstof in de bodem (Glodnik, 2022). Het verbetert ook de bodemstructuur, de stabiliteit van aggregaten, het poriënvolume, waterinfiltratie, watervasthoudend vermogen, bodembiologische activiteit en bodemvruchtbaarheid (Novosel, 2022). Op lange termijn worden de opbrengsten gestabiliseerd.

3.4.3. Technische feiten

3.4.3.1. PRODUCTIEPROCES

Zuiveringsslib is een bijproduct van het zuiveringsproces van stedelijk afvalwater, afkomstig uit de primaire bezinktank, de secundaire bezinktank en andere gekoppelde processen. Het bevat organisch materiaal en voedingsstoffen, waardoor het aantrekkelijk is als meststof.

Om ervoor te zorgen dat het veilig kan worden toegepast voor landbouwdoeleinden, moet slib eerst worden gestabiliseerd en moet het watergehalte worden verlaagd. Er zijn verschillende technologieën beschikbaar voor stabilisatie. De meest gebruikte in Europa zijn anaerobe vergisting, aerobe vergisting, compostering, chemische behandeling en thermische droging.

- Anaerobe vergisting is gericht op het reduceren, stabiliseren en gedeeltelijk desinfecteren van slib. Het bestaat uit het brengen van het slib in een vat bij een temperatuur van ongeveer 35 °C gedurende een bepaalde tijd. Tijdens dit proces wordt biogas (een mengsel van methaan en kooldioxide) gegenereerd als een bijproduct en meestal gebruikt om de temperatuur van het vat te handhaven (Europese Commissie, 2001).

- Composteren is een aeroob proces dat bestaat uit het beluchten van slib gemengd met een nevenproduct zoals zaagsel of dierlijke mest. Bij compostering ontstaat overtollige warmte, die gebruikt kan worden om de temperatuur van de composterende massa te verhogen. Het mengsel evolueert dan gedurende enkele weken. Gecomposteerd slib bereikt een goed ontsmettingsniveau en wordt gestabiliseerd, waardoor er minder geuren ontstaan. Het uiteindelijke droge stofgehalte van gecomposteerd slib kan oplopen tot meer dan 60%, waardoor het gemakkelijk te hanteren is (Europese Commissie, 2001).

- Chemische behandeling verwijst meestal naar kalkbehandeling, wat betekent dat er kalk aan slib wordt toegevoegd om de pH te verhogen tot 12, waardoor de biomassa die verantwoordelijk is voor de afbraak van de organische verbindingen wordt vernietigd of geremd. De behandeling helpt ook om het slib te desinfecteren, het droge stofgehalte te verhogen en de behandeling te vergemakkelijken (Europese Commissie, 2001).

- Thermisch drogen houdt in dat er energie aan het systeem wordt toegevoegd om het water te verdampen, wat leidt tot verdichting. Een droge stofgehalte van minstens 45% is nodig om de hergroei van bacteriën tegen te gaan (Europese Commissie, 2001).

- Aerobe vergisting stabiliseert slib door de afbraak van organisch materiaal door micro-organismen onder aerobe omstandigheden (d.w.z. in aanwezigheid van zuurstof). Hoewel het een eenvoudiger proces is dan anaerobe vergisting, vereist het een aanzienlijke hoeveelheid energie (5 tot 10 keer meer dan anaerobe vergisting) (Europese Commissie, 2001).

In de meeste zuiveringsinstallaties voor stedelijk afvalwater vinden al stabilisatieprocessen plaats, omdat dit wordt aangemoedigd door de EU-regelgeving (Richtlijn 91/271/EEG), voordat er enige vorm van verwijdering plaatsvindt. Afhankelijk van de kenmerken van de zuiveringsinstallatie, d.w.z. de grootte, en de kenmerken van het influent en de geografische regio, wordt een van de vijf eerder gepresenteerde technologieën gekozen.

Figure 10. Gestabiliseerd slib na het persen (Bundesarchiv)

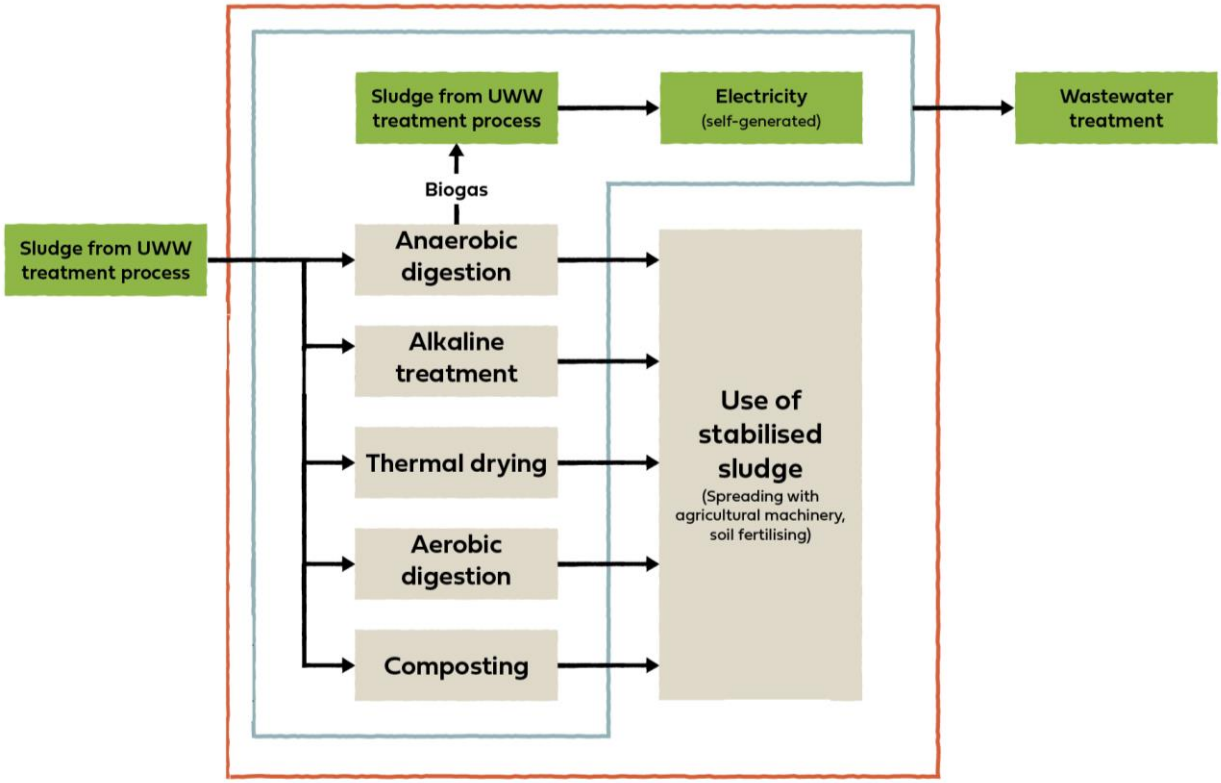

Figure 11. Stroomdiagram van gestabiliseerd slib van stedelijk afvalwater

3.4.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

Gestabiliseerd slib is een goede bron van nutriënten tegen een zeer concurrerende prijs. Om geaccepteerd te worden door landbouwers en consumenten moeten de waarden van zware metalen, pathogenen en andere verontreinigingen zo laag mogelijk zijn. Het aanbod kan van regio tot regio verschillen omdat de kwaliteit kan fluctueren. Gestabiliseerd slib moet beschikbaar zijn op elke waterzuiveringsinstallatie, maar kan ook over enige afstand worden vervoerd.

3.4.3.3. ANALYSE VAN REGELGEVING

Volgens de EU-richtlijn 86/278 zijn er grenswaarden voor concentraties van zware metalen in bodems, in het slib voor gebruik in de landbouw en voor de hoeveelheden zware metalen die jaarlijks aan landbouwgrond mogen worden toegevoegd op basis van een gemiddelde over 10 jaar. De lidstaten mogen toestaan dat de waarden worden overschreden.

Table 14. Drempelwaarden voor verontreinigingen (mg/kg droge stof) voor gestabiliseerd slib

Parameter	Zware metalen in de bodem	Zware metalen in slib	Jaarlijkse toevoeging
Cadmium (Cd)	1 - 3	20 - 40	0,15
Koper (Cu)	50 - 400	1000 - 1750	12
Nikkel (Ni)	30 - 75	300 - 400	3
Lood (Pb)	50 - 300	750 - 1200	15
Zink (Zn)	150 - 300	2500 - 4000	30
Kwik (Hg)	1 - 1,5	16 - 25	0,1

Normaal gesproken moet zuiveringsslib worden behandeld voordat het in de landbouw kan worden gebruikt. In sommige EU-landen zijn er uitzonderingen.

Nationale en regionale voorschriften moeten worden nageleefd, bijv. de verordeningen inzake bioafval, meststoffen en andere. Volgens de Meststoffenverordening is zuiveringsslib niet toegestaan in CMC 5 "Digestaat anders dan digestaat van verse gewassen" of in CMC 3 "Compost". Zuiveringsslib is niet toegestaan in de biologische landbouw.

3.4.4. Referenties

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

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

EU Directive 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, and 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, and Viktor Grilc. "Basic Morphological, Thermal and Physicochemical Properties of Sewage Sludge for Its Sustainable Energy and Material Use in the Circular Economy." Recent Perspectives in Pyrolysis Research (2022).

Kamizela, T., Lyng, K. A., Saxegård, S., Švédová, B., & Grobelak, A. (2021). Bionor sewage sludge technology–Biomass to fertiliser and a soil addition. Journal of Cleaner Production, 319, 128655.

3.5. Dikke fractie van digestaat

3.5.1. Aanbeveling voor gebruik

Digestaat is een uitstekende bron van nutriënten voor gewassen, maar de toepassing ervan moet zorgvuldig worden beheerd om de voordelen te maximaliseren en de milieurisico's te minimaliseren. De dikke fractie van digestaat is vooral belangrijk als meststof vanwege het hoge gehalte aan nutriënten en organisch materiaal. Het biedt stikstof die vrij snel beschikbaar is en het biedt stabiele koolstof. Het kan tot 87% van de totale stikstof en 71% van de fosfor in het oorspronkelijke digestaat bevatten. Hier zijn verschillende aanbevelingen voor het effectieve gebruik van gestabiliseerde dikke fractie van digestaat:

- *Verwerking in de bodem:* Hierbij wordt het digestaat over het bodemoppervlak verspreid en vervolgens in de bodem verwerkt met behulp van grondbewerkingsapparatuur. Deze methode helpt ook om ammoniakemissies en geuren te verminderen, hoewel het misschien niet zo effectief is als injectie.

- *Precisielandbouwtechnieken* (GPS-tracering): Het gebruik van GPS-technologie zorgt ervoor dat het digestaat gelijkmatig over het veld wordt verspreid, waardoor wordt voorkomen dat in sommige gebieden te veel en in andere gebieden te weinig wordt toegediend. Precisielandbouwtechnieken kunnen landbouwers helpen om de exacte hoeveelheid nutriënten toe te dienen die de gewassen nodig hebben, waardoor de efficiëntie van het nutriëntengebruik toeneemt en de impact op het milieu afneemt.

- *Toepassingstijdstip*:

Toepassingen vóór het zaaien: Het toepassen van digestaat vóór het zaaien van gewassen zorgt ervoor dat nutriënten beschikbaar zijn tijdens de kritieke vroege groeistadia. Deze timing kan ook helpen om het risico op verlies van nutriënten door uitspoeling of vervluchtiging te verminderen. Groenbedekker toepassingen*:* Digestaat kan worden toegepast op groenbedekkers, die de nutriënten kunnen opnemen en voorkomen dat ze verloren gaan tijdens perioden waarin de hoofdgewassen niet groeien. Groenbedekkers kunnen ook de bodemstructuur en het organische stofgehalte verbeteren.

- *Optimale omstandigheden voor toepassing:* Vermijd het toepassen van digestaat tijdens hevige regenval of wanneer de bodem verzadigd is, omdat dit kan leiden tot afspoeling van nutriënten en watervervuiling. Evenzo kan toepassing tijdens winderige omstandigheden het risico op ammoniakvervluchtiging verhogen.

- *Bodemomstandigheden*: Pas digestaat toe wanneer de grond niet bevroren of drassig is om ervoor te zorgen dat de nutriënten door de grond en de planten kunnen worden opgenomen.

- *Gebruik van nitrificatieremmers:* kan de omzetting van ammonium naar nitraat vertragen, waardoor het risico op nitraatuitspoeling afneemt en de stikstofefficiëntie verbetert. Dit kan vooral nuttig zijn in gebieden met zware regenval of irrigatie.

- *Naleving van regelgeving:* zorg ervoor dat de toepassing van digestaat voldoet aan lokale en EU-regelgeving, waaronder de EU-nitraatrichtlijn. Het naleven van deze voorschriften helpt nitraatuitspoeling te voorkomen en bevordert duurzame landbouwpraktijken.

Door deze aanbevelingen op te volgen, kunnen landbouwers het gebruik van digestaat optimaliseren, de productiviteit van gewassen verhogen en tegelijkertijd het milieu beschermen. Het gebruik van digestaat draagt niet alleen bij aan duurzaam nutriëntenbeheer, maar ondersteunt ook de circulaire economie door organisch afval te recupereren tot waardevolle landbouwgrondstoffen.

Tabel 15 toont het gemiddelde nutriëntengehalte in de droge stof. De schommelingen zijn groot. Daarom moeten de exacte gehaltes van de leverende substraatplant bekend zijn - ook om te voldoen aan de wettelijke vereisten.

Table 15. Nutriëntengehaltes in de dikke fractie van digestaat in droge stof (Bundesgütegemeinschaft, 2018)

Nutriënten	Gemiddelde waarde in de dikke fractie van digestaat van plantaardig NaWaRo*-materiaal (bereik)	Gemiddelde waarde in de dikke fractie van digestaat van bioafval (bereik)
Droge stof	27,5 % (21 - 30 %)	35,6 % (25 - 48 %)
pH-waarde	8,6 (8,1 - 8,9)	8,1 (7,5 - 8,7)
Organisch materiaal	48 % (34 - 51 %)	55 % (37 - 72 %)
C	28 % (20 - 30 %)	31 % (21 - 40 %)
N	2,4 % (1,5 - 3,7 %)	2,6 % (1,3 - 6,0 %)
C:N-verhouding	21,7 (13,1 - 29,2)	15,4 (5,0 - 23,4)
P	1,1 % (0,4 - 3,3 %)	0,8 % (04 - 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 %)

* Zuiver plantaardige ingrediënten zonder dierlijke mest

Table 16. Aanbevelingen voor toepassing van de dikke fractie van digestaat (controleer de regionale voorschriften)

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	30 - 80 kg/N ha afhankelijk van gewas en bodemanalyse	Feb - mei
Peulvruchten	-	-
Groenten	N-behoefte afhankelijk van gewas en bodemanalyses	Feb - Sep
Boomgaarden en wijngaarden	N-behoefte afhankelijk van gewas en bodemanalyses	Januari - mei

3.5.2. Bodemverbetering

De dikke fractie van digestaat is de ideale bron om de bodem te verbeteren door de hoeveelheid organisch materiaal te vergroten, aangezien de dikke fractie van digestaat meer dan 25% C bevat. Het draagt bij aan de opslag van koolstof in de bodem. Het effect is het meest zichtbaar op humusarme bodems (<1% humus) tot bodems met een gemiddeld humusgehalte (2-3% humus). Het verbetert ook de bodemstructuur, stabiliteit van aggregaten, poriënvolume, waterinfiltratie, watervasthoudend vermogen, bodembiologische activiteit en bodemvruchtbaarheid. Op lange termijn worden de opbrengsten gestabiliseerd.

De dikke fractie van digestaat is een uniek mengsel van zowel nutriënten met een hoge en relatief snelle beschikbaarheid als stabiele koolstof. Door organisch afval om te zetten in een waardevolle meststof genereert dit proces niet alleen hernieuwbare energie, maar verbetert het ook de beschikbaarheid van nutriënten, de gezondheid van de bodem en de duurzaamheid van het milieu. Het gezuiverde, voedselrijke digestaat dat via dit proces wordt geproduceerd, betekent een aanzienlijke vooruitgang in het beheer van organisch afval en de productiviteit van de landbouw en sluit aan bij de doelstellingen van de circulaire economie en duurzame ontwikkeling.

Het gebruik ervan kan de afhankelijkheid van kunstmeststoffen aanzienlijk verminderen, het risico op nitraatvervuiling verlagen en de gezondheid van de bodem verbeteren. Door deze aanpak kunnen landbouwers bijdragen aan een meer circulair en milieuvriendelijk landbouwsysteem. Zowel dunne als dikke fracties van digestaat bevatten relevante niveaus van nutriënten, wat een kans is bij het gebruik van beide als meststoffen.

3.5.3. Technische feiten

3.5.3.1. PRODUCTIEPROCES

Anaerobe vergisting (AD) is een biologisch proces waarbij micro-organismen organisch materiaal afbreken in afwezigheid van zuurstof, waarbij een mix van gassen wordt geproduceerd: 50 - 75%

methaan (CH_4), 25 - 50% koolstofdioxide (CO_2), waterdamp en sporen van zuurstof (O_2), stikstof (N_2) en waterstofsulfide (H_2S) (Europese Biogas Vereniging, 2013). Het belang van biogas is dat het kan worden verbrand voor de productie van energie (elektriciteit en warmte) of kan worden opgewerkt tot biomethaan dat kan worden gebruikt als brandstof voor voertuigen of kan worden geïnjecteerd in het gasnet om aardgas te vervangen.

Het belangrijkste product van AD is biogas; de rest (digestaat) werd jarenlang beschouwd als afval. Nu wordt het gebruikt als circulaire meststof om de nutriënten die het bevat terug te winnen. Digestaat is een heterogeen mengsel dat bestaat uit een vloeibare en een vaste fase (d.w.z. de dunne en dikke fractie van digestaat). Beide zijn rijk aan nutriënten en beide worden gebruikt voor bemesting.

Er zijn verschillende afvalstromen die kunnen worden onderworpen aan AD om biogas te verkrijgen: mest, voedselresten en rioolslib. Voor deze beoordeling werden ze alle drie in aanmerking genomen. Er zijn twee verschillende soorten AD: nat en droog. Bij het model voor voedselafval werd uitgegaan van droge AD, aangezien dit het meest gebruikt wordt in Europa; voor zuiveringsslib is natte AD de enige mogelijke optie, en voor mest werd ook natte AD gemodelleerd, aangezien hierover meer gegevens beschikbaar zijn.

Het systeem voor voedselafval omvat een voorbehandelingsfase waarin ferrometalen worden teruggewonnen en de afgekeurde materialen naar het afvalbeheer worden gestuurd, en dikke en dunne fracties worden gescheiden met behulp van een schroefpers; de dunne fractie wordt op de bodem gebracht, waardoor het gebruik van meststoffen wordt vervangen. Het zuiveringsslibsysteem daarentegen neemt primair en secundair slib van de waterzuiveringsinstallatie (RWZI), mengt en verdikt het voor de AD en daarna worden de dunne en dikke fracties gescheiden door middel van een ontwateringsproces; de dunne fractie wordt teruggestuurd naar de RWZI. Het mestsysteem begint direct met AD, het digestaat wordt gescheiden in een dunne en dikke fractie en de dunne fractie wordt gebruikt als meststof.

Concluderend kan worden gesteld dat de productie van gestabiliseerd digestaat via anaerobe vergisting een veelzijdige oplossing biedt voor duurzame landbouw. Door organisch afval om te zetten in een waardevolle meststof genereert dit proces niet alleen hernieuwbare energie, maar verbetert het ook de beschikbaarheid van nutriënten, de gezondheid van de bodem en de duurzaamheid van het milieu. Het gezuiverde, nutriëntenrijke digestaat dat via dit proces wordt geproduceerd, betekent een aanzienlijke vooruitgang in het beheer van organisch afval en de productiviteit van de landbouw en sluit aan bij de doelstellingen van de circulaire economie en duurzame ontwikkeling.

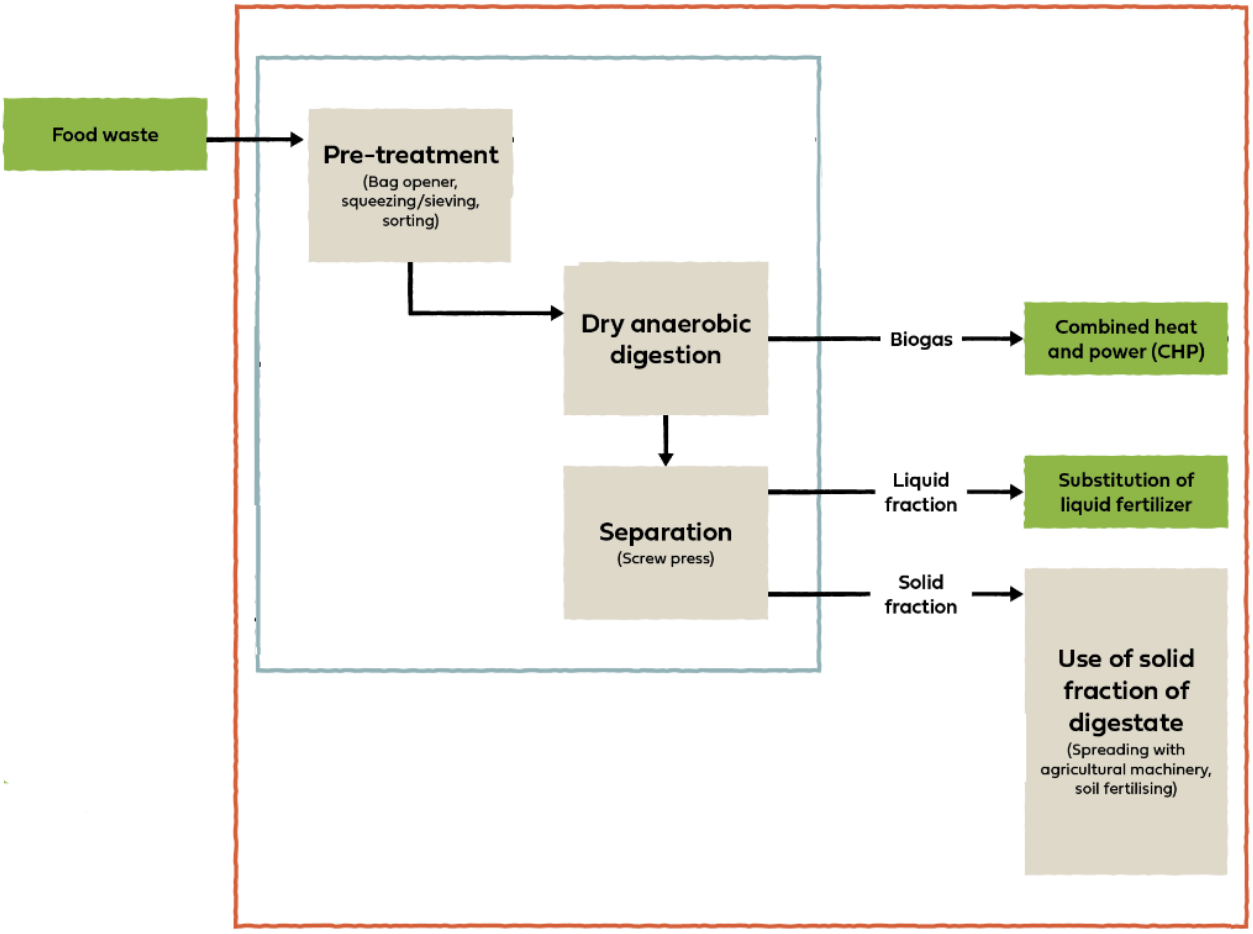

Figure 12. Stroomdiagram dikke fractie van digestaat uit voedselafval

Figure 13. Biogasinstallatie met technische ruimte, silo's, fermentatietank, opslagplaats en gasopslag (links) en scheider van de dikke fractie (rechts; E. Räder)

3.5.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

In Europa wordt digestaat op verschillende manieren geproduceerd, afhankelijk van de geïnstalleerde capaciteit in elk land. Daarom is het niet in elke regio beschikbaar. Er is een grote variatie in nutriënten en prijzen, maar de prijzen zijn vaak zeer concurrerend. De dikke fractie wordt als kosteneffectief beschouwd voor transport in vergelijking met de dunne fractie. De productie kan sterk worden opgeschaald, maar is afhankelijk van de nationale elektriciteitsstrategieën.

3.5.3.3. REGELGEVENDE ANALYSES

Volgens de EU-nitraatrichtlijn (91/676/EEG) moet digestaat dat als meststof wordt gebruikt, voldoen aan specifieke criteria om nitraatvervuiling te voorkomen. Deze richtlijn, die gericht is op landbouwpraktijken als belangrijke bronnen van nitraatvervuiling, stelt jaarlijkse limieten vast voor het gebruik van stikstof in kwetsbare zones om de waterkwaliteit in heel Europa te beschermen. Gestabiliseerd digestaat kan helpen om aan deze eisen te voldoen door een gecontroleerde afgifte van stikstof en andere essentiële nutriënten, waardoor de efficiëntie van nutriënten wordt verbeterd en de impact op het milieu wordt geminimaliseerd.

De EU-nitraatrichtlijn verplicht de lidstaten om nitraatgevoelige zones (NVZ's) te identificeren waar nitraatvervuiling een probleem is en om actieprogramma's uit te voeren om de nitraatuitspoeling te controleren en te verminderen. Dit houdt in dat er jaarlijkse grenswaarden voor de stikstofgift worden vastgesteld om ervoor te zorgen dat de hoeveelheid stikstof die wordt toegediend de behoeften van het gewas en de absorptiecapaciteit van de bodem niet overschrijdt. Overtollige stikstof uit meststoffen kan uitspoelen naar waterlichamen, wat eutrofiëring veroorzaakt en een negatieve invloed heeft op aquatische ecosystemen.

De dikke fractie van digestaat, geproduceerd door anaerobe vergisting van organisch materiaal, biedt een haalbare oplossing om te voldoen aan de vereisten van de EU-nitraatrichtlijn. De gecontroleerde afgifte van stikstof uit de dikke fractie van digestaat zorgt voor een efficiënte opname van nutriënten door gewassen, waardoor het risico op uitspoeling van nitraten wordt verminderd. Bovendien bevat de dikke fractie van digestaat andere essentiële nutriënten zoals fosfor en kalium in evenwichtige verhoudingen, wat bijdraagt aan de algehele vruchtbaarheid van de bodem en de gezondheid van de gewassen.

Volgens VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 5 juni 2019 voldoet de dikke fractie van digestaat aan CMC 5 "digestaat anders dan digestaat van verse gewassen" en PFC 1(A)(I) "vaste organische meststof" of PFC 3(AQ) "vaste bodemverbeteraar". Maar zuiveringsslib is niet toegestaan in CMC 5.

Digestaat uit mest, groenafval en bioafval is toegestaan in de biologische landbouw, maar biologische bedrijven moeten aantonen dat de ingrediënten van het substraat niet afkomstig zijn uit de industriële veehouderij en mogen niet meer dan 170 kg stikstof opbrengen (EU 2018/448).

3.5.4. Referenties

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

REGULATION 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_duengung_Juli_2018_.pdf (kompost.de)

European Biogas Association. (2013). *EBA's Biomethane factsheet.* Retrieved from https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/eba_biomethane_factsheet.pdf

Anaerobic digestates as a nutrient source for organic farming, RELACS practice abstract (2021) in: www.organic-farmknowledge.org/tool/40054

Organic fertilisation of young apple orchards, DOMINO Practice Abstract (2021), in: www.organic-farmknowledge.org/tool/42596

SOS Aquae: More efficient carbon and nitrogen agrosystems with biogas, NUTRI-KNOW presentation (2023), in https://eufarmbook.eu/en/contributions/662113c30beeac6e7e385efb

3.6. Champost

3.6.1. Aanbeveling voor gebruik

Het schimmelsubstraat heeft een corrigerende werking op bodems met een te lage pH-waarde (Lakaria, 2019). Er moet aandacht worden besteed aan het zoutgehalte van zoutgevoelige gewassen. Met zijn hoge gehalte aan zwavel is champost een goede optie voor gewassen met een hoge behoefte aan zwavel zoals koolzaad en peulvruchten (Möller et al, 2014)

Champost kan essentiële nutriënten leveren aan planten. De gebruikte nutriënten zoals stikstof zijn slechts gedeeltelijk effectief. In de Duitse meststoffenverordening wordt 10% van het totale stikstofgehalte van het champost benut in het jaar van toepassing. In het eerste daaropvolgende jaar wordt 4% van de totale stikstof in aanmerking genomen bij de berekening van de meststofbehoefte en in het tweede en derde daaropvolgende jaar moet 3% van de oorspronkelijk toegepaste totale stikstof in aanmerking worden genomen. Fosfaat, kalium en zwavel worden voor 100% verrekend. In andere regio's zijn andere regels mogelijk.

Tabel 17 toont het gemiddelde nutriëntengehalte in de droge stof. De schommelingen zijn groot. Daarom moeten de exacte gehaltes van de leverende substraatplant bekend zijn - ook om te voldoen aan de wettelijke vereisten.

Table 17. Nutriëntengehaltes in droge stof in champost (Möller et al, 2014)

Nutriënten	Gemiddelde waarde	Bereik
Droge stof	38,0 %	23,2 - 79,1 %
pH-waarde	6,5	5,3 - 8,1
Zoutgehalte KCl	2,1 %	1,1 - 2,4%
Organisch materiaal	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 %

Champost kan worden gebruikt voor alle gewassen, inclusief boomgaarden. Het kan worden toegepast vóór het zaaien in de lente of herfst, in het gewas of na de oogst in de zomer en kan in de bodem worden opgenomen. De gebruikelijke toepassingsdosering is 10 tot 20 ton per hectare, op voorwaarde dat er geen andere beperkingen zijn in de regio. In het geval van regelmatige toepassing moeten toelaatbare maximale toepassingshoeveelheden, bijv. 30 ton DM in 3 jaar, in acht worden genomen, vooral met betrekking tot de gehalten aan zware metalen die in acht moeten worden genomen.

Table 18. Aanbevelingen (controleer de regionale voorschriften) voor champost

Gewas	Hoeveelheid	Tijdstip van toepassing
Granen	10 - 30 tot/ha	Het hele jaar
Peulvruchten	10 - 30 tot/ha als C:N-verhouding hoger is 16:1	Het hele jaar
Groenten	10 - 30 tot/ha	Het hele jaar
Boomgaarden en wijngaarden	10 - 30 tot/ha	Het hele jaar

3.6.2. Bodemverbetering

Champost bevat vaak meer dan 30% C. Met een gemiddelde C:N-verhouding van 16:1 is een groot deel van de koolstof relatief stabiel en heeft het een positief effect op het humusgehalte. Het draagt bij aan de opslag van koolstof in de bodem. Het effect is het meest zichtbaar op humusarme bodems (<1% humus) tot bodems met een gemiddeld humusgehalte (2-3% humus). Het verbetert ook de bodemstructuur, stabiliteit van aggregaten, poriënvolume, waterinfiltratie, watervasthoudend vermogen, bodembiologische activiteit en bodemvruchtbaarheid. Op lange termijn blijven de opbrengsten stabiel.

3.6.3. Technische aspecten

3.6.3.1. PRODUCTIEPROCES

Nadat de champignons zijn gegroeid en door hoge temperaturen zijn behandeld, gaat het champignonsubstraat terug naar de landbouw als afgewerkte compost die als meststof kan worden gebruikt. Paddenstoelensubstraten zijn mengsels van verschillende componenten, afhankelijk van de soort paddenstoel: mest, stro, gips, water, maar ook klei, zand, mergel, turf en bietenschuimaarde.

Figuur 14 toont een schematisch diagram van de productie van champignons en champignonafval. De substraatproducent composteert mest met kalk, gips en tarwestro.

Deze "verse compost" (Fase 1) wordt vervolgens gepasteuriseerd (Fase 2) en geënt (Fase 3).

Sommige paddenstoelenproducenten krijgen het gepasteuriseerde (Fase 3) substraat, anderen geven de voorkeur aan het gepasteuriseerde (Fase 2) substraat en enten zelf met mycelium.

Het champignonsubstraat wordt bedekt met dekaarde (meestal turf) en er worden paddenstoelen gekweekt.

Na het oogsten van de champignons verwijdert de champignonproducent het gebruikte substraat door een tweede composteringsfase uit te voeren en de meststof vervolgens te verdelen, of door het terug te sturen naar de substraatproducent die het als grondstof zal gebruiken.

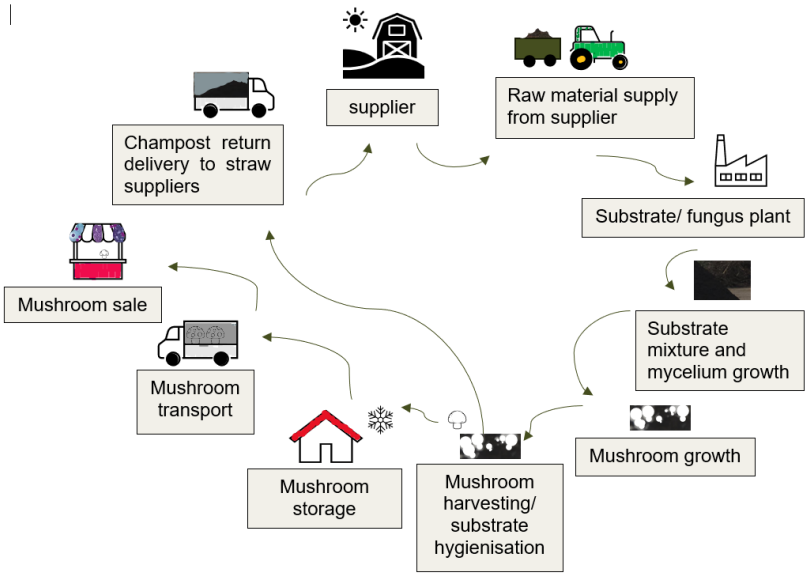

Figure 14. Productieschema van het champignonsubstraat

Figuur 15 toont een voorbeeld van een tijdlijn van de productie van champignons. Merk op dat de productie en de productietijd kunnen variëren afhankelijk van het champignonsubstraat en de substraatinstallatie.

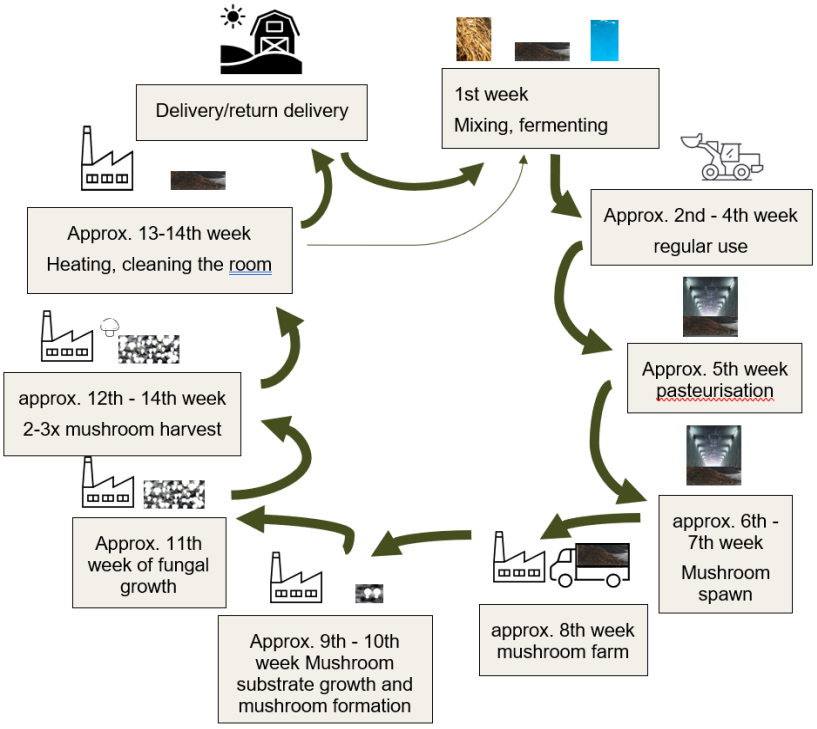

Figure 15. Tijdlijn vanaf de levering van de grondstoffen tot de retourlevering van het gebruikte champignonsubstraat

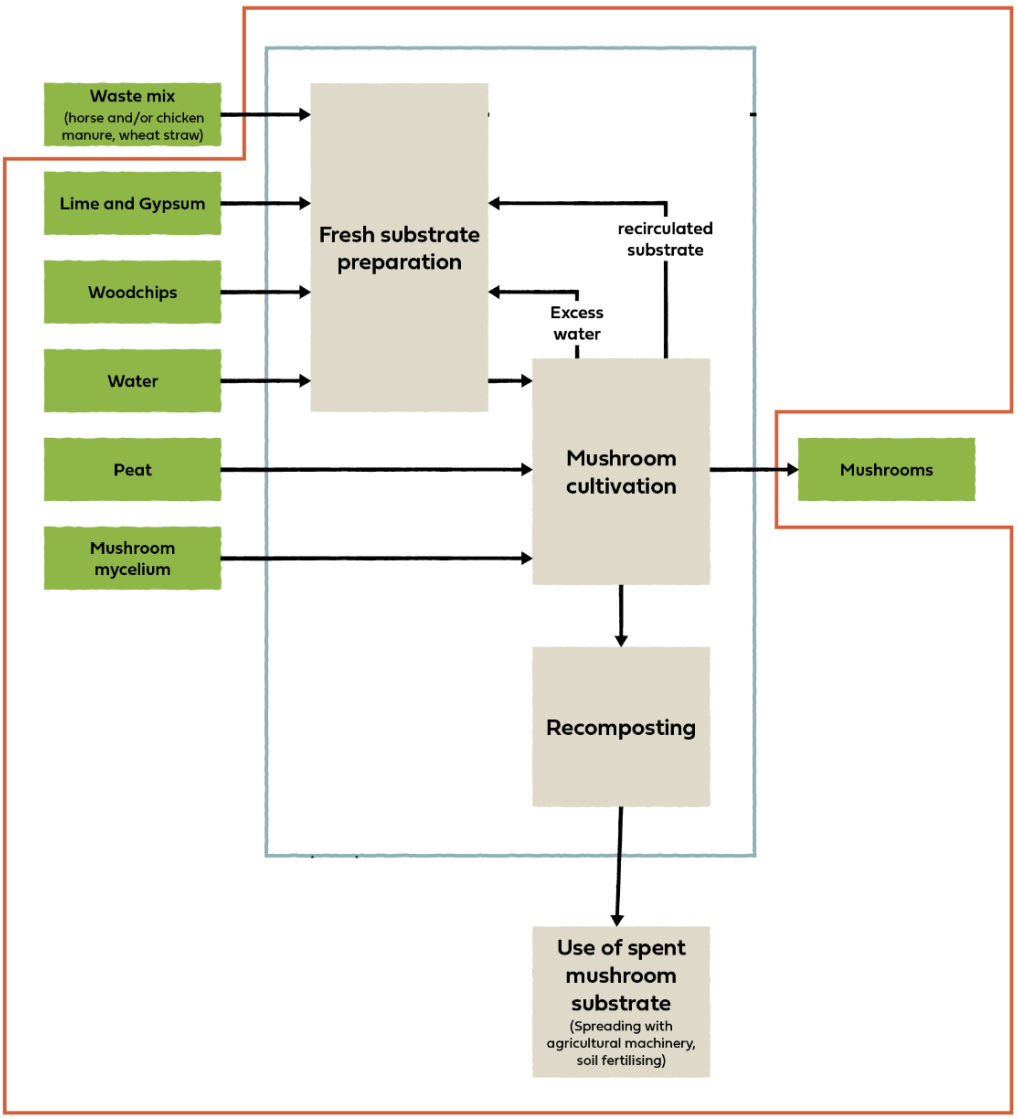

Figure 16. Stroomdiagram Afgewerkt champignonsubstraat

3.6.3.2. MARKTGERELATEERDE ASPECTEN

Champost is net als compost een ideale bron voor bodemverbetering. De prijzen van champost zijn laag en zeer concurrerend. Zelfs als je alleen de prijzen berekent voor de macronutriënten zonder koolstof is de prijs nog steeds erg concurrerend. Het aanbod is beperkt tot de productie van champignons. Aangezien champost niet ver vervoerd kan worden, verschilt het aanbod van regio tot regio.

3.6.3.3. ANALYSE VAN REGELGEVING

Volgens de EU-verordening inzake meststoffen "VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 5 juni 2019" wordt champost ingedeeld in productcategorie functie 3A "Organische bodemverbeteraar".

Volgens de verordening mag een EU-meststofproduct dat voorzien is van een CE-markering wanneer het op de markt wordt aangeboden, alleen bestaan uit materialen die voldoen aan de eisen voor een of meer van de samenstellende materiaalcategorieën (CMC) die in deze bijlage worden vermeld. Afgewerkt champignonsubstraat is toegestaan in de EU en wordt ingedeeld onder CMC 10 "afgeleide producten in de zin van Verordening (EG) nr. 1069/2009" (bepaalde afgeleide producten van dierlijke bijproducten) of CMC 3 "compost" als het eindpunt voor mest is bereikt.
Er zijn specificaties voor maximale gehaltes aan zware metalen en ziekteverwekkers.

Pathogenen in een organische bodemverbeteraar mogen de limieten in de volgende tabel niet overschrijden:

Table 19. Drempelwaarden voor ziekteverwekkers voor champignonsubstraten

Ziekteverwekker	Drempel
Salmonella spp.	Geen bevindingen in 25 g of 25 ml
Eschericha coli of Enterococcaceae	1000 in 1 g of 1 ml

Verontreinigingen in een organische bodemverbeteraar mogen de volgende limieten niet overschrijden:

Table 20. Drempelwaarde van verontreinigingen voor gebruikte champignonsubstraten

Verontreinigende stof	Drempel
Cadmium (Cd)	2 mg/kg droge stof
Chroom VI (Cr VI)	2 mg/kg droge stof
Kwik (Hg)	1 mg/kg droge stof
Nikkel (Ni)	50 mg/kg droge stof
Lood (Pb)	120 mg/kg droge stof
Anorganisch arseen (As)	40 mg/kg droge stof
Koper (Cu)	300 mg/kg droge stof
Zink (Zn)	300 mg/kg droge stof

Er kunnen ook nationale voorschriften van toepassing zijn.

Champost is toegestaan in de biologische landbouw, maar biologische bedrijven moeten aantonen dat de ingrediënten van het substraat niet afkomstig zijn van de industriële veehouderij en mogen niet meer dan 170 kg stikstof toepassen (EU 2018/448). Er is afhankelijk van regio tot regio, ook biologische champost beschikbaar.

Naast de EU-wetgeving en het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) moeten mogelijk ook nationale en regionale voorschriften worden nageleefd, bijv. verordeningen inzake bioafval, meststoffen, overdracht van landbouwmest en voorschriften in waterbeschermingsgebieden of gebieden met een andere beschermingsstatus. Deze voorschriften kunnen ook tijdelijke beperkingen inhouden voor het uitrijden van meststoffen, bijvoorbeeld in de winter. Het kan zijn dat de toepassing van het substraat moet worden gemeld aan de bevoegde autoriteit onder deze voorschriften.

3.6.4. Referenties:

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organic commercial fertilisers in organic farming, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

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

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

Fertiliser Ordinance: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Section 3 para. 5 in conjunction with Annex 3

Champost – RPZ Rheinische Pilz-Zentrale (rhpz.de)

Lakaria, B. L., et al. "Soil health: Concept, components, management and opportunities." *Advances in compost production technology* (2019): 95-103.

4. Conclusies

Circulaire meststoffen zijn een duurzame optie in vergelijking met energie-intensieve kunstmeststoffen en bieden veel verschillende opties - zowel voor conventionele als biologische landbouwers. Ze zijn geschikt voor alle gewassen - van groenten en fruit tot akkerbouwgewassen inclusief peulvruchten.

Struviet biedt de mogelijkheid om fosfor terug te winnen, het meest beperkende nutriënt in de landbouw, omdat bronnen van rotsfosfaat eindig zijn en vaak verontreinigd. Verenmeel biedt organische stikstof met niet te veel fosfor, wat een belangrijk aspect kan zijn voor groente- en fruittelers. Gestabiliseerd slib levert macro- en micronutriënten die meestal relatief snel vrijkomen. Met een hoog en stabiel koolstofgehalte zijn gecomposteerd bioafval en champost de typische "bodemverbeteraars". Maar de andere nutriënten moeten niet onderschat worden, want ze zijn niet duur en de beschikbaarheid van nutriënten is vrij goed.
Dikke fractie van digestaat is vrij uniek in vergelijking met stikstof die snel beschikbaar is en wat stabiele koolstof.
Veel van de circulaire meststoffen hebben grote fluctuaties. Daarom moet de exacte inhoud van de leverende substraatplant bekend zijn.

Een kritiek aspect is dat regelgevingskwesties het gebruik van al deze meststoffen kunnen beperken. Hoewel de prijzen van de meeste circulaire meststoffen concurrerend zijn, moet de acceptatie van circulaire meststoffen door landbouwers worden verbeterd. De beschikbaarheid van circulaire meststoffen moet ook worden verbeterd door de productie te verhogen.

Om meer dan 60 waardeketens voor circulaire meststoffen te leren kennen, ga je naar de FER-PLAY database en als je diep wilt duiken in de milieu-, sociale, economische, regelgevings- en opschalingsbeoordeling van de zeven gepresenteerde meststoffen, bekijk dan D2.2 "Multi-beoordeling van effecten, trade-offs en randvoorwaarden".

"Dit project is gefinancierd door het onderzoeks- en innovatieprogramma Horizon Europe van de Europese Unie onder subsidieovereenkomst nr. 101060426."

Gefinancierd door de Europese Unie. Opvattingen en meningen zijn echter uitsluitend die van de auteur(s) en weerspiegelen niet noodzakelijkerwijs die van de Europese Unie of het European Research Executive Agency. Noch de Europese Unie, noch de subsidieverlenende instantie kan hiervoor verantwoordelijk worden gehouden.