



UNIVERSITY  
OF AMSTERDAM



VRIJE  
UNIVERSITEIT  
AMSTERDAM

# Methoden voor het veilig bewerken van menselijke feces tot organische meststof

SfES project

6 EC

MSc Physics and Astronomy  
Science for Energy and Sustainability

Tosca Wiedenhof

10876278

Begeleider

Dr. R. van Maanen

Examinator

Dr. J.C. Sloopweg

15 december 2023

Uitgevoerd tussen September en December 2023

 **amsterdam green campus**

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie</b> .....	<b>3</b>
1.1	<i>Doel van studie</i> .....	3
<b>2</b>	<b>Risico's</b> .....	<b>3</b>
2.1	<i>Pathogenen</i> .....	3
2.2	<i>Zware metalen</i> .....	5
2.3	<i>Medicijnresten</i> .....	5
<b>3</b>	<b>Behandelingsmethoden</b> .....	<b>7</b>
3.1	<i>Drogen</i> .....	7
3.2	<i>Hygiënisatie</i> .....	7
3.3	<i>Composteren op hoge temperatuur</i> .....	7
3.3.1	<i>C:N ratio</i> .....	7
3.4	<i>Anaerobe systemen</i> .....	7
3.4.1	<i>Septic tank</i> .....	8
3.4.2	<i>Vergister</i> .....	8
3.5	<i>Zuiverende kassen</i> .....	8
<b>4</b>	<b>Beoordeling behandelingsmethoden</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Conclusie en discussie</b> .....	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b> .....	<b>11</b>

## 1 Introductie

De landbouwsector staat voor de uitdaging om aan de groeiende vraag naar voedsel te voldoen en tegelijkertijd de impact op het milieu te verminderen. Synthetische meststoffen worden nog steeds op grote schaal gebruikt en leiden tot bodemaantasting, waterverontreiniging en broeikasgasemissies door de hoge energiekosten voor de productie. Fosfor en stikstof zijn twee belangrijke voedingsstoffen voor het produceren van voedsel en beide vallen momenteel buiten de veilige operationele zones van de *planetary boundaries* (Richardson et al., 2023). Tegelijkertijd gaan deze nutriënten verloren als menselijke uitwerpselen omdat de kringloop tussen inname en uitscheiding momenteel niet gesloten is. Deze kringloop kan gesloten worden door menselijke uitwerpselen beter te hergebruiken.

Hoewel het gebruikelijk is om dierlijke mestproducten te hergebruiken in de landbouw, is dit niet het geval voor menselijke uitwerpselen. Hier zijn verschillende redenen voor. In de huidige wetgeving zijn menselijke uitwerpselen een afvalstof en mogen deze niet commercieel gebruikt worden. Daarnaast zijn de meeste huishoudens en bedrijven in Nederland aangesloten op hetzelfde rioolsysteem waar al het afvalwater samenkomt om vervolgens behandeld te worden in rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) (Harder, 2012). De communale stroom bestaat uit licht verontreinigd grijs water en zwaarder verontreinigd zwart water afkomstig van toiletten. Naast het communale afvalwater is industrieel afvalwater in Nederland vaak ook aangesloten op hetzelfde rioolsysteem. Dit centrale RWZI-systeem heeft tot gevolg dat de stroom vervuild is en het relatief moeilijk is om nuttige grondstoffen te herwinnen.

De mogelijkheden voor het terugwinnen van belangrijke nutriënten uit menselijke uitwerpselen is afhankelijk van de soort afvalstroom. Dit is makkelijker wanneer de zwarte stroom gescheiden wordt van de andere stromen, en nog makkelijker wanneer de zwarte stroom wordt gesplitst in geel water (urine) en bruin water (feces). Dit laatste wordt ook wel brongescheiden sanitatie genoemd. Bij brongescheiden sanitatie kan er meer fosfaat worden teruggewonnen uit de gele stroom (Moron et al., 2018), maar ook voor de bruine stroom zijn er mogelijkheden aangezien deze in vergelijking met urine een hoge hoeveelheid organische stof bevatten (Friedler et al., 2013).

### 1.1 Doel van studie

In deze literatuurstudie wordt onderzocht wat de risico's zijn van ziekteverwekkers, zware metalen en medicijnresten in menselijke en dierlijke mest. Daarna volgt een overzicht van methoden voor opwaarderen van menselijke feces tot organische meststof voor in de landbouw, gebaseerd op methoden die gebruikt worden voor dierlijke mest of nieuwe methoden speciaal voor menselijke afvalstoffen. Vervolgens wordt voor elk van deze methoden bepaald of deze rekening houden met ziekteverwekkers, zware metalen en medicijnresten. Uiteindelijk wordt een advies gegeven over welke methoden geschikt zijn voor een pilot voor het bewerken van menselijke feces tot meststof.

## 2 Risico's

De voornaamste zorg voor het gebruiken van menselijke feces als meststof zijn de gezondheidsrisico's. Menselijke feces zijn een bron van pathogenen en kunnen sporen bevatten van zware metalen en farmaceutische middelen. In dit hoofdstuk worden deze drie factoren toegelicht.

### 2.1 Pathogenen

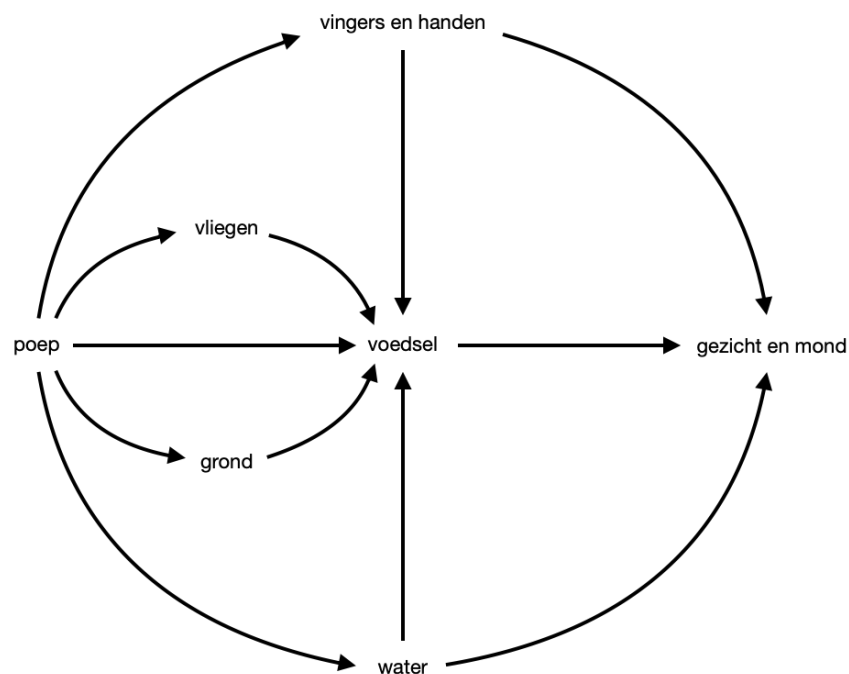
Feces van zowel dieren als mensen bevatten vrijwel altijd grote hoeveelheden pathogenen ofwel ziekteverwekkers (Friedler et al., 2013; Leuken et al., 2017). Pathogenen in dierlijke feces zijn niet altijd overdraagbaar op mensen. Pathogen die dat wel zijn, zoals E. coli, COVID-19, ziekte van Lyme en Q-koorts (Leuken et al., 2017; RIVM, z.d.), worden dit zoönosen genoemd. Menselijke feces kunnen

mens specifieke pathogenen bevatten (K. van Dijk, persoonlijke communicatie, 19 Oktober 2023) en vormen daardoor potentieel een groter risico dan pathogenen in dierlijke feces. Voorbeelden van mens op mens overdraagbare ziektes zijn E. coli, shigellose en giardiasis (RIVM, 2021-a; RIVM, 2021-b, RIVM, 2023).

Ziekteverwekkende organismen kunnen worden ingedeeld in vier categorieën: bacteriën, protozoën, helminten en virussen (Harder, 2012). Bacteriën kunnen zich onder gunstige omstandigheden, zoals vocht en warmte, vermenigvuldigen. Virussen en protozoa kunnen niet goed zelfstandig voortbestaan buiten de mens en zullen uit zichzelf afnemen. Daarentegen zijn parasieten persistent en kunnen maanden tot jaren in leven blijven (Bassan et al., 2014).

Besmetting kan zowel plaatsvinden door direct als indirect contact met besmette feces, geïllustreerd in Figuur 1. Meestal vindt besmetting plaats via oraal contact, maar bij sommige pathogenen kan alleen contact met de huid al besmettelijk zijn (Richard et al., 2017).

**Figuur 1. Ziekte transmissieroutes, gebaseerd op Esrey et al. (1998).**



Er zijn meerdere manieren om besmetting van pathogenen te voorkomen. De huidige manier in Nederland is om menselijke feces zo ver mogelijk van mensen vandaan te houden en zo contact te minimaliseren. Het is ook mogelijk om pathogenen direct te bestrijden door de omgeving zo ongunstig aan te passen dat pathogenen niet kunnen overleven. Dit kan onder andere met hoge temperaturen, verminderen van vocht, blootstelling aan zonlicht en het verhogen van pH-waarde (Dumontet et al., 1999; Esrey et al. 1998; Moerland et al., 2020). Het duurt slechts 10-30 minuten om pathogenen in dierlijke mest te doden door de temperatuur te verhogen boven 70°C (Li et al., 2013).

Aangezien er momenteel geen menselijke feces mogen worden gebruikt als meststof, zijn er vanuit de overheid geen richtlijnen of randvoorwaarden voor menselijke pathogenen in de landbouw. Wel zijn er zulke richtlijnen voor drinkwater en zijn er drie fecale indicatoren: enterococci, E. coli en somatische colifagen (Blaak et al., 2010). E. coli, ook bekend als poepbacterie, wordt vaak genomen als pathogene indicator (Koottatep et al., 2014). Deze bacterie is van nature aanwezig in de darmen van zowel dieren als mensen (de Boo et al., 2020) en kan leiden tot infecties als gevolg van besmet

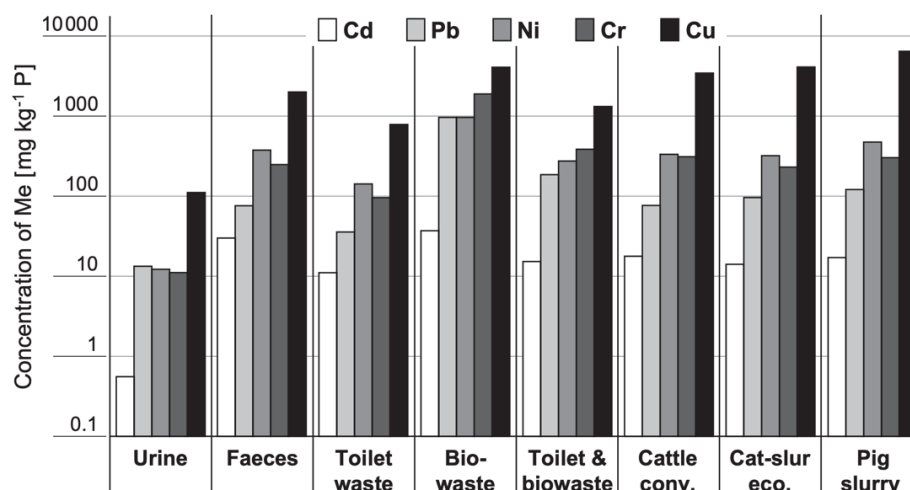
water en voedsel. E. coli kan zich vermenigvuldigen buiten de mens of dier in water of de bodem bij temperaturen tussen de 10 en 40 °C en sterft bij een temperatuur van 65 °C (Voedingscentrum, n.d.). Over enterococconen en somatische colifagen is niet bekend of deze ook een risico vormen bij het gebruik van menselijke feces als meststof. Wanneer het gaat om drinkwater kunnen enterococconen worden bestreden met hypochloorzuur (Watter, z.d.). Somatische colifagen nemen af bij een hogere temperatuur (De Roda Husman et al., 2006).

## 2.2 Zware metalen

Zware metalen zijn natuurlijke elementen die voorkomen in de lucht, grond en water. Overmatige blootstelling aan zware metalen kan negatieve gevolgen hebben voor onze gezondheid. Zware metalen worden uit het menselijk lichaam verwijderd via ontlasting, waardoor zware metalen meer aanwezig zijn in feces dan in urine (Jönsson & Vinnerås, 2023). Daarom worden zware metalen vaak genoemd als een risico bij het gebruiken van menselijke feces als meststof (Harder et al., 2019; Oberg & Mason-Renton, 2018; Singh & Agrawal, 2008). Zware metalen die voorkomen in menselijke feces zijn (onder andere) koper, nikkel, lood, zink, cadmium en chroom (Appiah-Effah et al., 2015; De Waal Malefijt, 1982).

Echter, de hoeveelheid zware metalen in menselijke feces is vergelijkbaar met het aantal zware metalen in dierlijke drijfmest zoals te zien in Figuur 2. Voor sommige zware metalen, zoals koper en lood, zijn de concentraties zelf lager bij menselijke feces. Hieruit kan worden opgemaakt dat zware metalen geen verhoogd risico vormen bij het gebruiken van menselijke feces als meststof ten opzichte van dierlijke mest.

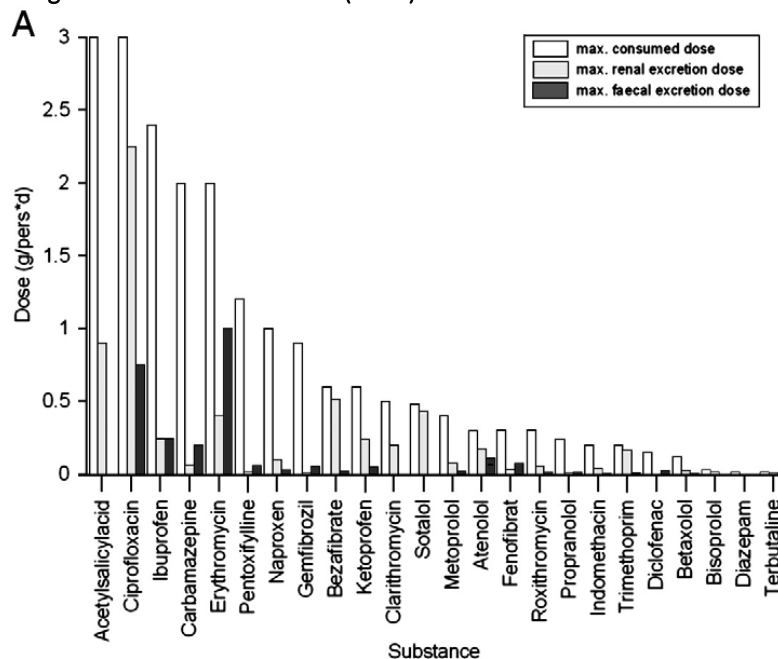
**Figuur 2.** Concentraties van zware metalen in onder andere menselijke en dierlijke drijfmest. Overgenomen uit Jönsson & Vinnerås (2013).



## 2.3 Medicijnresten

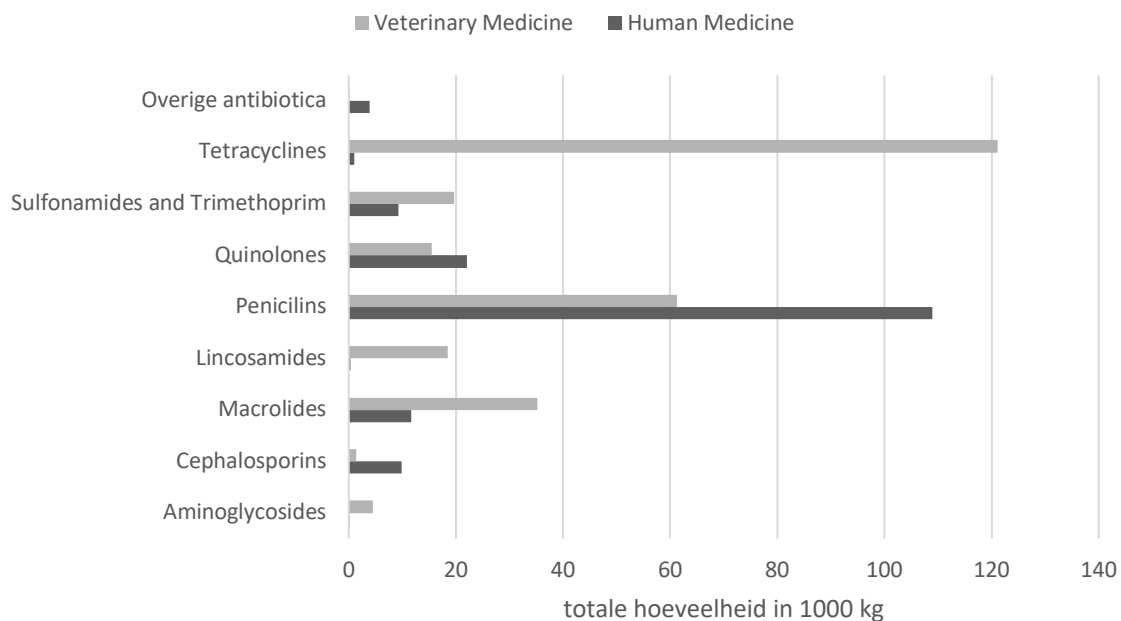
Twee belangrijke veroorzakers van medicijnresten in het milieu zijn veehouderijen en afvalwater (Winker et al., 2008; Zhou et al., 2020). In de veehouderij worden vooral veel antibiotica gebruikt, bij mensen een mengsel van allerlei medicijnen. Het is zeker dat het grootste deel van medicijnresten wordt uitgescheiden via urine (Winker et al., 2008) zoals te zien in Figuur 3. Toch zijn er ook een aantal specifieke medicijnen die juist via feces worden uitgescheiden, zoals het antibioticum *Erytromycine*, ook te zien in Figuur 3.

Figuur 3. Dagelijks gedoseerde medicijnen voor een patiënt en bijbehorende uitgescheiden stoffen via urine (renal) en feces. Overgenomen uit Winker et al. (2008).



Het grootste deel (90%) van antibiotica worden bij zowel mensen als dieren uitgescheiden via urine en feces. De hoeveelheid antibiotica die wordt uitgescheiden is daarom gekoppeld aan de totale gebruikte antibiotica. Dit kan sterk verschillen per land en regio omdat het in sommige landen gebruikelijker is om antibiotica te gebruiken. Een studie van Almeida et al. (2014) geeft het gebruik van antibiotica in Portugal gedurende 2010-2011, weergegeven in Figuur 4. Daar is te zien dat de meeste soorten antibiotica worden gebruikt in de veehouderij. Hieruit kan worden opgemaakt dat het risico van medicijnresten in de landbouw bij het gebruik van 'mensenmest' niet groter is dan wanneer er dierlijke mest wordt gebruikt.

Figuur 4. Gebruik van verschillende soorten antibiotica voor vee en mensen in Portugal voor 2010-2011. Data overgenomen uit Almeida et al. (2014).



### 3 Behandelingsmethoden

In dit hoofdstuk worden een aantal methoden omschreven die volledig of deels toegepast kunnen worden op menselijk feces.

#### 3.1 Drogen

Drogen is een simpele methode om feces te behandelen en een grote hoeveelheid organische stof te behouden (Peeters et al., 2011). Deze methode wordt voor zowel dierlijke als menselijke feces veelal toegepast in landen met veel zonuren, omdat deze methode dan laag is in kosten. Drogen van fecaal slib vermindert het aantal pathogenen omdat hoge temperatuur en weinig vocht ongunstige omstandigheden zijn voor pathogenen (Bassan et al., 2014). In Nederland is drogen een veelgebruikte methode voor dierlijke mest. Meestal wordt dit gedaan op grote schaal met onder andere trommeldrogers, platendrogers en banddrogers (IPLO, z.d.).

#### 3.2 Hygiëniseren

Hygiëniseren is een andere relatief simpele en goedkope methode waarbij (dierlijke) drijfmest, digestaat of dikke fractie een warmtebehandeling ondergaat (Buissonjé et al., 2013) waarbij pathogenen en bacteriën onschadelijk worden gemaakt (Häfner et al., 2023; Rijkswaterstaat, z.d.-c). Voor drijfmest en digestaat wordt dit meestal gedaan met verwarmde tanks, voor dikke fracties met een warmtevizel. De warmtevizel is een holle transportvizel die draait in een dubbelwandige bak waar hete olie (180°C) doorheen stroomt en wordt rondgepompt (Kasper & Horrevorts, 2007). De dikke fractie wordt toegevoegd zodra de olie op temperatuur is waardoor bij het verlaten van de vizel heeft de mest een temperatuur heeft van 80-90°C. De mest wordt dan opgeslagen in een gesloten en geïsoleerde tank waardoor de mest langere tijd een temperatuur van >70°C heeft.

#### 3.3 Composteren op hoge temperatuur

Composteren op hoge temperatuur, of thermisch composteren, is een proces waarbij organisch materiaal wordt afgebroken en omgezet in compost onder hoge temperaturen. Bacteriën zorgen voor de temperatuurstijging en om op temperatuur te blijven is er voldoende zuurstof nodig (Hendriks, 2019). Composteren is een effectieve en goedkope methode om dierlijke feces te behandelen voordat deze gebruikt kan worden op het land. Op hoge temperatuur worden pathogenen gedood en daarnaast wordt de organische stof omgezet in een stabiele humus (Guo et al., 2012). Bij conventionele aerobe compostering van dierlijke mest moet de composttemperatuur gedurende 5-10 dagen boven de 50°C worden gehouden om de mest effectief schoon te krijgen (Vinnerås, 2013). Compostering op hoge temperatuur van menselijke feces is onderdeel van het KNAP project (WUR, z.d.). Naast pathogenen kan compostering een aanzienlijk deel van de farmaceutische stoffen in menselijke feces effectief verwijderen (Eberhardt, 2021; Häfner et al., 2023).

##### 3.3.1 C:N ratio

Een belangrijk onderdeel van composteren is de ratio tussen koolstof (C) en stikstof (N) in het te composteren mengsel. Feces hebben een relatief lage C:N ratio (8:1) (Willekens & Janmaat, 2014), terwijl de ideale C:N ratio voor compost tussen de 25:1 en 30:1 ligt (Kumar, 2010). Om de C:N verhouding omhoog te krijgen is er altijd een 'meng materiaal' nodig met een hoge C:N ratio, zoals stro (60:1) (Willekens & Janmaat, 2014).

#### 3.4 Anaerobe systemen

In anaerobe systemen wordt organisch materiaal afgesproken door aanwezige micro-organismen in afwezigheid van zuurstof. Dit resulteert in de productie van biogas en een nutriënt rijk slib ofwel digestaat. Anaerobe systemen zijn een veelgebruikte methode voor de behandeling van organisch

afval waaronder rioolslib en dierlijke mest. Er zijn meerdere anaerobe systemen die verschillen in complexiteit.

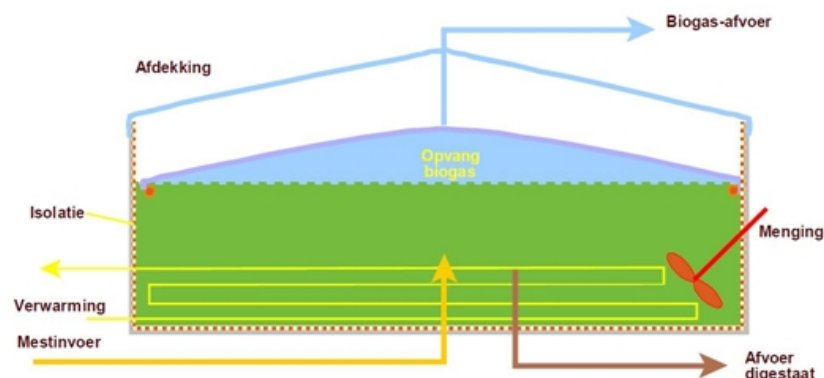
#### 3.4.1 Septic tank

Septic tanks zijn een van de eenvoudigste manieren om menselijke uitwerpselen te behandelen. Een septic tank werkt met bezinking, waar de zwaardere vaste stoffen naar de bodem zakken en de vloeibare lichtere delen blijven drijven. De septic tank kan gebruikt worden voor zowel urine en feces gemengd als gescheiden feces aangezien deze ook gescheiden voor 65-85% uit water bestaan (Wignarajah et al., 2006). Het vloeibare deel kan worden geloosd of verder behandeld. De vaste delen op de bodem van de tank kunnen vervolgens deels of geheel worden verteerd door bacteriën zonder zuurstof en waarbij biogas ontstaat (Stowa, z.d.-c). Een septic tank kan ook verwarmd worden, wat zorgt voor een vermindering van het aantal pathogenen (Koottatep et al., 2014).

#### 3.4.2 Vergister

Een veelgebruikte methode voor het behandelen van dierlijke mest is vergisting. Vergisting vindt plaats in dichte en geïsoleerde tank zoals weergegeven in Figuur 5 en resulteert doorgaans in biogas en een nutriënt rijk digestaat. Hoewel vergisting doorgaans wordt toegepast op dierlijke mest, is deze methode geschikt voor elke soort mest en organische reststof (Rijkswaterstaat, z.d.-b).

**Figuur 5. Schematische weergave van een verwarmde vergister. De verwarming voert de temperatuur op om het vergistingsproces te versnellen. Het biogas stijgt op naar boven waar het kan worden afgevoerd. Het nutriënt-rijke digestaat wordt onder afgevoerd. Overgenomen van Rijkswaterstaat (z.d.-a)**



De snelheid van het vergisten is afhankelijk van onder andere temperatuur, pH-waarde, C:N ratio en het droge stofgehalte. Vergisting vindt spontaan plaats bij lage temperaturen (0-20°C) en versneld bij hogere temperaturen (20-75°C) (Rijkswaterstaat, z.d.-b). De hoge temperaturen zijn te verdelen in mesofiel (35°C), thermofiel (55-60°C) en hyperthermofiel (>70°C). Bij beide thermofiele behandelingsmethoden vermindert het aantal pathogenen aanzienlijk meer dan bij mesofiele behandeling terwijl het verschil tussen 55, 60 en 70°C klein is (Moerland et al., 2020). Volgens Rijkswaterstaat (z.d.-c) kan een digestaat uit een vergister ofwel direct gebruikt worden of verder behandeld. Twee mogelijkheden voor verdere behandeling zijn drogen en hygiëniseren zoals beschreven in sectie 3.1 en 0.

#### 3.5 Zuiverende kassen

Zuiverende kassen zijn een waterzuiveringssysteem bedacht door het bedrijf Organica in Hongarije. In deze kassen zuiveren planten het water doordat micro-organismen zoals bacteriën maar ook medicijnresten binden aan de wortels in het water (Oey, 2014). STOWA heeft een onderzoek gestart



om onafhankelijk deze methode te onderzoeken, waaruit blijkt dat deze methode inderdaad vele voordelen kent ten opzichte van traditionele RWZIs (Otte & Schellekens, 2017).

Zuiverende kassen kunnen bacteriën en medicijnresten filteren uit water. De focus van de methode en het STOWA rapport zijn het zuiveren van water, waardoor er geen informatie is opgenomen over het effect op nuttige micronutriënten die juist gewenst zijn als meststof. Daarnaast is een stromend mengsel nodig waardoor de methode misschien niet relevant is voor toepassing op een gescheiden feces stroom.

#### 4 Beoordeling behandelingsmethoden

In Tabel 1 zijn alle omschreven methoden uit sectie 3 beoordeeld op in hoeverre deze rekening houden met sporen van pathogenen, zware metalen en medicijnen. Een - is toegewezen als er geen rekening werd gehouden, een + wanneer dit wel werd gedaan maar beperkt en een ++ wanneer er aangetoond is dat de methode effectief resten verwijderd.

**Tabel 1. Methoden beoordeeld op rekening houden met pathogenen, zware metalen en medicijnresten.**

Methode	Pathogenen	Zware metalen	Medicijnresten
Drogen	+	-	-
Hygiënisatie	++	-	-
Composteren op hoge temperatuur	++	-	+
Septic tank	+	-	-
Vergister	++	-	-
Zuiverende kassen	+	-	+

De methoden uit sectie 3 zijn ofwel gebaseerd op het verwerken van dierlijke mest of specifiek voor menselijke uitwerpselen. Daarom houden alle methoden rekening met het verwijderen van pathogenen, omdat dit de voornaamste zorg is bij het hergebruiken van zowel dierlijke als menselijke feces. Er zijn wel verschillen tussen methoden in hoe effectief pathogenen worden verwijderd. Over het algemeen zijn de methoden die gebruik maken van hoge temperaturen (>70°C), zoals hygiënisatie, composteren op hoge temperatuur en vergisten, het meest effectief in pathogenen verwijderen.

Het verminderen of verwijderen van zware metalen werd voor alle methoden geen enkele keer benoemd. Medicijnresten werden alleen benoemd bij composteren op hoge temperatuur en zuiverende kassen, hoewel het voor de laatste methode niet duidelijk was of dit aangetoond kon worden of slechts een claim was.

#### 5 Conclusie en discussie

De drie risico's die vaak benoemd worden bij het gebruik van menselijke feces als meststof zijn pathogenen, zware metalen en medicijnresten.

Zowel dierlijke als menselijke feces bevatten altijd een grote hoeveelheid pathogenen. Pathogenen in menselijke feces kunnen mens specifiek zijn, waardoor deze vaak worden beschouwd als een verhoogd risico ten opzichte van dierlijke mest. Zowel menselijke als dierlijke pathogenen kunnen over het algemeen effectief worden bestreden bij hoge temperaturen (>70°C).

Zware metalen zijn niet meer aanwezig in menselijke feces dan bij dierlijke feces en vormen daarom geen verhoogd risico ten opzichte van dierlijke mest. Het effect van zware metalen op bodemkwaliteit was niet binnen de scope van deze studie, al is het voor vervolgonderzoek wel belangrijk om hier rekening mee te houden.

Medicijnen resten worden vooral uitgescheiden via feces. Antibiotica vormen bij menselijke feces geen verhoogd risico omdat deze net zo veel gebruikt worden in de veehouderij. Wel zijn er soorten medicijnen die alleen door mensen gebruikt worden en deze kunnen eventueel een verhoogd risico vormen. Medicijnresten zijn daarom een punt van aandacht voor vervolgonderzoek. Het soort medicijnen dat wordt ingenomen door mensen is zeer divers en sterk afhankelijk per gebied. Hoewel volgens onderzoek van Almeida et al. (2014) antibiotica meer gebruikt wordt voor vee dan mensen, kan hier niet uit worden geconcludeerd dat dat in Nederland ook het geval is. Het zou daarom nuttig zijn om bij een lokale pilot te onderzoeken welke medicijnresten voor en na behandeling worden aangetroffen.

Composteren op hoge temperatuur komt naar voren als de beste methode omdat deze methode zowel aantoonbaar effectief pathogenen verwijderd als medicijnresten verminderd. Verder zijn hygiënisatie en vergisting de enige twee methoden die effectief pathogenen kunnen verwijderen maar houden deze methoden dus geen rekening met medicijnresten. Voor vervolgonderzoek kunnen composteren op hoge temperatuur, hygiënisatie en vergisting getest worden op kleine schaal met lokale menselijke feces. Metingen van medicijnresten, zware metalen en pathogenen voor en na bewerking kunnen dan uitsluitsel geven over de veiligheid en duurzaamheid van menselijke feces als organische meststof.

## 6 Referenties

- Almeida, A., Duarte, S., Nunes, R., Rocha, H., Pena, A., & Meisel, L. (2014). Human and veterinary antibiotics used in Portugal—a ranking for ecosurveillance. *Toxics*, 2(2), 188-225. <https://doi.org/10.3390/toxics2020188>
- Appiah-Effah, E., Nyarko, K. B., Antwi, E. O., & Awuah, E. (2015). Heavy metals and microbial loads in raw fecal sludge from low income areas of Ashanti Region of Ghana. *Water Practice and Technology*, 10(1), 124-132. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2015.014>
- Bassan, M., Dodane, P.-H. & Strande, L. (2014). Chapter 3: Treatment Mechanisms. Strande, L., , Ronteltap, M. & Brdjanovic, D. *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation* (pp 45-66). IWA Publishing.
- Blaak, H., van den Berg, H. H. J. L., Docters van Leeuwen, A. E., Italiaander, R., Schalk, J. A. C., Rutjes, S. A., Schets, F. M. & de Roda Husman, A. M. (2010). *Emerging pathogenen in oppervlaktewater*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
- De Boo, M., van der Nat, L., Roskamp, H., van Zijl, K., Hiemstra, S. J., Hinssen, P., Loeffen, W., Vermunt, A., van der Made, E., Verver, S. & Vrolijk, H. (2020). WOT Wettelijke Onderzoektaken: meten, tellen, verzamelen en duiden voor de overheid. Wageningen University & Research.
- De Buissonjé, F., Melse, R., Mosquera J. & Verdoes, N. (2013). *Inventarisatie emissies en geluidsoverlast van mestbewerkingsinstallaties en eventuele maatregelen* (Nr. 703). Wageningen UR Livestock Research. Geraadpleegd op 11 december 2023, van <https://edepot.wur.nl/276854>.
- De Roda Husman, A. M., Ketelaars, H. A. M., Lodder, W. J., Medema, G. J., & Schets, F. M. (2006). *De microbiologische kwaliteit van het ingenomen en afgeleverde water van Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch in 2001* (Nr. 330250002). RIVM. Geraadpleegd op 11 december 2023, van <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/256418/330250002.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- De Waal Malefijt, A.J.W. (1982). Cadmium, chroom, koper, lood, nikkel en zink in huishoudelijk afvalwater en in af te voeren neerslag. *H2O*(15), 355-361. <https://edepot.wur.nl/387365>
- Dumontet, S., Diné, H., & Baloda, S. B. (1999). Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: a review. *Biological agriculture & horticulture*, 16(4), 409-430. <https://doi.org/10.1080/01448765.1999.9755243>
- Eberhardt, Y. (2021). Analysis of antibiotics in sewage sludge and compost using LC-MS/MS. *University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland (FHNW), Master'st.*
- Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J. and Winblad, U. 1998. Ecological Sanitation. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden. [http://www.ecosanres.org/pdf\\_files/Ecological\\_Sanitation.pdf](http://www.ecosanres.org/pdf_files/Ecological_Sanitation.pdf)
- Friedler, E., Butler, D. & Alfiya, Y. 2013. Wastewater composition. *Source separation and decentralization for wastewater management*, 241-257.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource technology*, 112, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>

Häfner, F., Monzon Diaz, O. R., Tietjen, S., Schröder, C., & Krause, A. (2023). Recycling fertilizers from human excreta exhibit high nitrogen fertilizer value and result in low uptake of pharmaceutical compounds. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 2592.

Harder, R. (2012). *Source-separation in the urban water infrastructure*. STOWA. Geraadpleegd op 26 Oktober 2023, van

<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202012/STOWA%202012-W-14.pdf>

Harder, R., Wielemaker, R., Larsen, T. A., Zeeman, G., & Öberg, G. (2019). Recycling nutrients contained in human excreta to agriculture: Pathways, processes, and products. *Critical reviews in environmental science and technology*, 49(8), 695-743.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1558889>

Hendriks, R. (2019). *Compostering*. WUR. Geraadpleegd op 11 december 2023, van

<https://edepot.wur.nl/478234>

IPLO. (z.d.). *Technieken om mest te behandelen*. Informatiepunt Leefomgeving. Geraadpleegd op 8 december 2023, van

<https://iplo.nl/thema/praktijksituaties/veehouderijen/technieken-behandelen-mest/#:~:text=Drogen%20van%20mest&text=Vaak%20wordt%20drijfmest%20en%20digestaat,vooral%20geur%2C%20ammoniak%20en%20fijnstof>

Jönsson, H., & Vinnerås, B. (2013). Closing the loop: Recycling nutrients to agriculture. *Source separation and decentralization for wastewater management*, 163-177.

Kasper, G. J. & Horrevorts J. H. (2007). *Mestexport vanuit Nederland* (Nr. 87). Animal Sciences Group.

Geraadpleegd op 11 December 2023, van <https://edepot.wur.nl/38948>

Koottatep, T., Phuphisith, S., Pussayanavin, T., Panuvatvanich, A., & Polprasert, C. (2014). Modeling of pathogen inactivation in thermal septic tanks. *Journal of water, sanitation and hygiene for development*, 4(1), 81-88. <https://doi.org/10.2166/washdev.2013.190>

Kumar, M., Ou, Y. L., & Lin, J. G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste management*, 30(4), 602-609. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>

Li T, Dong H, Tao X (2013) *Research progress on disinfection technology of wastewater from animal production*. *J Agric Sci Technol* (Beijing) 15(2):137–143

Moerland, M. J., Borneman, A., Chatzopoulos, P., Fraile, A. G., van Eekert, M. H., Zeeman, G., & Buisman, C. J. (2020). Increased (antibiotic-resistant) pathogen indicator organism removal during (hyper-) thermophilic anaerobic digestion of concentrated black water for safe nutrient recovery. *Sustainability*, 12(22), 9336. <https://doi.org/10.3390/su12229336>

Moron, A., Schaart, N., Verheijen, E., Wets, M., Kokhuis, K. & Stam, S. (2018). *Thematische studie Nieuwe Sanitatie*. Waternet en Gemeente Amsterdam. Geraadpleegd op 11 december 2023, van [https://openresearch.amsterdam/image/2019/8/7/20181130\\_eindconcept\\_themastudie\\_nieuwe\\_sanitatie.pdf](https://openresearch.amsterdam/image/2019/8/7/20181130_eindconcept_themastudie_nieuwe_sanitatie.pdf)

Öberg, G., & Mason-Renton, S. A. (2018). On the limitation of evidence-based policy: Regulatory narratives and land application of biosolids/sewage sludge in BC, Canada and Sweden. *Environmental Science & Policy*, 84, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.03.006>

Otte, A. & Schellekens, D. (2017). *Verkenning zuiverende kassen*. STOWA. Geraadpleegd op 26 oktober 2023, van

<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202017/STOWA%202017-45.pdf>

Oey, A. (Regisseur), Vijn, C. (Research), Hagen, H & Wiering, F. (Eindredactie). (23 maart 2014). De kracht van water. Goossens, H. (Producent), *Tegenlicht*. VPRO.

<https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/kijk/afleveringen/2013-2014/de-kracht-van-water.html>

Peeters, S.J.W., Horstink, M.C.J. & Schlatmann, A.T.M. (2011). *Integrale visie duurzame drijfmestverwaarding* (Nr. 11.445). EnergyMatters. Geraadpleegd op 5 december 2023, van

[https://agriconnect.nl/system/files/documenten/boek/2011-09-00\\_integrale\\_visie\\_duurzame\\_drijfmestverwaarding.pdf](https://agriconnect.nl/system/files/documenten/boek/2011-09-00_integrale_visie_duurzame_drijfmestverwaarding.pdf)

Pelan-Mattocks, L. S., Kehrli, M. E., Casey, T. A., & Goff, J. P. (2000). Fecal shedding of coliform bacteria during the periparturient period in dairy cows. *American Journal of Veterinary Research*, 61(12), 1636-1638.

Richard, M., Knauf, S., Lawrence, P., Mather, A. E., Munster, V. J., Müller, M. A., Smith, D & Kuiken, T. (2017). Factors determining human-to-human transmissibility of zoonotic pathogens via contact. *Current opinion in virology*, 22, 7-12.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458.

Rijkswaterstaat. (z.d.-a). *De vergistingsinstallatie*. Kenniscentrum infomil. Geraadpleegd op 1 december 2023, van

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking/procesbeschrijving/index/>

Rijkswaterstaat. (z.d.-b). *Het vergistingsproces*. Kenniscentrum infomil. Geraadpleegd op 1 december 2023, van

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking/procesbeschrijving/vergistingsproces/>

Rijkswaterstaat. (z.d.-c). *Toepassing digestaat*. Kenniscentrum infomil. Geraadpleegd op 5 december 2023, van

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking/procesbeschrijving/toepassingen/>

RIVM. (z.d.). *Zoönosen*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 5 december 2023, van <https://www.rivm.nl/rivm/kennis-en-kunde/expertisevelden/zoonosen>

RIVM. (2021, 21 juli-a). *E.coli (Escherichia coli)*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 7 december 2023, van <https://www.rivm.nl/e-coli-escherichia-coli>

RIVM. (2021, 21 juli-b). *Giardiasis*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 7 december 2023, van <https://www.rivm.nl/giardiasis>

RIVM. (2023, 21 november). *Shigellose*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 7 december 2023, van <https://www.rivm.nl/shigellose>

RVO. (2015). *Maximale waarden voor zware metalen*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 28 november 2023 op

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/04/Tabel%20Maximale%20waarden%20voor%20zware%20metalen.pdf>

- Singh, R. P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste management*, 28(2), 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010>
- Stowa. (z.d.-a). *UASB-reactor*. Geraadpleegd op 2 december 2023, van <https://www.saniwijzer.nl/technieken/verwerking-afvalwater/anaerobe-actiefslibsystemen/uasb-reactor>
- Stowa. (z.d.-b). *UASB-septic tank*. Geraadpleegd op 2 december 2023, van <https://www.saniwijzer.nl/technieken/verwerking-afvalwater/anaerobe-actiefslibsystemen/uasb-septic-tank>
- Stowa. (z.d.-c). *Vergister*. Saniwijzer. Geraadpleegd op 2 december 2023, van <https://www.saniwijzer.nl/technieken/verwerking-afvalwater/anaerobe-actiefslibsystemen/vergister>
- van Leuken, J.P.G., Hoeksma, P., Schijven, J.F., Schmitt, H. & de Roda Husman, A.M. (2017). *Verkenning van de microbiologische risico's van mest voor de gezondheid*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Geraadpleegd op 5 december 2023, van <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2017-0100.pdf>
- Vinnerås, B. (2013). Sanitation and hygiene in manure management. In Sommer, S. G., Christensen, M. L., Schmidt, T. & Jensen, L. S. (Eds.), *Animal manure recycling: Treatment and management* (91-104). John Wiley & Sons.
- Voedingscentrum. (n.d.). E. coli. Geraadpleegd op 28 November 2023, van <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/e-coli.aspx>
- Watter. (z.d.). *Enterococcus bestrijden met Watter*. Geraadpleegd op 10 december 2023, van <https://www.watter.nl/effactief/enterococcus-spp/>
- Wignarajah, K., Litwiller, E., Fisher, J. W., & Hogan, J. (2006). Simulated human feces for testing human waste processing technologies in space systems. *SAE Transactions*, 424-430.
- Willekens, K. & Janmaat, L. (2014). *Bodemvruchtbaarheid*. WUR. Geraadpleegd op 13 december 2023, van <https://edepot.wur.nl/326324>
- Winker, M., Faika, D., Gulyas, H., & Otterpohl, R. (2008). A comparison of human pharmaceutical concentrations in raw municipal wastewater and yellowwater. *Science of the total environment*, 399(1-3), 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.03.027>
- WUR. (z.d.). *PPS Kringloopsluiting van Nutriënten uit Afvalwater en Proceswater (KNAP)*. Geraadpleegd op 17 oktober 2023, van <https://www.wur.nl/knap>
- Zhou, X., Wang, J., Lu, C., Liao, Q., Gudda, F. O., & Ling, W. (2020). Antibiotics in animal manure and manure-based fertilizers: Occurrence and ecological risk assessment. *Chemosphere*, 255, 127006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127006>