

# *Biomeilers: De kracht van compost*

---

*Van poep & plas naar compost & warmte*

*5 oktober 2016*



*Door:*

*Fedde Jorritsma*

*Daan Schone*

*Liesbeth Stoker*

**stimuleringsfonds  
creatieve industrie**

**DE ECONIERS**



# Biomeilers - De kracht van compost

---

## *Van poep & plas naar compost & warmte*

*“Thermophilic composting requires no electricity and therefore no coal combustion, no acid rain, no nuclear power plants, no nuclear waste, no petrochemicals and no consumption of fossil fuels. The composting process produces no waste, no pollutants and no toxic by-products. Thermophilic composting of humanure can be carried out century after century, millennium after millennium, with no stress on our ecosystems, no unnecessary consumption of resources and no garbage or sludge for our landfills. And all the while it will produce a valuable resource necessary for our survival while preventing the accumulation of dangerous pathogenic waste.”*

— **Joseph Jenkins, *The Humanure Handbook: A Guide to Composting Human Manure***

*5 oktober 2016*

*Door:*

*Fedde Jorritsma*

*Daan Schone*

*Liesbeth Stoker*

*Mogelijk gemaakt door het stimuleringsfonds*

**stimuleringsfonds  
creatieve industrie**



# Inhoudsopgave

1.Hoe het zover kwam.....	4
2.Aanleiding & Inleiding.....	4
2.1 Eureka: de Biomeiler!.....	5
2.2 Hamvraag.....	5
3.Wie zijn wij.....	6
3.1 LocalWise.....	6
3.2 De Econiers.....	6
3.3 Onze broodnodige partners.....	7
Stimuleringsfonds.....	7
Biomeiler.nl.....	7
Ondernemers en bewoners Suikerunieterrein.....	7
En verder.....	7
4.De onderzoeksvragen.....	8
5.Het experiment.....	9
5.1 De plek en de mensen.....	9
5.2Het 'afval'.....	9
Poep en plas.....	9
GFT.....	10
Houtsnippers.....	10
5.3 De bouw.....	10
Stap 1. De basis.....	10
Stap 2. De percolaatbak.....	10
Stap 3. De opbouw van de wanden.....	10
Stap 4. Het vullen van de Biomeiler.....	11
Stap 5. Warmte energie gebruiken.....	11
Stap 6. Aanbrengen van luchtdoorlatend kuildoek.....	11
Stap 7. De meet-apparatuur en de percolaatpomp.....	12
Stap 8. Aankleding Biomeiler.....	12
5.4Meetapparatuur & -methodes.....	12
Compostmonsters.....	12
Bepaling energieopbrengst.....	13

Waardebepaling compost.....	13
6.Resultaten.....	16
6.1 Resultaten energieopbrengst.....	16
6.2 Resultaten compostkwaliteit.....	19
Toetsing aan compost-wetgeving Nederland.....	19
Hygiëne-parameters.....	20
Medicijnresten.....	21
6.3 Economische en maatschappelijke haalbaarheid.....	22
Waarde van compost.....	22
Kosten-baten Analyse.....	22
Vermarkting van compost met humanure.....	24
6.4 Biomeilers in een bebouwde woon- en werkomgeving?.....	26
7.Conclusies.....	28
8.Aanbevelingen.....	29
9.Referenties.....	30
Bijlage 1 Opbouw van de Biomeiler.....	31
Beschrijving bouw basis:.....	31
Beschrijving bouw percolaatbak:.....	31
Beschrijving bouw wanden:.....	32
Beschrijving bouw opvulling:.....	32
Bijlage 2: Waarde kenmerken compost volgens keurcompost.....	34
Bijlage 3: Onderzochte medicijn-reciduen.....	36
Bijlage 4 Kosten-baten analysegegevens.....	37

## 1. Hoe het zover kwam

Hoe kunnen we nieuw leven maken van ons organisch 'afval', van de menselijke mest die we produceren en ons groente, fruit- en tuinafval? Kan dat op een manier die effectief, veilig en aantrekkelijk is? In de woon- en werkomgeving? En met een combinatie van duurzame technologie, ontwerp en circulaire economie met samenlevingsopbouw?

Deze vragen brachten ons – LocalWise en De Econiers – bij elkaar. Na enig speurwerk stuitten we op een mogelijke techniek: de Biomeiler. Een onderzoek was geboren.

Wij danken het Stimuleringsfonds Creatieve Industrie voor het mogelijk maken van dit unieke pilotproject, de mannen van de Stichting Biomeiler voor hun adviezen en hulp, en de mensen op de onderzoekslocatie – het oude suikerunie-terrein in de stad Groningen – voor hun onderdak, steun en GFT.

## 2. Aanleiding & Inleiding

De noodzaak voor het sluiten van de kringloop wordt steeds groter: de Nederlandse bodems degraderen, de wereldwijde reserves fosfor raken op en de verwerkingskosten van afval nemen toe. Tegelijkertijd komt er steeds meer draagkracht voor een 'bio-based economie' waarbij kringlopen zo lokaal mogelijk worden gesloten. Oók omdat mensen zo hun maatschappelijke en ecologische betrokkenheid vorm kunnen geven. Kringlopen sluiten wordt daarmee niet alleen nuttig maar ook leuk!

Groente, fruit en tuinafval (GFT) wordt door veel gemeentes gecomposteerd. Maar de energie die hierbij vrijkomt blijft vaak onbenut. In dit project willen we aantonen dat het mogelijk is om de energie te benutten van compost. Maar we willen meer laten zien...

Menselijke meststoffen worden vooralsnog in ons land behandeld als afval. Jaarlijks betalen we rioolwaterbelasting en worden er miljarden geïnvesteerd in rioolwaterstelsels en zuiveringen. De nuttige nutriënten uit de menselijke mest worden gedeeltelijk terug gewonnen met kostbare technieken. Een ander gedeelte komt in het slib terecht en kan niet meer worden gebruikt in de kringloop omdat het slib vervuild is met andere stoffen.

Medicijnresiduen in het milieu zijn een toenemende zorg en vragen steeds meer aandacht van drinkwaterbedrijven en rioolwaterzuiveringen. Tegelijkertijd tonen enkele onderzoeken aan dat medicijnen in menselijke ontlasting worden afgebroken d.m.v. een composteringsproces.

## 2.1 Eureka: de Biomeiler!

In onze zoektocht naar een geschikt systeem stuiten we op de Biomeiler.

De Fransman Jean Pain (1930–1981) bedacht in 1960 in het Franse Var de eerste Biomeiler en heeft de nodige navolging gekregen. 'Jean Pain Composting' is een methode om van houtsnippers (snoeiafval) snel een goede compost te maken. Een juiste verhouding tussen koolstof en stikstof is daarbij essentieel. Bacteriën breken houtsnippers af tot houtcompost die zéér voedzaam is voor planten. Bij deze omzetting komt veel warmte vrij (tot 60-65 graden) die benut kan worden voor bijvoorbeeld douchen, wassen of verwarming. Met een warmtewisselaar van kunststof slangen wordt het warme water naar een woning of opslagvat getransporteerd. De hoogwaardige houtcompost die de Biomeiler levert is een perfecte bodemverbeteraar. De opbouw van het hele systeem is simpel en low-tech. In de afgelopen jaren heeft de Duitse organisatie Native Power en Nederlandse stichting Biomeiler.nl veel ervaring opgedaan met een makkelijke opbouw en een snelle afbraak van de Biomeiler.

## 2.2 Hamvraag

De hamvraag voor ons experiment werd: kunnen we met de Biomeiler nieuw leven maken van afvalmateriaal? Concreter: kunnen we met de Biomeiler ons organisch afval - GFT en humanure (menselijke mest) - in een stedelijke omgeving zo composteren dat zowel de opgewekte warmte als de uiteindelijke compost gebruikt kunnen worden?

## 3. Wie zijn wij

### 3.1 LocalWise

LocalWise is een initiatief van Fedde Jorritsma, opgericht in juni 2013. Met een BSc & MSc studie in watertechnologie & -management en tien jaar ervaring in de ontwikkelingssamenwerking geeft LocalWise adviezen, cursussen, verkoopt producten en begeleidt projecten op het gebied van gedecentraliseerde oplossingen voor water, energie en sanitaire voorzieningen die lokaal geproduceerd kunnen worden en zich goed terugverdienen. LocalWise ziet een samenleving waarin mens en natuur met elkaar samenwerken. Technologie kan daarbij faciliteren.

LocalWise is in 2013 begonnen met het plaatsten van urine-gescheiden composttoiletten op evenementen. De menselijke meststoffen kunnen weer terug gebracht worden in de kringloop mits de mest verwerkt wordt tot een veilig product. Dit bleek lastig in Nederland. In 2014 is LocalWise samen met NL-innovators opzoek gegaan naar economisch en juridisch haalbare oplossingen. Een mogelijke optie bleek verwerking in een Biomeiler, waarbij niet alleen goede compost wordt geproduceerd maar ook warm water en daarmee energie.

LocalWise is initiatiefnemer van deze aanvraag en voert het onderzoek uit samen met De Econiers.

### 3.2 De Econiers

Daan Schöne en Liesbeth Stoker zijn zzp-er en werken samen in De Econiers. De Econiers ontwerpen en realiseren in nauwe samenwerking met gebruikers 'slimme ecologische tuinen van overvloed' en geven en verzorgen workshops over (sociale) permacultuur en ecologie. Centraal staan principes van zelfvoorzienende ecosystemen; compostering en kringlopen vormen daarbij essentiële elementen.

Daan Schöne (BSc landscape architecture & environmental management) is eigenaar van Schöne | Tuin | | Landschap | Ecologie en werkt als tuin- en landschapsontwerper en ecologisch hovenier. Hij is ervaren in het ontwerpen en aanleggen van openbare ruimten zoals parken, straten, pleinen maar ook in het ontwerpen en aanleggen van tuinen voor particulieren. Daan combineert een esthetische invulling van de omgeving met een productieve harmonie tussen levend landschap en mensen.

Liesbeth Stoker (MSc Psychologie) is een sociaal ondernemend idealist en werkt vooral als organisatie-adviseur en communicator. Ze helpt particulieren & organisaties om wensen voor een mens- en natuurvriendelijker leefomgeving 'bottom up' werkelijkheid te maken. Liesbeth is opgeleid tot psycholoog, communicatie-adviseur en permacultuurontwerper en bouwt voort op een brede werkervaring als projectleider in de non-profit sector, in de overheidscommunicatie en als (eind)redacteur en tekstschrijver.



### 3.3 Onze broodnodige partners

#### *Stimuleringsfonds*

Dit project was niet tot stand gekomen zonder financiële steun van het Stimuleringsfonds Creatieve Industrie.

Het Stimuleringsfonds is in 2013 van start gegaan als een nieuw type cultuurfonds dat opereert op het snijvlak van cultuur, economie en maatschappij, met een nieuw werkterrein: de creatieve industrie. Hierin zijn de toegepaste kunsten ondergebracht: van e-cultuur en gaming, productontwerp, grafisch ontwerp en mode tot architectuur, stedenbouw en interieur- en landschapsarchitectuur. De creatieve industrie beïnvloedt de hele fysieke en virtuele werkelijkheid. Alles om ons heen is ontworpen, bedacht, gemaakt. De taak van het Stimuleringsfonds is om de vele subdisciplines binnen het veelzijdige werkterrein van architectuur, vormgeving en e-cultuur, te ondersteunen in de uitoefening van hun continue veranderende praktijken.

#### *Biomeiler.nl*

De mannen van de Stichting Biomeiler stonden ons met raad en daad ter zijde. De Stichting Biomeiler heeft tot doel de kennis en ervaringen over de bouw van Biomeilers te verzamelen en te verspreiden. De stichting heeft sinds 2014 verschillende Biomeilers gebouwd in binnen- en buitenland en geeft workshops, adviezen en informatie.

#### *Ondernemers en bewoners Suikerunieterrein*

Ondernemers en bewoners van het oude Suikerunieterrein in de stad hielpen ons met GFT, onderdak, en een plek op het terrein voor de Biomeiler.

#### *En verder...*

Verder danken we Lex Minderaa voor het maken van de film van het experiment, Bas Heidenrijk voor de houtsnippers, Frank Scholtens en Teackele Soepboer voor het elektriciteitswerk, Mulders B.V. voor het kraan-werk, Kochlab in Deventer voor het analyseren van de monsters, Broedplaats de Campagne en Ploeg ID3 voor de plek, de gemeente voor het meedenken en alle andere mensen en organisaties die aan dit experiment hebben bijgedragen.



## 4. De onderzoeksvragen

Met dit onderzoek willen wij de weg vrij maken voor het terugbrengen in de kringloop van menselijke meststoffen in combinatie met GFT-afval. Als instrument gebruiken we de Biomeiler. De combinatie waarbij zowel menselijke mest als GFT-afval wordt gecomposteerd in Biomeilers, is nog nauwelijks onderzocht. Bovendien gaan wij na of én hoe de Biomeiler zo kan worden vormgegeven en opgezet dat toepassing in een woon- en werkomgeving aantrekkelijk en haalbaar wordt. In het project komen duurzame technologie, tuin- en landschapsontwerp, circulaire economie en samenlevingsopbouw samen.

De centrale vraag die wij hebben onderzocht is:

wat is de economische en maatschappelijke haalbaarheid van het lokaal verwerken van menselijke meststoffen en ander organisch materiaal tot energie en vermarkt-bare compost?

Deze vraag brengt ons tot de volgende deelvragen:

1. Hoeveel energie wordt er opgewekt door de Biomeiler?
2. Voldoet de verwerkte compost aan de wettelijke eisen voor gebruik in de landbouw m.b.t. pathogenen en toxische stoffen zoals zware metalen en medicijnresiduen?
3. Heeft de compost economische waarde? Zo ja, hoe kan het worden vermarkt? Hoe kan een Biomeiler economisch rendabel gemaakt worden?
4. Hoe kan de Biomeiler zodanig worden ontworpen en gerealiseerd dat plaatsing in een bebouwde woon- en werkomgeving aantrekkelijk en haalbaar wordt voor betrokken partijen, klanten en 'toeleveranciers'?

## 5. Het experiment

### 5.1 De plek en de mensen

Innovatie, duurzaamheid, samenwerken en maatschappelijk rendement zijn centrale kenmerken van de tijdelijke stad in de stad die de komende vijftien jaar ontstaat op het 125 hectare grootte Suikerunieterrein midden in Groningen. Op het terrein onderzoeken innovatieve ondernemers en tijdelijke bewoners samen werkenderwijs nieuwe vormen van samen werken, samen leven en verblijven.



*Figuur 1: De Wolken fabriek op het Suikerunie terrein | [www.dewolkenfabriek.com](http://www.dewolkenfabriek.com)*

November 2015 is het terrein nog grotendeels leeg en verlaten. Een paar mensen wonen en werken in een oud kantoor, festival-organisator Psy-fi heeft er een kleine nederzetting, beheerder ID3 houdt er kantoor, café-restaurant De Wolkenfabriek trekt vrijwel dagelijks klanten en organiseert veel activiteiten en in de lege fabriekshallen zijn met enige regelmaat festivals en exposities.

Maar begin 2016 staan tal van nieuwe initiatieven op stapel. Onder meer een werkplaats van een groep kunstenaars & ontwerpers waar één van ons – Fedde Jorritsma – deel van uitmaakt. Hun locatie en gebouwen zijn zeer geschikt voor ons experiment. Kortom: het oude Suikerunie terrein is voor ons de plek om in Groningen te experimenteren met het ter plekke sluiten van kringlopen.

### 5.2 Het 'afval'

#### *Poep en plas*

Bij de start van het experiment had LocalWise de humanure – poep en plas – al via eco-toiletten en strobalen verzameld op diverse festivals, zoals het Magneetfestival in Amsterdam, het Full-color festival Kampen, het Bodemfestival in Onstwedde en verschillende andere evenementen. Tevens was er ongeveer een ton (de helft) afkomstig van een buurt initiatief met ecologische toiletten genaamd Tuin in de Stad.

### **GFT**

In het experiment lag de nadruk op compostering van humanure. Dat betekende dat we maar weinig GFT konden gebruiken. De GFT die we hadden, kwam van diverse gebruikers op het terrein.

### **Houtsnippers**

De houtsnippers in een Biomeiler moeten zo vers mogelijk zijn, hoe vochtiger hoe beter. Wij maakten gebruik van twee soorten houtsnippers: dennenhout en loofhout. Het loofhout was twee week oud en bedoeld voor het broeiproces. Het dennenhout werd gebruikt als onder- en bovenlaag van de Biomeiler ter isolatie tegen kou. Die snippers waren meer dan een jaar oud. De snippers waren lokaal en regionaal verzameld door Heidenrijk Boomonderhoud.

## **5.3 De bouw**

Een gemiddelde Biomeiler levert ca. 1.5 tot 2 jaar warmte. Tegen die tijd is ook de compost klaar, al kunnen er nog wel wat grotere stukken in zitten. Een Biomeiler wordt daarom vaak na twee jaar afgebouwd en weer met nieuw materiaal opgebouwd.

### **Stap 1. De basis**

De Biomeiler is gebouwd op een bestaande verharding. Omdat wij werken met menselijke mest, die ziekmakende bacteriën kan bevatten, is het essentieel dat er geen vloeistof met eventuele pathogenen uit kan lekken naar de omgeving. Voor een Biomeiler met niet-menselijke mest zou het overigens vooral jammer zijn als er voedingsstoffen en bacteriën weg zouden lekken.

Stap 1 is daarom de bouw van een fundering van ophoogzand onder afschot, op zo'n manier dat het percolaat (= de vloeistoffen uit de Biomeiler) wordt opgevangen in een zogenoemde 'percolaatbak'. Onze percolaatbak is een halve IBC-tank die we verdiept in de grond aanbrengen. Om omhoogdrijven tegen te gaan, leggen we op de bodem een aantal stoeptegels. Rondom de fundering onder afschot maken we een dijkje zodat het percolaat echt nergens anders naar toe kan stromen dan naar de percolaatbak.

### **Stap 2. De percolaatbak**

In de percolaatbak wordt het vocht (percolaat) uit de Biomeiler opgevangen zodat het terug kan worden gepompt over de Biomeiler. Een Biomeiler moet voldoende vochtig blijven om op temperatuur te blijven en bovendien voedt het percolaat de Biomeiler met voedingsstoffen.

### **Stap 3. De opbouw van de wanden**

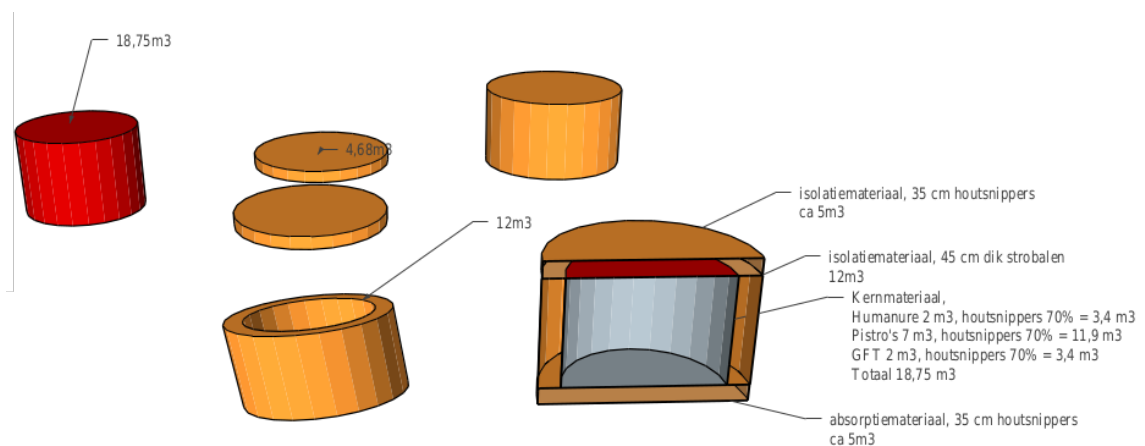
Voor de opbouw van de wanden van onze Biomeiler hebben wij gekozen voor gestapelde stobalen (oogt mooi & natuurlijk, ter isolatie en als absorptiemateriaal voor eventuele geurtjes). Voor voldoende stevigheid brengen we om de stobalen wand hekwerken aan van betonbewapening verbonden door harpjes.

#### Stap 4. Het vullen van de Biomeiler

In de wanden van strobalen is de ruimte - totaal  $12 \text{ m}^3$  - als volgt opgebouwd van onder naar boven (zie ook figuur 2 hieronder):

1. 35 cm naaldhoutsnippers ( $5 \text{ m}^3$ ) om het percolaat te absorberen en ter isolatie tegen kou van de grond;
2. een eerste kernlaag van een mengsel van loofhoutsnippers ( $3,4 \text{ m}^3$ ) met menselijke mest ( $2 \text{ m}^3$ ), bestaande uit ongeveer  $\frac{1}{3}$  zaagsel,  $\frac{1}{3}$  wc-papier en  $\frac{1}{3}$  fecaliën;
3. een tweede kernlaag van een mengsel van loofhoutsnippers ( $15,3 \text{ m}^3$ ) en stro met urine ( $7 \text{ m}^3$ ) en GFT ( $2 \text{ m}^3$ );
4. bovenop 35 cm naaldhoutsnippers ( $5 \text{ m}^3$ ) ter isolatie tegen kou van de bovenlucht van de kern.

Tijdens de opbouw hebben we bovendien ca.  $2 \text{ m}^3$  urine over de Biomeiler gepompt.



Figuur 2: de opbouw van de Biomeiler

De houtsnippers in de Biomeiler houden het mengsel luchtig: de houtsnippers composteren minder snel en voorkomen dat er luchtdichte lagen ontstaan als het andere materiaal door compostering fijner wordt.

#### Stap 5. Warmte energie gebruiken

Tussen de verschillende lagen hebben we twee 50 meter lange tyleslangen (25mm, wanddikte ca. 1.6 mm) gelegd als warmtewisselaars. De warmtewisselaar dient om de compostwarmte over te brengen naar het water. Het water dat door de slangen wordt gepompt, wordt in de Biomeiler verwarmd en kan vervolgens buiten de Biomeiler worden gebruikt voor verwarming van een kleine ruimte die een groep initiatiefnemers op het Suikerunieterrein naast de Biomeiler zou bouwen.

#### Stap 6. Aanbrengen van luchtdoorlatend kuildoek

Bovenop de tyleslangen hebben we water & lucht doorlatend kuildoek gelegd om de tyleslangen te beschermen als we de Biomeiler tzt afbreken, zodat we ze kunnen hergebruiken.

### **Stap 7. De meet-apparatuur en de percolaatpomp**

In de Biomeiler zijn temperatuur-sensoren aangebracht en aangesloten op een raspberry-pi computer van de Stichting Biomeiler.nl. De computer stuurt via het mobiele netwerk elke dag meetgegevens naar een emailadres. Zowel de computer als de (12 volt) pomp in de percolaatbak krijgen elektriciteit via een zonnepaneel bovenop de Biomeiler. De aansluiting van de sensoren, de pomp en het zonnepaneel hebben wij laten doen door een deskundige.

### **Stap 8.. Aankleding Biomeiler**

Door de strobalen wand heeft de Biomeiler een natuurlijke uitstraling die goed past in het landschap. Na verloop van tijd ontkiemen er zelfs zaden in de strobalen waardoor de Biomeiler langzaam groen wordt.

In bijlage 1 is een uitvoerige beschrijving opgenomen van de verschillende onderdelen van de Biomeiler.

## **5.4 Meetapparatuur & -methodes**

### **Compostmonsters**

Om te kunnen bepalen of de compost voldoet aan de wettelijke eisen voor gebruik in de landbouw wat betreft pathogenen, toxische stoffen zoals zware metalen en medicijnresten (onderzoeksdeelsvraag 2, zie hoofdstuk 4) hebben we op 23 mei 2016 monsters gemaakt van de compost in de Biomeiler. We hebben twee mengmonsters gemaakt (zie figuur 3):

**Monster 1:** Bovenop de Biomeiler hebben we 5 gaten geboord, ca. 1.5 meter vanaf de buitenste rand van de Biomeiler tot ca. 1 meter diep (dieper kon niet vanwege de warmte buizen). Het monstermateriaal op een diepte van 0,5 tot 1,2 meter bestond uit een mengsel van loofhout, strobalen met urine, en GFT.

**Monster 2:** Op 1 meter hoogte vanaf de bodem hebben we rondom 5 gaten geboord tot 2 meter diep horizontaal. Het monstermateriaal - dat in deze laag bestond uit houtsnippers met humanure - hebben we in een plastic bak gemengd. Monster 2 bevatte veel hout, wat een nauwkeurige analyse moeilijk maakte. Daarom hebben we in overleg met het laboratorium (Koch) ervoor gekozen om alleen het fijne materiaal te analyseren en niet het houtige deel. Na zeven (door een zeef van 2 mm) bleef 13% over. Logischerwijs is dit het meest risicovolle deel als het gaat om pathogenen en medicijnresten.

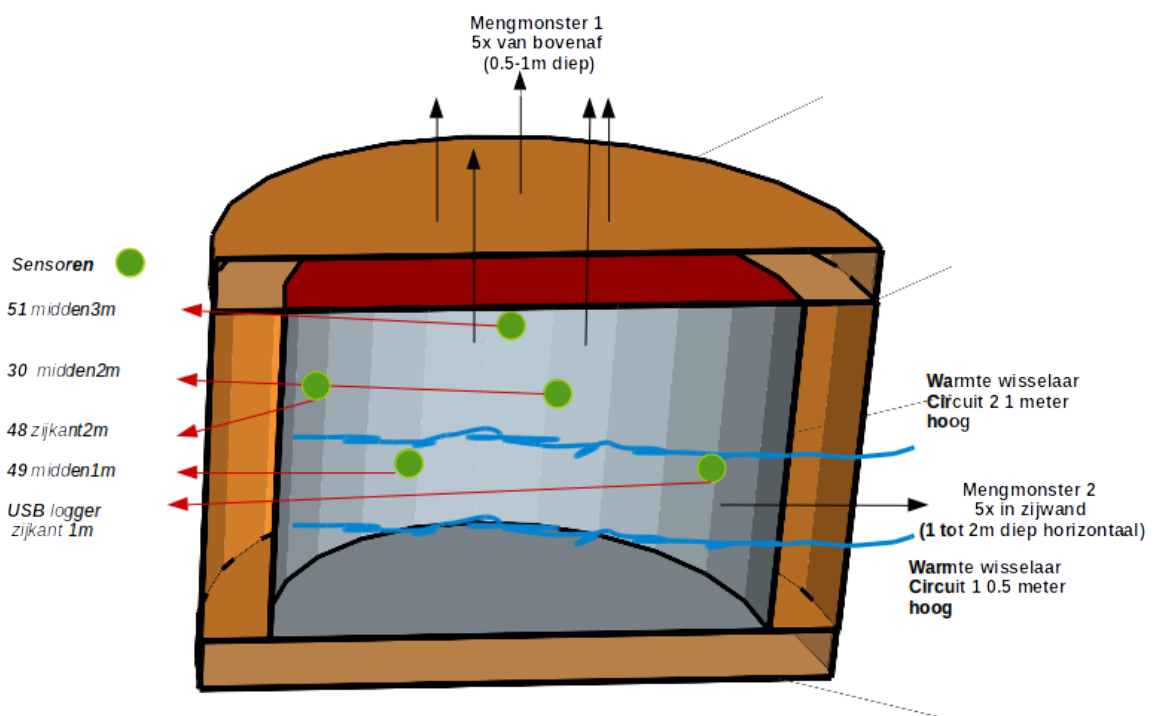
De monsters zijn dezelfde dag opgestuurd naar het laboratorium van Koch. Daar aangekomen bleek er te weinig materiaal voor de analyse van monster 2 te zijn. Op 1 juni is daarom nog een monster 2 gemaakt en naar Koch gestuurd.

Beide monsters hebben we laten analyseren op compostkwaliteit, pathogenen en medicijn-residuen. De medicijnresten zijn alleen voor monster 1 geanalyseerd. Dit vanwege de kosten en omdat gebruikte geneesmiddelen vooral via urine (circa 80%) en minder via feces (circa 20%) worden uitgescheiden (Winker, 2009). Voor de analyses hebben we meerdere instanties benaderd waaronder onderzoeksinstitu-

ten en universiteiten. Uiteindelijk kwamen we uit bij Kochlab in Deventer. Kochlab kon 97 verschillende stoffen testen met een precisie van  $>0,5$  mg/kg. Medicijnresten komen soms in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  kunnen voorkomen (Winker, 2009, STOWA, 2014). Een volledige lijst van onderzochte stoffen staat in bijlage 3.

### Bepaling energieopbrengst

Om de energie-opbrengst van de Biomeiler te kunnen meten hebben we tijdens de bouw van de Biomeiler zes sensoren geplaatst. Omdat de sensoren (met het computer-systeem) niet direct geplaatst konden worden, hebben we een 'stand-alone' logger geplaatst op 1 meter hoogte en 1 meter diep (zie figuur 3).



Figuur 3: plaatsing van sensoren en monstername

De potentiële energieopbrengst is berekend aan de hand de volgende formule gebruikt:

**Vermogen:**  $\Phi = qv \times Pw \times cw \times \Delta t$

$\Phi$  = Vermogen in kW

$Qv$  = volumestroom in  $\text{m}^3/\text{s}$

$p_w$  = soortelijke massa in  $\text{kg}/\text{m}^3$  (water 981... 1000)

$c_w$  = soortelijke warmte in  $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  (water 4,19... 4,2)

$\Delta t$  = temperatuur verschil (kelvin)

### Waardebepaling compost

Om de economische opbrengst van de compost te bepalen (onderzoeksdeelvraag 3, zie hoofdstuk 4) hebben we de Economische Waardekaart gebruikt die door Keur-



compost is ontwikkeld, onze zintuigen gebruikt, zelf metingen gedaan en een Kosten en Baten Analyse uitgevoerd.

#### [Economische waardekaart compost](#)

Met deze kaart kunnen een aantal positieve eigenschappen van compost in geld worden uitgedrukt. De werkelijke waarde van de compost kunnen we echter pas bepalen nadat we de Biomeiler hebben afgebroken. Dit doen we als de compost optimaal is; naar verwachting is dat december 2017.

Het model achter de economische waardebepaling van de Economische Waardekaart gaat uit van de samenstelling van een specifieke partij Keurcompost. Deze kan online worden ingevuld op de website van keurcompost. De benodigde parameters zijn onderzocht in het Kochlab (zie paragraaf 5.4).

Vervolgens berekent het rekenmodel automatisch een vijftal waarden (Keurcompost, 2016): effectieve organische stof, mest- en kalkwaarde, ziekteverendheid en koolstofvastlegging. In bijlage 2 zijn deze kenmerken van compost nader toegelicht.

Bij de waardebepaling via de Economische Waardenkaart worden geen hygiënische parameters meegenomen. Ook een aantal positieve eigenschappen van Keurcompost zijn op dit moment nog onvoldoende nauwkeurig in geld te kwantificeren. Een voorbeeld is de mate waarin de compost essentiële sporenelementen levert zoals borium en mangaan.

#### [Zintuigen en metingen](#)

Ter aanvulling van de chemische analyse hebben we de compost ook regelmatig beoordeeld op geur en kleur:

- De geur van goede compost kan uiteenlopen van neutraal tot bosgeur. Een compost die sterk naar rotte eieren ruikt, bevat veel zwavel en dat duidt op een slechte compostering. Een compost die sterk naar ammoniak ruikt, is instabiel en nog niet rijp.
- De kleur van een goede compost kan variëren van donkerbruin tot bijna zwart. Asgrijs en gitzwart wijzen op een te warm composteerproces (verbranding).

Bovendien hebben we meerdere malen de zuurgraad (pH), het zuurstofgehalte en het zoutgehalte in de percolaat bak gemeten.

Alle waarnemingen hebben we opgenomen in een online logboek.

#### [Kosten Baten Analyse \(KBA\)](#)

In een KBA wordt rekening gehouden met het feit dat geld op dit moment meer waard is dan in de toekomst. Om de kosten en de baten goed te kunnen vergelijken, worden de verwachte kosten en baten teruggerekend naar het moment dat een project start (het zogenaamde basisjaar). De euro's in de toekomst worden verrekend met een vast percentage per jaar. Een ander woord voor dit percentage is de discountvoet. In de KBA voor de Biomeiler hebben we een discountvoet van 5% gebruikt. Verder hebben we de aanname gedaan dat het materiaal 10 jaar meegaat en



er dus 5 keer een Biomeiler van gebouwd kan worden. Een gemiddelde Biomeiler heeft immers een levensduur van twee jaar omdat dan de compost is uitgebroeid en optimaal is.

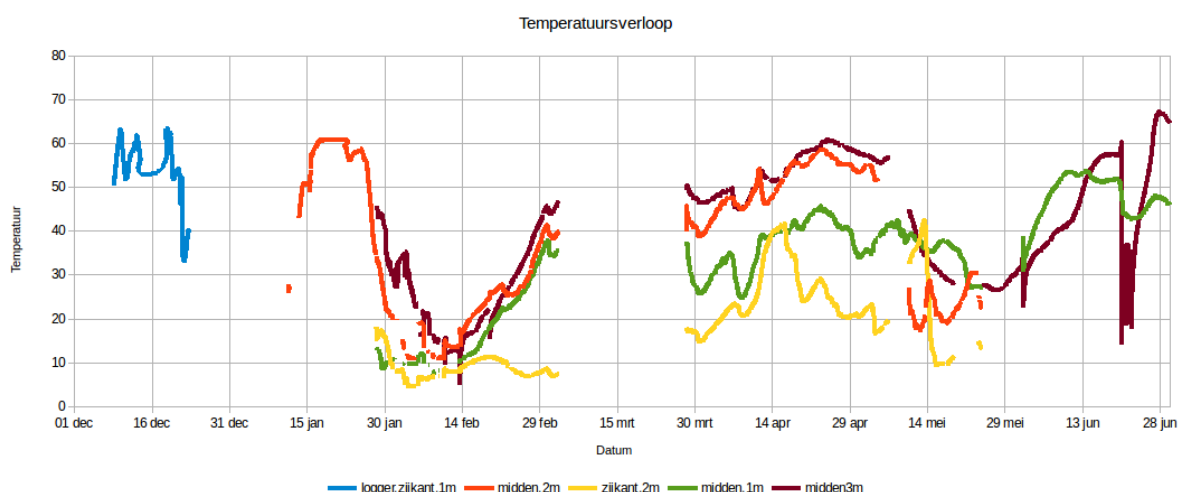
## 6. Resultaten

### 6.1 Resultaten energieopbrengst

In de onderstaande grafiek is het temperatuursverloop van de Biomeiler te zien op verschillende punten en meetmomenten. De Biomeiler is over het algemeen tussen de 40 en 60 graden Celsius en het warmst in de bovenste laag. Enkele dagen na de opbouw was de compost bovenin zelfs te warm om aan te raken (> 80 graden Celsius). Eind januari kwam de eerste dip. In figuur 4 is te zien dat er in die dagen ook een stevige wind was met veel regen. Andere oorzaken kunnen zijn te weinig vocht, zuurstof en/of thermofiele bacterie kolonies. De fluctuaties van deze parameters komen vaker voor in compost. De temperatuur klom langzaam weer op in februari nadat we verschillende verschillende maatregelen hebben genomen:

- Het inpakken van de Biomeiler met een zeil langs de wanden.
- Water over de Biomeiler pompen waarin 5 kg suiker is opgelost. De suiker dient als extra voedingsbron voor de bacteriën.

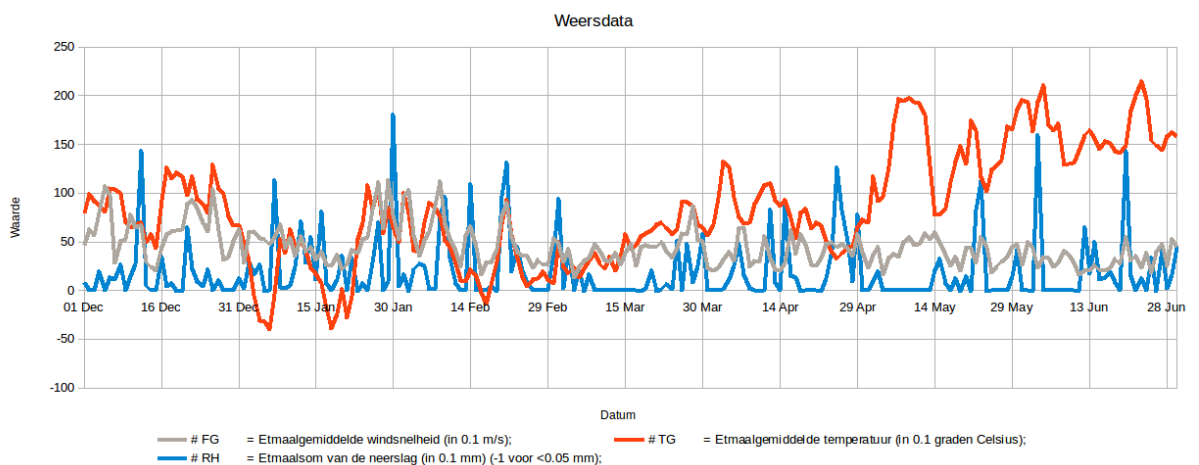
Omdat in maart de sensoren niet werkten door een lastig op te lossen softwarefout, hebben we die maand met een vleesthermometer in het bovenste gedeelte van de Biomeiler gemeten. Die meting gaf tussen de 40 en 50 graden Celsius aan. In april klom de temperatuur voor de bovenste sensoren op naar 60 graden. Op 10 mei is het zeil weer verwijderd waarna er weer een dip kwam. In deze periode waren de windsnelheden iets hoger dan daarvoor. De temperatuur-dropping gaat nu tot ca. 30 graden en klimt ook geleidelijk weer op (zonder enige maatregel). In het einde van juni zien we nog een steiging van sensor 51 (boven in het midden van de Biomeiler) nadat er menselijke urine is toegevoegd via de percolaatbak.



Figuur 4: Het temperatuurverloop van de Biomeiler tussen december 2015 en juni 2016

Bij aansluiting bleken twee sensoren niet te werken. Begin juni is nog een sensor kapot gegaan. Bovendien hebben in maart de sensoren bijna een maand lang niet gewerkt door een fout in de software.

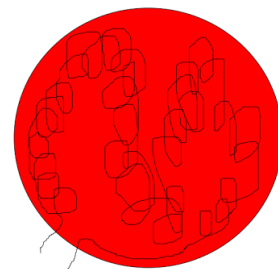
Bovendien wilden we de warmte meten van het water na opwarming in de Biomeiler. Ook deze meting kon helaas niet doorgaan. De ontwikkelingen en met name de benodigde vergunningen van de diverse initiatieven op het Suikerunieterrein in Groningen liepen namelijk veel vertraging op. Daardoor stond er zomer 2016 nog steeds geen gebouw waarvoor de warmte van de Biomeiler gebruikt kon worden.



Figuur 5: Windsnelheden, neerslag en buitentemperatuur gedurende de meetperiode | bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl) – Eelde

We hebben daarom ter vervanging al in maart een radiator bij de Biomeiler geplaatst om met een natuurlijke circulatie (door warmte, genaamd thermosiphon) alsnog de energie-opname en -afgifte te kunnen bepalen. Ook dit bleek echter niet te werken. De mogelijke redenen zijn:

- We hebben de leidingen al cirkelend in de Biomeiler gelegd in twee lagen en niet gelijk na opbouw gevuld met water. Door de druk van de compost kunnen de leidingen ingedrukt zijn (zie figuur 6).
- We hadden leidingen genomen met een dunnere wanddikte (1.6 mm) dan de Stichting Biomeiler normaal gebruikt (2.7 mm)



Figuur 6: leidingen in de Biomeiler

De bovenste buizen zijn bij in- en uitgang uitgegraven maar hier is geen knik gevonden. Wat de echt oorzaak is, kunnen we waarnemen bij de afbraak.

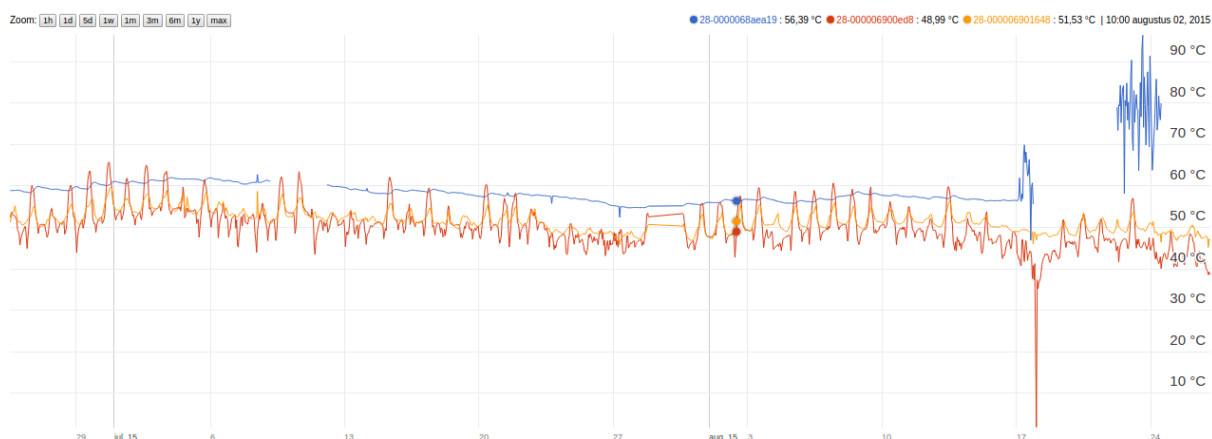
Wel is het vermogen van de Biomeiler berekend aan de hand van een hoge en lage schatting door Stichting Biomeiler op basis van ervaring. Zie tabel hieronder.

Tabel 1: berekende vermogen Biomeiler in Groningen | bron: Stichting Biomeiler.nl

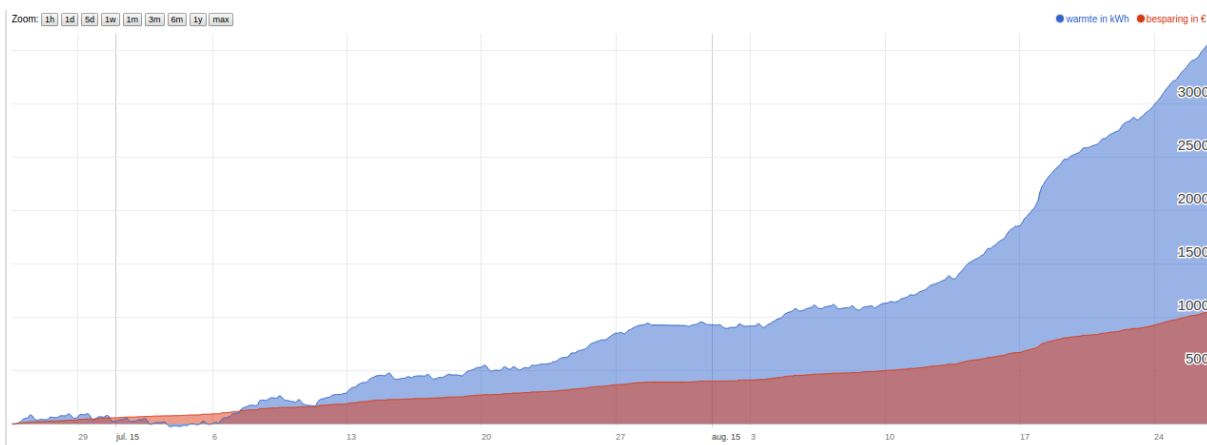
doorstroomsnelheid		ΔT	P (vermogen)		inhoud m <sup>3</sup>	oppervlak m <sup>2</sup>	diameter m	buis 25mm m	water liter
l/h	l/min.		kW	overdracht					
156,00	2,6	10,0	<b>1,81</b>	60,00%	<b>30,23</b>	10,08	<b>3,58</b>	181,39	<b>15.116</b>
105,00	1,8	10,0	<b>1,22</b>	40,00%	<b>30,52</b>	10,17	<b>3,60</b>	183,13	<b>15.261</b>

Een vermogen van ca. 1.5 kW zou dus neerkomen op 1080 kWh per maand. Deze hoeveelheid energie komt overeen met 111 m<sup>3</sup> aardgas = ca. 72 euro per maand (€ 0,65 /m<sup>3</sup>)

In de onderstaande grafieken staan de metingen weergegeven van een Biomeiler in Abcoude bij biologische boerderij de Hartstocht. Dit exemplaar is maar liefst 150 m<sup>3</sup>. In een periode van 2 maanden (25 juni tot en met 25 augustus 2015) produceert deze Biomeiler ca. 3600 kWh wat gelijk staat aan ca. € 1000 besparing op de gas rekening. De temperaturen liggen in deze periode tussen de 40 en 60 graden Celsius in zomer. Helaas is er nog geen data van na de zomer.



Figuur 7: Temperatuursverloop Biomeiler in abcoude (150 m<sup>3</sup>) Bron: Stichting Biomeiler.nl



*Figuur 8: Energie-opbrengst in kWh en euro's Biomeiler in abcoude (150 m<sup>3</sup>) Bron: Stichting Biomeiler.nl*

Het Duitse Biomeiler installatie bedrijf Power-Native noemt op hun site een opbrengst van 35000 KWH met 60 m<sup>3</sup> houtsnippers, berekent aan de hand van gemeten data (Power Native, 2016). Deze getallen zouden dus een hogere opbrengst betekenen dan de Biomeiler in Abcoude.

## 6.2 Resultaten compostkwaliteit

In de onderstaande tabel staan de analyse resultaten van de compostmonsters.

### *Toetsing aan compost-wetgeving Nederland*

De analyseresultaten zijn getoetst aan de Nederlandse BGM-wetgeving (Besluit Gebruik Meststoffen) die geldt sinds 15-01-2008. Monster 1 bestaat uit stobalen met urine en monster 2 uit houtsnippers en fecaliën, met zaagsel en wc-papier. Monster 1 voldoet aan de compostkwaliteit volgens de resultaten van het Koch lab.

Monster 2 is het aandeel gezeefd materiaal over een zeef van 2 mm was 13%. Logischerwijs is dit gedeelte het meest risicovolle deel. In het totale monster zijn waarschijnlijk, door de verdunning met hout, aanzienlijk minder zware metalen aanwezig. Wanneer het verder door composteert, kunnen (schadelijke) organismen verder afnemen maar ook doorgroeien.

*Tabel 2: Analyse resultaten compost kwaliteit Biomeiler Groningen*

PARAMETER	Monster 1	Monster 2	Eenheid	Norm
<b>Compost</b>				
Droge stof	297	323	g/kg	
Totaal-stikstof (N)	3.2	5.98	g/kg	
Fosfaat (P 2 O5)	1.9	4.2	g/kg	
Kali (K2O)	1.5	3.8	g/kg	
Zwavel (S)	0.3	0.45	g/kg	
Magnesium (MgO)	<1.0	1.8		
Organische stof	29.7	83.2	% DS	>10
<b>Zware metalen</b>				
Cadmium (CD)	0.24	0.55	mg/kg DS	1
Chroom (Cr)	12	90	mg/kg DS	50
Koper (Cu)	18	110	mg/kg DS	60
Kwik (Hg)	<0.050	<0.050	mg/kg DS	0.3
Nikkel (Ni)	13	8.2	mg/kg DS	20
Lood (Pb)	37	120	mg/kg DS	100
Zink (Zn)	100	350	mg/kg DS	200
Arseen (As)	5.4	11	mg/kg DS	15
<b>Hygiene</b>				
Campylobacter	NA	NA	in 25 gram	
Enterococcen	< 100	610	kve/g	≤ 1000 (1)
E- Coli algemeen	< 5	< 5	kve/g	≤ 1000 (1)
Salmonella	NA	NA	in 25 gram	0 (1)
Clostridium perfringens	45500	< 5	kve/g	≤ 1000 (2)
Clostridium botulinum	< 5	< 5	kve/g	onbekend
Clostridia	63350	27125	kve/g	onbekend
Stafylokokken	255000	2790000	kve/g	onbekend

(1) Volgens Beoordelingsrichtlijn Keurcompost

Versie 4.0 geldend vanaf 15 februari 2015: Enterococcen of E.Coli tijdens of onmiddellijk na de verwerking. Eén van de 5 monsters mag tussen 1000 en 5000 kve/gram liggen.

(2) basisverordening (EG) nr. 1069/2009

NA niet aangetoond

DS drogestof

kve/g = Het kiemgetal of kolonievormende (of bacteriekiemen) eenheden (kve) per gram

### Hygiëne-parameters

In beide monsters is de E. Coli bacterie binnen de beoordelingsrichtlijn van keurcompost evenals de Enterococen en Salmonella bacterie. In rioolwaterzuiveringen wordt het organisme E.Coli gebruikt als indicator voor schadelijke organismen. De Clostridium perfringens komt in monster 1 'ruim' voor. De minimale doses voor infectie is niet gevonden of niet bekend. In de Europese verordening dierlijke bijproducten wordt een norm gebruikt voor de C. perfringens van <1000 kve/g. Echter, compost is natuurlijk geen dierlijk bijproduct. C. perfringens behoort tot de klasse Clostridia die zowel in monster 1 als monster 2 'ruim' aanwezig is. Hieruit kan worden afgeleid dat er behalve de onderzochte C. perfringens en C. botulinum nog andere bacteriën in de klasse Clostridia aanwezig zijn die niet zijn onderzocht. Echter de zover bekend worden er geen normen gesteld aan deze organismen in de Clostridia klasse. Clostridia komt van nature veel voor in met name zuurstofarme, natte milieus. De C. perfringens komt voor in onze darmflora en is tot op zekere mate resistent tegen compost compost-condities. Deze bacterie kan voedselvergiftiging voorzake bij inname.

De stafylokokken hebben een hoge waarde van voor zowel monster 1 als 2 (zie tabel). De minimale doses voor infectie bij inname is volgens Schmid-Hempel, P., &

Frank, S. A. (2007) 100.000 ( $1 \times 10^5$ ). Er zijn geen normen gevonden voor stafylokokken voor bemesting of in compost.

De wereldgezondheidsorganisatie geeft 2 methoden om fecaliën te behandelen voor het gebruik op het land (WHO,2006):

1. Composteren – Hierbij moeten er temperaturen van minimaal 50 graden Celsius bereikt worden voor een week lang.
2. Uitdrogen – De feces voor 2 jaar laten staan en ventileren.

Na deze bewerkingen is het volgens de WHO veilig om humanure over het land te brengen voor gewassen die niet rauw gegeten worden.

J. Jenkins (2005) beschrijft in zijn boek 'Humanure' dat de meeste organismen al snel dood gaan als zij het lichaam verlaten. De parasieten zijn hier een uitzondering op en dan met name de eitjes. De eitjes van de rondworm *Ascaris lumbricoides* heeft bijvoorbeeld een harde wand die tegen extreme condities kan. Onderzoek naar overlevingstijd in verschillende milieus van de *Ascaris* eitjes geven uiteenlopende resultaten van enkele weken in zonnige, zandige condities tot enkele jaar in natte warme bodems. Verschillende studies laten zien dat een heet compostering van 50 tot 60 graden Celcius de eitjes deactiveren binnen 48 uur. Door de grote hoeveelheid monster dat nodig is voor een betrouwbare analyse op parasieten bleek het te kostbaar in dit experiment om deze testen uit te voeren.

### **Medicijnresten**

Er zijn totaal 96 stoffen van de meest gebruikte medicijnen getest. Zie bijlage 3 voor de complete lijst. Alle waardes waren beneden de 0,5 mg/kg oftewel < 500 µg/kg.

Het is te verwachten dat sommige concentraties lager zijn in de urine dan de detectie grens (> 500 ug/l) van de analyse (Winkler 2009). Normen voor compost of bodem zijn niet gevonden en naar waarschijnlijkheid niet beschikbaar gezien deze relatief nieuwe wetenschap.

Matina Winkler (2009) heeft in haar onderzoek gekeken naar het (potentiële) gedrag van geneesmiddelen in bodem en de opname door planten bij een directe urine bemesting. Geen van de onderzochte onderzoeken toonden aan dat medicijnen van mensen een toxisch effect hebben voor de mens. Tevens bleek uit de verschillende studies dat planten niet geremd worden in hun groei door de medicijn(residuen).

Toch is er reden om alert te blijven. Experimenten met carbamazepine (anti-epilepsie) waarbij een kunstmatige concentratie (een tienvoudige concentratie in urine) werd toegepast doet veronderstellen dat geneesmiddelen kunnen accumuleren in een plant (Winker,2009).

Er zijn weinig studies te vinden waarin de reductie van medicijnresten onderzocht wordt door middel van composteren. Guerin (2001) concludeert in zijn studie dat



compostering een effectief middel is om concentraties van probenecide en methaqualon te verminderen tot acceptabele waardes. In de agrarische sector zijn verschillende studies gedaan naar de afbraak van dierlijke medicijnen m.b.v. compost waarbij ook aanzienlijke reducties zijn aangetroffen (Jones & Martin 2003). Het lijkt erop dat bij slibretentietijd van meer dan 10 dagen bij 10°C, ook gunstig zijn voor de verwijdering van geneesmiddelen (STOWA, 2014). Dit zou erop wijzen dat ook een langdurige compostering, waarbij ook nog eens hoge temperaturen worden bereikt, gunstig zijn voor de verwijdering van medicijnen.

### 6.3 Economische en maatschappelijke haalbaarheid

#### Waarde van compost

De resultaten van de monsters (zie tabel ) zijn ingevuld in de online waardebepalingsinstrument van Keurcompost. Hieruit zijn de volgende waardes gekomen.

Tabel 3: Waarde van compost volgens waardebepaling Keurcompost

Waarde van de compost per ton product	Monster 1	Monster 2	Houtsnippers	Monster 2 gecorrigeert
Aanvoer effectieve organische stof	€ 6.95	€ 21.16	€ 30.87	€ 29.61
Bemestende waarde eerste jaar	€ 0.99	€ 2.37	€ 1.29	€ 1.43
Bemestende waarde jaren daarna	€ 1.54	€ 3.14	€ 2.34	€ 2.44
Kalk waarde	€ 0.00	€ 0.00	€ 0.00	€ 0.00
Sporen elementen (Bo,Zn, Mn)	NK	NK	NK	NK
Ziektewerendheid (minder bestrijdingsmiddelen)	€ 1.70	€ 1.70	€ 1.70	€ 1.70
Betere bodemstructuur en bewerkbaarheid	NK	NK	NK	NK
Erosiebestrijding	NK	NK	NK	NK
Koolstofvastlegging	€ 0.53	€ 1.60	€ 2.34	€ 2.24
<b>Totaal</b>	<b>€ 11.71</b>	<b>€ 29.97</b>	<b>€ 38.54</b>	<b>€ 37.43</b>

NK= niet kwantificeerbaar

Monster 2 was uitgezeefd (13%) en daarom gecorrigeerd met de nog niet gecomposteerde houtsnippers (87%). Monster 1 heeft een waarde van 11.71 euro terwijl monster 2 een waarde heeft van 37.43 euro. Het verschil komt met name door de drogestof gehalte.

#### Kosten-baten Analyse

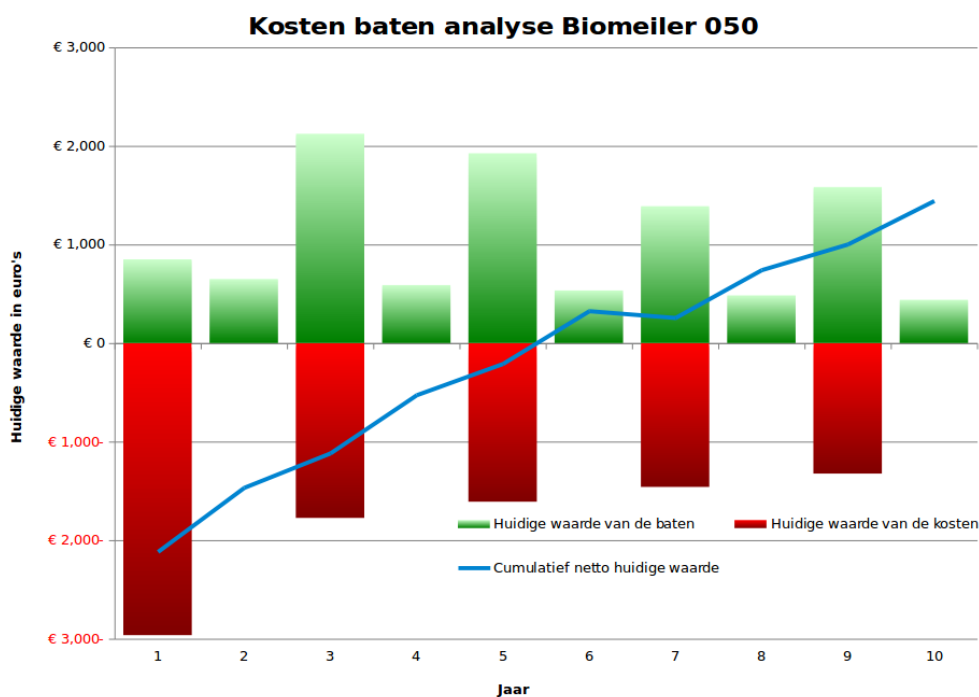
Om de economische haalbaarheid te bepalen is er een kosten-baten analyse (KBA) uitgevoerd. In de onderstaande tabel staan de kosten en baten die hiervoor hebben gebruikt.

Tabel 4: Baten en kosten van de Biomeiler in Groningen

Baten	Bedrag	Lasten	Bedrag
Warmte (70 eur/maand) 10 maande	€ 700	Materialen (eenmalig)	€ 1,500-
Compost (30 eur/m3)	€ 1,050	Arbeid (opbouw)	€ 600-
Verwerking humanure 65 euro/m3	€ 650	Inhuren kraan	€ 600-
Vervoer humanure	€ 150	Houtsnippers	€ 300-
		Vervoer compost	€ 300-
<b>Totaal baten</b>	<b>€ 2,550</b>	<b>Totale kosten</b>	<b>€ 3,300-</b>

\Deze kosten en baten zijn in het rekenmodel gezet voor 10 jaar, er vanuit gaande dat de materialen ongeveer 10 jaar meegaan. Wat betekent dat er 5 keer een Biomeiler mee kan worden opgezet (2 jaar per Biomeiler). In het eerste jaar zijn investeringskosten gemaakt voor de materialen (€ 1500,-). De energie opbrengst is 70

euro/maand voor 10 maanden. In de KBA is een vergelijking gemaakt met de kosten voor vervoer (€ 15/m<sup>3</sup>) en verwerking (€ 65,-/m<sup>3</sup>) van menselijke mest d.m.v. een rioolwaterzuivering. Na 2 jaar kan de compost 'geogst' en vervoerd (€10,-/m<sup>3</sup>) waarbij hoeveelheid met ongeveer 14% is geslonken (van 35 naar 30m<sup>3</sup>). Voor de waarde van de compost is 30 euro/m<sup>3</sup> gerekend (zie tabel 3). Elke 2 jaar wordt de Biomeiler opnieuw opgebouwd. De materialen kunnen opnieuw gebruikt worden. Er moet een kraan ingehuurd (€ 600,-) en het zijn ca. 1 dag werk met 2 mensen. De houtsnippers kunnen lokaal verkregen (=man-uren) of gekocht worden voor ca. €15 euro/ m<sup>3</sup>). In de onderstaande grafiek staan deze bedragen in de tijd uitgezet met een discontovoet 5% per jaar (=waarde daling van geld naar de toekomst toe).



Figuur 9: Kosten-baten analyse van de Biomeiler in Groningen

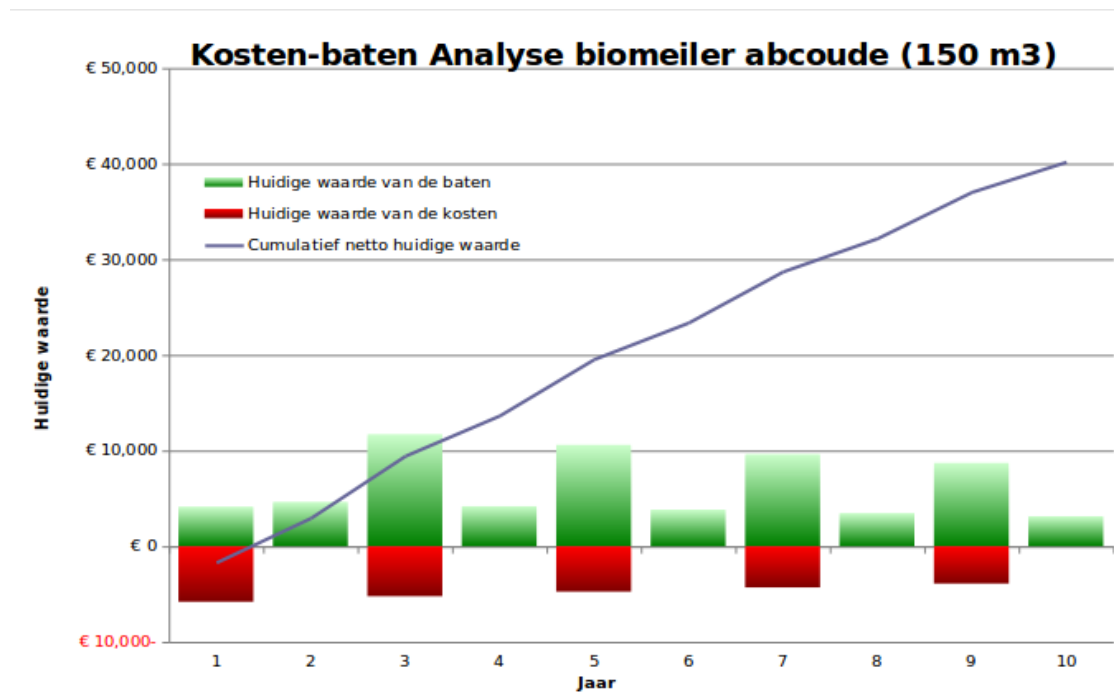
De berekeningen zijn opgenomen in bijlage 4. In de analyse zien we een terugverdientijd van 5 jaar.

Voor de Biomeiler in Abcoude is ook een KBA gemaakt. Hiervoor zijn de volgende waardes gebruikt.

Tabel 5: Baten en kosten van de Biomeiler in Abcoude

Baten	Bedrag	Lasten	Bedrag
Warmte (70 eur/maand)	€ 5,000	Materialen (eenmalig)	€ 2,000
Compost (30 eur/m <sup>3</sup> )	€ 4,500	Arbeid (opbouw)	€ 1,200
Verwerking humanure	€ 3,250	Inhuren kraan	€ 1,200
Vervoer humanure	€ 500	Houtsnippers	€ 1,500
		Vervoer compost	€ 1,500
<b>Totaal baten</b>	<b>€ 13,250</b>	<b>Totale kosten</b>	<b>€ 7,400</b>

Zie bijlage voor de volledige berekening.



Figuur 10: Kosten-baten analyse van de Biomeiler in Abcoude

### Vermarketing van compost met humane

In Nederland wordt er intensief gezocht naar mogelijkheden om de zogenaamde 'humane' terug in de kringloop te brengen. Stapje voor stapje wordt er vooruitgang geboekt. De grote vraag blijft echter is er een markt voor compost waarin menselijke ontlasting is verwerkt en mag dat?

Op de website van het STOWA instituut (2016) staat:

“Urine en fecaliën zijn technisch gezien goede meststoffen voor de landbouw. We kunnen ze echter niet zomaar als meststof gebruiken. Dit is het gevolg van de Wet Milieubeheer (WM) die urine, fecaliën en huishoudelijk afvalwater als afvalstof bestempelt. Daarmee vallen zij onder de werkingssfeer van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP2). Hierin zijn regels opgenomen over het scheiden, opslaan, mengen en eventuele nuttige toepassingen.

Door die aanduiding “afvalstof” is de meest voor de hand liggende toepassing van urine en fecaliën namelijk als meststof aan vergaande restricties gebonden. In Nederland moeten meststoffen voldoen aan de regelgeving, die is samengevat in de Meststoffenwet, het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.”

We hebben gezien dat de monsters van de Biomeiler aan de normen van compost voldoen maar dat er nog wel wat aandachtspunten zijn. In proefprojecten kan, met toestemming van het bevoegd gezag (meestal het waterschap of de gemeente), nader onderzoek worden uitgevoerd en ervaring worden opgedaan. Dit kan op termijn leiden tot aanpassing van de huidige wet- en regelgeving (2016)

Daarnaast kan de verwerkte humane gebruikt worden voor eigen gebruik of door particulieren maar dan mag de compost niet verkocht worden.

In Duitsland, België en Groot-Britanie is het al mogelijk om menselijke mest onder voorwaarden terug naar het land te brengen. Dus waar wachten we nog op om ook in Nederland het zwarte goud te vermarkten?

#### Andere aandachtspunten

- De structuur is een indicator van groot belang voor de compost. Een grovere compost draagt bij aan een directe structuurverbetering van de bodem. Daarnaast zal grovere (doorgaans jongere) compost, langer in de grond te vinden zijn. Het verteren vraagt om stikstof. Een fijnere compost zal doorgaans beter verteerd zijn en daarom nauwelijks stikstof verbruiken na toediening. Na 2 jaar composteren in een Biomeiler is een fijne compost te verwachten met her en der nog grove stukken. Het is gangbaar om de compost af te zeven op 20mm. Deze bewerking is nog niet opgenomen in de kosten-baten analyse.
- Een hogere C:N verhouding vraagt meer stikstof en tijd om verteerd te worden en heeft dus langer effect op de bodemstructuur. Een lagere C:N-verhouding vraagt minder stikstof maar is eerder verteerd. De hoeveelheid stikstof is bepalend voor de landbouwkundige waarde wanneer het hoofddoel bemesting is. Zie tabel 6 voor de C:N verhouding voor van monsters
- De verhouding stikstof: fosfaat is medebepalend voor de bruikbaarheid. Een compost waarbij de verhouding tussen stikstof:fosfaat nagenoeg 1:1 is, is landbouwkundig minder aantrekkelijk. Door de toediening van de compost is de fosfaatruimte snel gevuld en is er geen mogelijkheid meer om fosfaathoudende meststoffen aan te voeren. Een fosfaatarme compost heeft een stikstof:fosfaat verhouding van rond de 1:0,2. Fosfaatrijke compost een stikstof/fosfaat verhouding van rond de 1:0,75. Zie de tabel hieronder voor de stikstof/fosfaat ratio van de monsters.

Tabel 6: De C:N ratio en Stikstof : fosfaat ratio in monster 1 en 2.

	Monster 1	Monster 2	Optimaal
C:N ratio	1:92	1:54	1:30
Stikstof:fosfaat ratio	1:0,6	1:0,7	1:0,5

## 6.4 Biomeilers in een bebouwde woon- en werkomgeving?

Hoe kan de Biomeiler zodanig worden ontworpen en gerealiseerd dat plaatsing in een bebouwde woon- en werkomgeving aantrekkelijk en haalbaar wordt voor betrokken partijen, klanten en 'toeleveranciers'?

In onze ogen hebben wij met onze Biomeiler een mooi, natuurlijk object gebouwd. Het oordeel van anderen hebben we verder niet onderzocht, maar we horen het wel terug van mensen die komen kijken. Het ontwerp van de buitenkant kan nog groener worden gemaakt door planten zoals bruidsluier, clematis of hop in het stro te laten groeien. Of door – zie figuur 11 - de Biomeiler verder in te pakken met riet en wilgen.



Figuur 11: Biomeiler ingepakt met riet en wilgen tenen

Je ziet en ruikt ook op geen enkele manier dat binnenin het stro poep en plas ligt te composteren.

In een woon- of werkomgeving waarin ecologische en natuurlijke waarden belangrijk zijn, zou vanuit visueel oogpunt en geurbeleving bezien een Biomeiler dus ook prima een plek kunnen krijgen. Belangrijke voorwaarde is wel dat betrokkenen en eventuele omwonenden bereid zijn om hun eventuele negatieve houding tegenover poep en plas onder de loep te nemen.

### Maatschappelijke (on)mogelijkheden

Voor we het 'goud' kunnen vermarkten moeten we nog een andere hobbel nemen. Want ook al schreef Midas Dekkers er twee jaar geleden een lijvig boek over: 'De kleine verlossing of de lust van ontlasten'. Ook al werd beeldend kunstenaar Piero Manzoni in 1961 wereldberoemd door de verkoop van zijn eigen poep in blikjes van 30 gram voor de prijs van hetzelfde gewicht in goud. En ook al is poeptransplantatie in de medische wereld in opkomst. Alleen het praten over ontlasting is in onze cul-

tuur al zwaar beladen, laat staan het verwerken ervan en over de moestuin strooien om er vervolgens weer van te eten.

Tot de 18<sup>e</sup> eeuw was poep en plas overal en doodgewoon. En absoluut niet privé. Zo gaat het verhaal dat de Franse koning Lodewijk XVI (1638 – 1715) zijn bezoek ontving op zijn 'gemakstoel', die tussen het overige meubilair in de kamers stond. De bediende die de po mocht legen bekleedde een van de eervolste posities aan het hof. Dat veranderde toen in de Victoriaanse tijd in de Westerse wereld het watercloset aan opmars begon, en poepen en plassen privé werd in een afgesloten ruimte. Tegenwoordig heeft poep dan ook vooral negatieve associaties: stank, ziekte, smerigheid. Kortom: zo snel mogelijk wég ermee.

Humanure meer in een lokale kringloop sluiten vraagt dus om een stevige houdings- en gedragsverandering. In onze ogen betekent dat vooral klein beginnen, bij gemeenschappen van mensen die de noodzaak van het experimenteren met dergelijke ecologische voorzieningen inzien en bereid zijn om koploper te zijn.



## 7. Conclusies

Op basis van de resultaten van dit experiment en de literatuur kunnen we de conclusie trekken dat de Biomeiler met humanure (menselijke mest) zowel energie-technisch als zuiverings-technisch veel potentie heeft, maar nog niet rijp is voor opschaling.

Alhoewel niet alle temperatuursmetingen zijn gelukt, hebben we waargenomen de temperatuur over het algemeen tussen de 40 en 60 graden Celcius is, met uitschieters naar 80 graden. Twee keer is de Biomeiler sterk afgekoeld, wat lijkt samen te hangen met weersomstandigheden zoals wind en regen. Aan de hand ervaringen elders is een energie opbrengst van 1.2 tot 1.8 kW te verwachten met het formaat dat wij gebouwd hebben. Energie-opbrengsten van grotere Biomeilers zijn naar verwachting relatief hoger: 4 tot 8 KW volgens data van de Stichting Biomeiler en het Duitse bedrijf Power-Native.

Technisch gezien voldoet de compost aan de eisen van Keurcompost, waarbij Salmonella en E.coli bacteriën worden meegenomen als hygiënische parameters. Eén monster bevatte te hoge waardes voor zware metalen, maar bij dat monster was 13% uitgezeefd.

Uit de analyses op hygiënische parameters blijkt de E. Coli bacterie, evenals de Enterococci en Salmonella bacterie, vrijwel niet meer is terug te vinden na 6 maanden compostering. Wel vragen de bacterie Clostridium perfringens en Stafylokokken nog aandacht omdat zij te hoge waardes geven.

De compost heeft volgens een methode van Keurcompost een waarde van tussen de 12 en 35 euro per m<sup>3</sup>. Maar in de praktijk blijkt het erg lastig om een afnemer te vinden vanwege de juridische beperkingen die er zijn voor compost waarin menselijke ontlasting is verwerkt.

In een Kosten-Baten Analyse blijkt de Biomeiler in dit experiment een terugverdientijd te hebben van 5 jaar. Hierbij is aangenomen dat er een afzet is voor de compost. Bij een Biomeiler van 150 m<sup>3</sup> is er een terugverdientijd van 1 jaar.

In een woon- of werkomgeving waarin ecologische en natuurlijke waarden belangrijk zijn, zou vanuit visueel oogpunt en geurbeleving bezien een Biomeiler prima een plek kunnen krijgen.



## 8. Aanbevelingen

Het lijkt erop dat de Biomeiler gevoelig is voor sterke wind. Dit hebben wij opgelost door de Biomeiler in te pakken met zeil, hierna nam de temperatuur weer sterk toe. Bij de bouw van een nieuwe Biomeiler zou gekozen kunnen worden voor inpakken of een beschutte plek. Inpakken impliceert wel dat de Biomeiler er beduidend minder natuurlijk uitziet.

De C:N ratio van de monsters geven aan dat er meer stikstof (urine) toegevoegd kan worden aan de Biomeiler. Na de bemonsteringen is er dan ook meerdere malen festival-urine overheen gepompt. Het lijkt erop dat dit ten goede komt aan het composteringsproces en het eindproduct.

De bacterie-klasse Clostridia duidt op een anaeroob (zuurstofarm) milieu. Het is daarom aan te raden om een septic-tank voor de percolaatbak te plaatsen. De percolaatbak kan dan belucht worden. Ook is het aan te raden om een drainagebuis onderin de Biomeiler te leggen waardoor lucht kan worden gepompt.

Om schadelijke bacteriën van de menselijke ontlasting te verwijderen is het aan te raden om het materiaal in het midden te plaatsen omdat de Biomeiler daar warmer is.

Voor betrouwbare temperatuurmetingen is aan te raden om één deskundige in te schakelen en het systeem aan te sluiten op een internet verbinding (niet een prepaid gsm), en een betrouwbare stroombron.

Om humanure meer in een lokale kringloop te sluiten vraagt om een houdings- en gedragsverandering. In onze ogen betekent dat vooral klein beginnen, bij gemeenschappen van mensen die de noodzaak van het experimenteren met dergelijke ecologische voorzieningen inzien en bereid zijn om koploper te zijn.

De Biomeiler laat zien dat deze techniek mogelijkheden biedt om de kringloop lokaal te sluiten. Om dat geen wat van het land komt weer terug te brengen. Laten we daarom vooral doorgaan met experimenteren.

## 9. Referenties

Brown, G. 2014, The compost-powered water heater, Published by: the countryman press woodstock vermont

Jenkins, J. 2005, Humanure Handbook 3<sup>rd</sup> Edition. Published by: Chelsea Green publishing

Jones & Martin 2003, A review of literature on the occurrence and survival of pathogens and humans in green compost Institute for Animal Health, Compton, Newbury, Berkshire, RG20 7NN, UK Published by: The Waste and Resources Action Programme

Keurkompost 2014 beoordelingsrichtlijn, website: <http://keurcompost.nl/bvor.php>

Keurkompost 2016, website: [www.keurkompost.nl](http://www.keurkompost.nl)

Kujawa-Roeleveld et al. 2008, Sorption and biodegradation of pharmaceuticals from urine in soil Wageningen University & LeAF - Lettinga Associates Foundation Final report

Native power, 2016 website: [www.native-power.de](http://www.native-power.de)

Schmid-Hempel, P., & Frank, S. A. (2007), Pathogenesis, virulence, and infective dose. *PLoS Pathogens*, 3(10)

STOWA 2014, 45 Microverontreinigingen in het water | een overzicht

WHO 2006 guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater / World Health Organization. Volume 4 2001 Oct;33(4):256-63.

Winker 2009, Pharmaceutical residues in urine and potential risks related to usage as fertiliser in agriculture, Vom Promotionsausschuss der Technischen Universität Hamburg-Harburg zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieurin genehmigte Dissertation

## Bijlage 1 Opbouw van de Biomeiler

### *Beschrijving bouw basis:*

Om te beginnen hebben wij het terrein vrij gemaakt van onkruid en obstakels en een cirkel uitgezet van 5 meter in doorsnede. Dit kan gemakkelijk door een paaltje in de ondergrond te slaan in het centrum van de cirkel en een touwtje van 2,5 meter hier aan te binden en dan een rondje te lopen.

Op de rand van de cirkel hebben wij vervolgens anti worteldoek gelegd, op zo'n manier dat deze 1 meter binnen de cirkel ligt en 1 meter buiten de cirkel. Deze worteldoek wordt later omhoog gevouwen. Vervolgens hebben wij in het midden van de cirkel circa 3 m<sup>3</sup> ophoogzand aangebracht

Dit ophoogzand hebben wij vervolgens zo verspreid dat de buitenste rand van de cirkel (1 meter dik) ongeveer 30 cm hoog ligt. Dit wordt het dijkje. De binnenkant van de cirkel bevat ongeveer een zandpakket van 15 cm dik. Met dit zandpakket wordt het afschot naar de percolaatbak gecreëerd.

Het zandpakket is vervolgens met een kleine trilplaat goed verdicht, zowel op de dijkjes als op het pakket in het midden. De bovenkant van de dijkjes wordt hiermee al wat platter en kan zo dienen om de wanden van de Biomeiler op te gaan bouwen.

Daarna zijn de dijkjes waterpas geëgaliseerd. En het zandpakket daarbinnen onder afschot gebracht. Dit gebeurt op dezelfde manier als bij verharding, door het zand af te strijken met een waterpas.

Hierna hebben wij het anti-worteldoek omhoog gevouwen en vastgelegd op de dijkjes met tegels. Hier overheen hebben wij het vijverfolie aangebracht en daarover stroken zeil op zo'n manier dat het dakpansgewijs in de richting van het afschot ligt en vloeistof dus niet makkelijk onder het zeil stroomt. De basis van de Biomeiler is nu gereed.

### *Beschrijving bouw percolaatbak:*

Wij hebben voor onze percolaatbak een halve IBC tank gebruikt. De tank is simpelweg doorgesneden met een decupeerzaag.

Voor de tank is een voldoende groot gat gegraven. Op zo'n manier dat de tank lager dan de basis komt te liggen. Omdat de doorgesneden IBC tank niet veel stevigheid heeft in de wanden is het gat voorzien van houten steunwanden.

De tank is vervolgens in het gat gezet. Om te voorkomen dat bij het vollopen van het gat met regen-, of grondwater de tank gaat drijven zijn in de hoeken van de tank stoeptegels gestapeld met voldoende gewicht. De bovenrand van de tank is voorzien van een rand van latten en vastgeschroefd op de houten steunwanden (boven het vloeistof niveau). Dit voorkomt dat door gronddruk de tank indeukt.

Op het laagste punt van het zandpakket is een pvc buis door de dijk gestoken. De buis wordt ook onder een klein afschot gelegd. Via deze buis loopt straks het percolaat naar de percolaatbak. Zorg ervoor dat de buis lang genoeg is om ook door de wand van de percolaatbak te steken.

In het vijverfolie is een gat iets kleiner dan de buis gesneden en hierop is een koppelstuk geschroefd waarmee het vijverfolie waterdicht aansluit op de buis. Aan de andere zijde is ook een gat in de percolaatbak geboord met een gatenboor en hierop is ook een koppelstuk gemonteerd zodat de buis mooi aansluit op de percolaatbak.

In de percolaatbak wordt een rioolpompje van 12 volt (normaal gebruikt in woonboten) geïnstalleerd. Het pompje wordt aangebracht in een ruime geperforeerde pvc buis met een kous daaromheen zodat het niet verstopt raakt door vast materiaal in de vloeistof. De pomp is voorzien van een dompelschakelaar en een schakelkastje waarmee de pomp op uit, automatisch (dompelschakelaar) en aan kan worden gezet. Later in het proces wordt de pomp aangesloten op een zonnepaneeltje.

Tip: Zorg er bij aanschaf voor dat de pomp wel voldoende druk kan opbouwen om het water via een dunne slang 4 meter hoog te pompen. Met name de diameter van de slang is cruciaal om te zorgen dat de pomp niet doorbrandt. Zo is gebleken dat een Gardena pomp doorbrandt bij aansluiting op een Gardena tuinslang.

De percolaatbak is vervolgens voorzien van een deksel.

#### **Beschrijving bouw wanden:**

Als eerst worden boven op de dijkes van de basis een cirkel strobalen gelegd in lengte richting. Boven op deze cirkel worden vervolgens lagen strobalen gelegd in halfsteens verband. Dit tot de gewenste hoogte (3 meter in ons geval).

Om deze strobalen wand is zijn betonbewapening matten aangebracht. Gekozen is voor de dunste dikte betonbewapening die beschikbaar was zodat deze makkelijk buigt. Om perforaties van de basis en verwondingen te voorkomen zijn eerst alle uitstekende delen van de bewapeningmatten afgeslepen of afgeknipt met een betonschaar. De bewapeningmatten zijn met harpjes aan elkaar geschroefd. Door meerdere harpjes te gebruiken kan er voldoende druk op de matten komen te staan zonder dat deze breken. Wij hebben per verbinding 3 harpjes met een breeksterkte van 200kn gebruikt. Er mag iets minder dan 600kn kracht op deze verbindingen komen te staan voordat deze breken.

Met spanbanden en takels hebben wij de laatste verbinding goed strak getrokken en vervolgens vastgeschroefd, waarna de spanbanden weer verwijderd werden.

#### **Beschrijving bouw opvulling:**

Voor de bouw hebben wij gebruik gemaakt van een loonwerker met een graafmachine. Op deze manier kan het materiaal makkelijk 3 meter hoog worden opgetild en in de Biomeiler worden aangebracht.

Om het materiaal te mengen hebben wij eerst grote bouwzeilen neergelegd. Daarop kon de loonwerker houtsnippers leggen en doormengen met bijvoorbeeld de menselijke mest. Vervolgens zijn de lagen zo in de Biomeiler gelegd.

Tijdens de bouw moet er veel water aan de Biomeiler worden toegevoegd om het broeiproces op gang te brengen. Hiervoor hebben wij gebruik gemaakt van een gehuurde sterke pomp en dikke brandweer slangen. Er is zo'n 10.000 liter over de Biomeiler gepompt. Het pompen van water begint bij het opbouwen van de eerste laag en blijft non-stop gaande tot de Biomeiler helemaal gevuld is.

Ook vanuit de percolaatbak moet flink worden gepompt omdat deze bij de opbouw snel vol loopt. Een extra pomp is ook hiervoor nodig omdat de bak veel sneller volloopt dan de 12 volt pomp op zonnepaneel aan kan.

De tyleslangen zijn tijdens het opvullen spiraalsgewijs neergelegd in de Biomeiler. De eerste op ongeveer 1 meter hoogte en de tweede op ongeveer 2 meter hoogte. De uiteinden van de tyleslangen zijn door de stobalen wand gestoken op een lager punt dan waar aangebracht. Dit omdat de composthoop inklinkt tijdens het proces en de slangen dus iets lager komen te liggen. Hiermee wordt voorkomen dat er later te grote spanningen op de slangen komen te staan. Boven op de slangen is een kuildoek aangebracht om ze te beschermen bij de afbraak van de Biomeiler. Daarna zijn de lagen er boven aangebracht.

## Bijlage 2: Waarde kenmerken compost volgens keurcompost

1. De waarde van de aanvoer van effectieve organische stof (EOS). Het model gaat er hierbij van uit dat de EOS in Keurcompost EOS in stro vervangt. Dit is een conservatieve aanname, omdat in de praktijk meestal (duurdere) groenbemesters worden aangewend voor het verhogen van het gehalte EOS in de bodem.
2. De bemestende waarde van de Keurcompost, in het eerste jaar, en in de jaren daarna. De tool berekent de hoeveelheid kunstmeststoffen die door het gebruik van Keurcompost worden uitgespaard. De tool gaat hierbij uit van standaard gebruikte kunstmeststoffen (N, P, K en Mg) en gebruikelijke werkingscoëfficiënten voor het eerste jaar en de jaren daarna.
3. De kalkwaarde van de Keurcompost, waarbij het rekenmodel kalk toediening via Dolokal als referentie aanhoudt.
4. De ziekteverendigheid van Keurcompost. Omdat het nog niet mogelijk is deze per partij Keurcompost te bepalen, houdt de tool hiervoor een standaard conservatieve waarde aan, die is herleid uit Belgisch onderzoek.
5. De koolstofvastlegging in de bodem. Dit is de koolstof die langjarig in de bodem wordt vastgelegd, en daarmee bijdraagt aan reductie van klimaatverandering. Dit punt is minder van direct belang voor de compostgebruiker, maar maatschappelijk wel van meerwaarde.

Bovenstaand leidt tot een totaalwaarde van de Keurcompost. Bij de waardebepaling gelden een aantal uitgangspunten:

- Voor compost is uitgegaan van effectieve organische stof van 75%; voor stro van 35% ([www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl))
- De referentieprij voor organische stof is de Nederlandse marktprijs voor stro (2013)
- De referentieprijen voor meststoffen zijn de prijzen voor de kunstmeststoffen KAS, TPS, Kali 60 en Dolokal (prijzen conform LEI statistieken 2013))
- Beschikbaarheid nutriënten in eerste jaar: N 15%, P 75%, K 100%, Mg 20%
- Kalkwaarde is op basis vervanging Neutraliserende Waarde Dolokal
- Waarde van sporenelementen in compost (borium, koper, mangaan, zink, kobalt, etc.) is op dit moment nog niet betrouwbaar te kwantificeren
- De waarde voor ziekteverendigheid is afgeleid uit Vlaamse studie, waarbij ondergrens van gevonden range (€ 1,7 € 5,) is aangehouden

- De bijdrage van compost aan een betere bodemstructuur & bewerkbaarheid, en aan erosiebestrijding is op dit moment nog niet betrouwbaar te kwantificeren
- De waarde voor koolstofvastlegging is uitgaand van de CO2 prijs (EU rechten 2013)



## Bijlage 3: Onderzochte medicijn-reciduen

imethylaminoantipy- rine	dipyridamol	lincomycine	salicylzuur
5-fluorouracil	enrofloxacin	losartan	sotalol
atenolol	erytromycine	mebendazol	sulfachloorpyridazine
atorvastatine	etoposide	metformine	sulfadiazine
benzocaïne	fenazon	methotrexaat	sulfadimethoxine
bezafibraat	fenofibraat	metoprolol	sulfadimidine
bisoprolol	fenoprofen	metronidazol	sulfamerazine
carbadox	fenoterol	monensin	sulfamethoxazol
carbamazepine	florfenicol	nafcilline	sulfapiridine
cefuroxim	flumequine	naproxen	sulfaquinoxaline
chlooramfenicol	fluoxetine	oleandomycine	tamoxifen
claritromycine	furazolidon	oxacilline	temazepam
clindamycine	furosemide	oxazepam	terbutaline
clofibrinezuur	gabapentine	oxolinezuur	tiamuline
cloxacilline	gemcitabine	oxytetracycline	tolfenaminezuur
clozapine	gemfibrozil	paracetamol	tramadol
coffeïne	gentsinezuur	pentoxifylline	triclocarban
cortison	hydrochloorthiazide	pipamperon	trimethoprim
cyclofosfamide	ibuprofen	primidon	tylosin
dapson	ifosfamide	progesteron	valsartan
dexamethason	indomethacine	propranolol	vigabatrine
diazepam	irbesartan	quetiapine	warfarine
diclofenac	ketoprofen	ronidazol	
dicloxacilline	levetiracetam	roxithromycine	
dimetridazole	lidocaïne	salbutamol	

**Alle waarden waren beneden de detectie grens van 0,5 mg/l**

## Bijlage 4 Kosten-baten analysegegevens

### Cost Benefit Analysis Biomeiler 050 Suiker unie terrein Groningen

#### Option 1:

Thursday, September 15, 2016

#### Key Assumptions:

Discount Rate	5.00%
Appraisal period (years)	10 years

#### Summary of the Results of the Analysis:

Capital Costs	€ 2,300
Whole of Life Costs	€ 11,000
Present Value of Benefits	€ 10,578
Present Value of Costs	€ 9,133
Benefit Cost Ratio	1.16
Net Present Value	€ 1,446

Year	0 2015	1 2016	2 2017	3 2018	4 2019	5 2020	6 2021	7 2022	8 2023	9 2024
Discount factor (mid-year)	0.98	0.93	0.89	0.84	0.80	0.76	0.73	0.69	0.66	0.63
Discount factor (start of year)	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.64
Warmte (70 eur/maand)	€ 70	€ 700	€ 700	€ 700	€ 700	€ 700	€ 210	€ 700	€ 700	€ 700
Compost (30 eur/m3)			€ 900	€ 900	€ 900	€ 900	€ 900	€ 900	€ 900	€ 900
Verwerking humanure 65 eur/m3	€ 650		€ 650	€ 650	€ 650	€ 650	€ 650	€ 650	€ 650	€ 650
Vervoer humanure	€ 150		€ 150	€ 150	€ 150	€ 150	€ 150	€ 150	€ 150	€ 150
<b>Total Benefits (mid-year)</b>	<b>€ 870</b>	<b>€ 700</b>	<b>€ 2,400</b>	<b>€ 700</b>	<b>€ 2,400</b>	<b>€ 700</b>	<b>€ 1,910</b>	<b>€ 700</b>	<b>€ 2,400</b>	<b>€ 700</b>
Present Value of Benefits (mid-yr)	€ 849	€ 651	€ 2,124	€ 590	€ 1,927	€ 535	€ 1,391	€ 485	€ 1,585	€ 440
Present Value of Benefits	<b>€ 10,578</b>									
Arbeid (opbouw)	€ 600-		€ 600-		€ 600-		€ 600-		€ 600-	
Inhuren kraan	€ 600-		€ 600-		€ 600-		€ 600-		€ 600-	
Houtsnippers	€ 300-		€ 300-		€ 300-		€ 300-		€ 300-	
Vervoer compost			€ 300-		€ 300-		€ 300-		€ 300-	
<b>Total Costs (mid-year)</b>	<b>€ 1,500-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,800-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,800-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,800-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,800-</b>	<b>€ 0</b>
Capital Costs (at start of year)	€ 1,500-		€ 200-		€ 200-		€ 200-		€ 200-	
<b>Total Costs</b>	<b>€ 3,000-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 2,000-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 2,000-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 2,000-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 2,000-</b>	<b>€ 0</b>
Total Capital Costs	€ 2,300-									
Total Whole of Life Costs	<b>€ 11,000-</b>									
Present Value of Costs (mid-year)	€ 1,464-	€ 0	€ 1,593-	€ 0	€ 1,445-	€ 0	€ 1,311-	€ 0	€ 1,189-	€ 0
Present Value of Costs (start year)	€ 1,500-	€ 0	€ 181-	€ 0	€ 165-	€ 0	€ 149-	€ 0	€ 135-	€ 0
<b>Present Value of Costs (by year)</b>	<b>€ 2,964-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,775-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,610-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,460-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 1,324-</b>	<b>€ 0</b>
Present Value of Costs	<b>€ 9,133</b>									
Net Cash Flows	€ 2,130-	€ 700	€ 400	€ 700	€ 400	€ 700	€ 90-	€ 700	€ 400	€ 700
Net Present Value (by year)	€ 2,115-	€ 651	€ 350	€ 590	€ 317	€ 535	€ 69-	€ 485	€ 261	€ 440
Cumulative NPV	€ 2,115-	€ 1,464-	€ 1,115-	€ 524-	€ 207-	€ 328	€ 259	€ 744	€ 1,005	€ 1,446

### Cost Benefit Analysis Biomeiler Abcoude 150 m3

#### Option 2:

Thursday, September 15, 2016

#### Key Assumptions:

Discount Rate	5.00%
Appraisal period (years)	10 years

#### Summary of the Results of the Analysis:

Capital Costs	€ 4,000
Whole of Life Costs	€ 29,500
Present Value of Benefits	€ 64,214
Present Value of Costs	€ 23,997
Benefit Cost Ratio	2.68
Net Present Value	€ 40,217

Year	0 2015	1 2016	2 2017	3 2018	4 2019	5 2020	6 2021	7 2022	8 2023	9 2024
Discount factor (mid-year)	0.98	0.93	0.89	0.84	0.80	0.76	0.73	0.69	0.66	0.63
Discount factor (start of year)	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.78	0.75	0.71	0.68	0.64
Warmte (70 eur/maand)	€ 500	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000	€ 5,000
Compost (30 eur/m3)			€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500	€ 4,500
Verwerking humanure 65 eur/m3	€ 3,250		€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250	€ 3,250
Vervoer humanure	€ 500		€ 500	€ 500	€ 500	€ 500	€ 500	€ 500	€ 500	€ 500
<b>Total Benefits (mid-year)</b>	<b>€ 4,250</b>	<b>€ 5,000</b>	<b>€ 13,250</b>	<b>€ 5,000</b>	<b>€ 13,250</b>	<b>€ 5,000</b>	<b>€ 13,250</b>	<b>€ 5,000</b>	<b>€ 13,250</b>	<b>€ 5,000</b>
Present Value of Benefits (mid-yr)	€ 4,148	€ 4,647	€ 11,729	€ 4,215	€ 10,638	€ 3,823	€ 9,649	€ 3,468	€ 8,752	€ 3,145
Present Value of Benefits	<b>€ 64,214</b>									
Arbeid (opbouw)	€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-	
Inhuren kraan	€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-		€ 1,200-	
Houtsnippers	€ 1,500-		€ 1,500-		€ 1,500-		€ 1,500-		€ 1,500-	
Vervoer compost			€ 1,500-		€ 1,500-		€ 1,500-		€ 1,500-	
<b>Total Costs (mid-year)</b>	<b>€ 3,900-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,400-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,400-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,400-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,400-</b>	<b>€ 0</b>
Capital Costs (at start of year)	€ 2,000-		€ 500-		€ 500-		€ 500-		€ 500-	
<b>Total Costs</b>	<b>€ 5,900-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,900-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,900-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,900-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,900-</b>	<b>€ 0</b>
Total Capital Costs	€ 4,000-									
Total Whole of Life Costs	<b>€ 29,500-</b>									
Present Value of Costs (mid-year)	€ 3,806-	€ 0	€ 4,780-	€ 0	€ 4,336-	€ 0	€ 3,932-	€ 0	€ 3,567-	€ 0
Present Value of Costs (start year)	€ 2,000-	€ 0	€ 454-	€ 0	€ 411-	€ 0	€ 373-	€ 0	€ 338-	€ 0
<b>Present Value of Costs (by year)</b>	<b>€ 5,806-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 5,233-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 4,747-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 4,306-</b>	<b>€ 0</b>	<b>€ 3,905-</b>	<b>€ 0</b>
Present Value of Costs	<b>€ 23,997</b>									
Net Cash Flows	€ 1,650-	€ 5,000	€ 7,350	€ 5,000	€ 7,350	€ 5,000	€ 7,350	€ 5,000	€ 7,350	€ 5,000
Net Present Value (by year)	€ 1,658-	€ 4,647	€ 6,495	€ 4,215	€ 5,891	€ 3,823	€ 5,344	€ 3,468	€ 4,847	€ 3,145
Cumulative NPV	€ 1,658-	€ 2,989	€ 9,484	€ 13,699	€ 19,590	€ 23,413	€ 28,757	€ 32,225	€ 37,071	€ 40,217