

## **Pilotonderzoek thermofiele slibgisting op rwzi Bath: veelbelovende resultaten**

*Etteke Wypkema, Roger Vingerhoeds (Waterschap Brabantse Delta)*

*Joop Colsen, Davey Smet (Colsen)*

**Thermofiele slibgisting biedt in theorie uitzicht op energie-neutrale of energie-opwekkende rwzi's en maakt het terugwinnen van stikstof en fosfaat aantrekkelijk. Het concept wordt getest op rwzi Bath; eerst in een kleinschalige pilot, daarna full scale.**

Om het concept in de praktijk te testen wordt op rwzi Bath (Waterschap Brabantse Delta) één van de twee identieke slibgistingstanks omgebouwd voor een thermofiel proces. Voorafgaand aan dit full-scale onderzoek is een pilotonderzoek gedaan, dat in dit artikel wordt beschreven. In de pilot werd gefocust op de adaptatie van mesofiele bacteriën aan de thermofiele omstandigheden bij het omschakelen van het gistingproces. Bij het verhogen van de temperatuur van 35°C naar 52°C werd het gistingproces binnen 30 dagen opnieuw stabiel. Vanaf dit punt vertoonde de thermofiele pilotinstallatie een hogere biogasproductie, meer slibafbraak en een grotere vrijstelling van nutriënten. De extra vrijstelling van stikstof en fosfaat biedt goede kansen voor een andere ambitie: nutriënten herwinning.

### **Duurzaamheidsambities**

Hoewel het belangrijkste doel van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) het verminderen van schadelijke emissies naar waterlichamen is, wordt sinds kort meer aandacht besteed aan energie-efficiëntie, duurzaamheid en kostenbesparing. In dit kader hebben waterschappen zich gecommitteerd aan Meerjarenaafsprak 3 (MJA 3) en het klimaatakkoord en zijn veel waterschappen betrokken bij initiatieven als de energiefabriek, RWZI 2030 en NEWater. Doelstellingen hierbij zijn energiebesparing, vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en nutriëntenterugwinning. Slibgisting is het cruciale procesonderdeel als het gaat om energie-efficiëntie verbeteringen op zuiveringsinstallaties.

### **Thermofiele vergisting**

Bij het anaeroob vergisten van communaal zuiverings-slib wordt organische stof omgezet in biogas. Dit biogas, dat grotendeels bestaat uit methaan, kan door verbranding in biogasmotoren met warmtekracht-koppeling worden omgezet in elektrische energie en warmte. De opgewekte elektrische en thermische energie kan opnieuw worden ingezet op de rwzi's. Het is daarom niet verwonderlijk dat waterschappen interesse hebben in het optimaliseren van het slibgistingproces. Een interessante techniek in dit kader is thermofiele slibgisting.

Bij thermofiele slibgisting vinden de omzettingen plaats bij hogere temperaturen (52-55°C) dan bij mesofiele gisting (30-35°C) (figuur 1). Door de hogere temperaturen worden hogere omzettingssnelheden behaald, waardoor bij gelijke verblijftijden meer biogas wordt geproduceerd. Door de hogere organische- stof-omzetting blijft er minder slib over om verder te verwerken, waardoor ook bespaard wordt op de slibverwerkingskosten.

Eind jaren '80 waren de verwachtingen van thermofiele vergisting hooggespannen. De STOWA deed er in 1987-1989 onderzoek naar (project RWZI 2000). In dit onderzoek lag de focus op het vergisten van slib bij een hydraulische retentie van vijf dagen of minder. De resultaten hiervan waren negatief, waarna de aandacht voor (thermofiele) slibgisting op de achtergrond raakte.

Colsen bv werkt sinds 2005 met thermofiele vergisting met een verblijftijd van circa 20 dagen en behaalt bij vergisting van industriële reststromen een organische droge-stof-omzetting van 92 – 95 %.

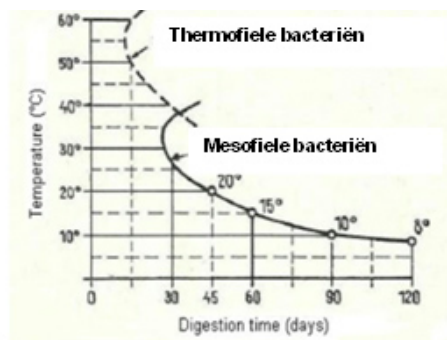
In de periode 2009-2010 volgde een jaar lang onderzoek naar de thermofiele slibgisting van uitsluitend secundair slib<sup>1</sup>). Uit dit onderzoek is vast komen te staan dat de organische stof in het secundaire slib van een zeer laag belast actiefslib systeem bij vergisting bij 52°C en 20 dagen verblijftijd voor 50% werd omgezet in biogas. Dit komt overeen met resultaten van thermische drukhydrolyse gevolgd door mesofiele vergisting. Door het lagere energieverbruik, de lagere investeringskosten en de eenvoudige bedrijfsvoering zijn zowel de operationele kosten als de kapitaalslasten van thermofiele slibgisting aanzienlijk beter. De technische, technologische en financiële haalbaarheid van thermofiele slibgisting in Nederland wordt ook door een deskstudie van STOWA onderbouwd<sup>2</sup>).

Bij de waterschappen is er momenteel behoefte aan een vergelijkend full-scale praktijkonderzoek. Waterschap Brabantse Delta (WBD) wil de slibgisting optimaliseren en extra energie produceren. De installatie van rwzi Bath leent zich uitstekend voor het uitvoeren van vergelijkend full-scale onderzoek naar thermofiele slibgisting vanwege de twee identieke slibgistingstanks<sup>3</sup>). Om thermofiele slibgisting in de praktijk op rwzi Bath te testen, wordt één van de twee bestaande slibgistingstanks, waarin momenteel mesofiel wordt vergist, omgebouwd voor een thermofiel proces. Eén van de aandachtspunten bij het wijzigen van het slibgistingproces is de adaptatie van de biomassa. Voorafgaand aan het full-scale praktijkonderzoek op rwzi Bath is daarom een pilotonderzoek op kleine schaal uitgevoerd door Colsen bv, in samenwerking met WBD. Deze pilot onderzocht onder andere de problematiek rondom het adapteren van het mesofiele slib aan thermofiele omstandigheden.

### Overgang van mesofiele naar thermofiele condities

Tijdens het slibgistingproces wordt zuiveringsslib in een zuurstofloze omgeving door een groot aantal soorten micro-organismen afgebroken en omgezet in biogas. Bij de slibgisting worden voornamelijk twee temperatuurgebieden onderscheiden: mesofiel en thermofiel. De temperatuurgebieden zijn optimaal voor mesofiele of thermofiele bacteriën, maar in het mesofiele slib bevinden zich ook enkele (obligaat) thermofiele bacteriën.

Wanneer de temperatuur van mesofiel gistingsslib wordt verhoogd naar thermofiele temperatuur, worden de condities gunstiger voor de (obligaat) thermofiele bacteriën. Deze bacteriën gaan meer activiteit vertonen en gaan zich reproduceren, waardoor de samenstelling van het slib wijzigt. De overgang van mesofiele naar thermofiele temperaturen kan door de lage groeisnelheden een lange acclimatiseringsperiode vereisen.



Figuur 1: Thermofiele en mesofiele temperatuurrage versus verblijftijd

In de literatuur worden twee strategieën beschreven voor het adapteren van mesofiel slib aan thermofiele temperaturen: verhoging van de temperatuur in één stap, of stapsgewijze temperatuursverhoging. Aan de Technische Universiteit Denemarken (DTU) is onderzocht welke strategie de beste is. Uit het Deense onderzoek wordt duidelijk, dat bij de één-stap-strategie sneller een steady-state wordt bereikt dan bij de stapsgewijze temperatuursverhoging (steady-state na resp. 30 en 70 dagen)<sup>4</sup>). De één-stap-strategie veroorzaakt wel grotere verstoringen in het proces dan de stapsgewijze temperatuursverhoging, zoals sterker stijgende concentratie vetzuren en een sterker dalende pH. Dat maakt een nauwkeurige monitoring noodzakelijk. Toch lijkt voor het ombouwen van een mesofiele in een thermofiele vergister de één-stap-strategie de interessantste.

### Pilotonderzoek rwzi Bath

Voor het pilotonderzoek op rwzi Bath werd een 60 liter vergister gebruikt (figuur 2). Deze bestaat uit een

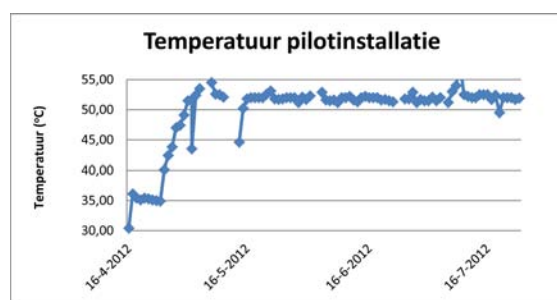


**Figuur 2: Opstelling pilotinstallatie op rwzi Bath**

geïsoleerde, roestvrijstalen tank voorzien van een top-entry menger. Het digestaat in de vergister wordt continue gemengd en de temperatuur wordt op peil gehouden met behulp van een elektrisch tracingsysteem rond de tank. Het geproduceerde biogas wordt opgevangen in een biogaskolom. In de kolom heerst een onderdruk doordat de kolom elke dag volledig wordt gevuld met aangezuurd water (pH 2), om te voorkomen dat het CO<sub>2</sub> uit het geproduceerde biogas in oplossing gaat. Aan de hand van de verplaatsing van het water in de biogaskolommen werd het geproduceerde biogasvolume afgelezen.

Voor het onderzoek werd de pilotvergister geïnculeerd met slib uit de full-scale mesofiele vergister.

Na een week bedrijfsvoering onder mesofiele condities, bij een temperatuur van  $34,7 \pm 1,7^\circ\text{C}$ , werd de temperatuur van de vergister in één stap verhoogd tot thermofiele condities. Daarbij is rekening gehouden met het opwarmen van de full-scale slibgistingstanks. Op rwzi Bath staan twee slibgistingstanks van 5.430 m<sup>3</sup>. Het is in de praktijk niet haalbaar om deze tanks binnen een dag van 35°C tot 52°C op te warmen. Voor het opwarmen van de pilotvergister is daarom een periode van zeven dagen genomen, waarbij de temperatuur van de reactor elke dag evenredig werd verhoogd (figuur 3).



**Figuur 3: Temperatuurverhoging pilotinstallatie**

Na het bereiken van thermofiele condities werd de temperatuur constant op 52°C gehouden ( $51,9 \pm 1,6^\circ\text{C}$ ). Twee maal trad een temperatuurdaling op door een stroomstoring op de rwzi (figuur 3). De temperatuur in de mesofiele installatie wordt gestuurd op 35°C.

De pilotvergister werd twee maal daags gevoed met een mengsel van ingedikt primair en ingedikt secundair slib (50 : 50 volume%). Dagelijks werden de pH, temperatuur, droge stof (DS), en chemisch zuurstofverbruik (CZV) bepaald van de beide slibstromen in de voeding en in het uitgegiste slib. Wekelijks werd van een verzamelmonster de organische droge stof (ODS) bepaald. De gemiddelde samenstelling van het primaire en secundaire slib is weergegeven in tabel 1.

**Tabel 1: Gemiddelde samenstelling primair en secundair slib rwzi Bath (periode 22-3 t/m 31-7-2012)**

	Primair slib (gemiddelde $\pm$ standaard deviatie)	Secundair slib (gemiddelde $\pm$ standaard deviatie)
pH (-)	$6,32 \pm 0,51$	$6,88 \pm 0,17$
Temperatuur ( $^\circ\text{C}$ )	$16,3 \pm 2,70$	$17,8 \pm 1,85$
COD (g/l)	$61,2 \pm 1,84$	$62,1 \pm 1,09$
DS (%)	$6,07 \pm 1,86$	$5,94 \pm 0,63$
ODS (%DS)	$68,4 \pm 5,60$	$71,1 \pm 3,61$

Gedurende het hele onderzoek werd de hydraulische verblijftijd in de pilotvergister op 20 dagen gehouden.. De gemiddelde organische stofbelasting in de pilotinstallatie bedroeg  $2,0 \pm 0,4$  kg ODS/m<sup>3</sup> reactor.dag<sup>-1</sup>. De wisselende belasting van de pilotinstallatie wordt veroorzaakt door een variërend droge stof gehalte van het ingebrachte primaire en secundaire slib.

De gemiddelde hydraulische verblijftijd in de full-scale installatie bedroeg  $22,4 \pm 10,5$  dag, met een gemiddelde organische stofbelasting van  $2,19 \pm 0,7$  kg ODS/m<sup>3</sup> reactor.dag<sup>-1</sup>. De wisselende belasting van de full-scale installatie wordt veroorzaakt door zowel een wisselende hoeveelheid voeding als door een variërend organischestofgehalte van het aangevoerde primaire en secundaire slib.

Opmerkelijk is dat de CZV/ODS verhouding in het primaire slib ( $1,45 \pm 0,25$ ) lager was dan in het secundaire slib ( $1,50 \pm 0,20$ ). Over het algemeen heeft primair slib juist een hogere CZV/ODS verhouding dan secundair slib. Waarschijnlijk heeft de lage verhouding CZV/ODS van het primaire slib te maken met de relatief lange verblijftijd in de afvalwaterpersleiding (AWP) die het primaire slib aanvoert naar rwzi Bath. Door deze lange verblijftijd kan een deel van de gemakkelijk afbreekbare CZV al worden omgezet voordat het slib de rwzi bereikt.

### **De dagelijkse metingen**

#### Vetzuren en alkaliniteit

Na het verhogen van de temperatuur steeg de concentratie vluchtige vetzuren in de pilotinstallatie van gemiddeld  $8,2 \pm 0,98$  meq/l tot maximaal 64 meq/l, waarbij de verhouding vetzuren/alkaliniteit steeg van  $0,08 \pm 0,01$  tot maximaal 0,46.

27 dagen na het bereiken van de thermofiele temperatuur was de concentratie vetzuren weer gedaald tot een stabiele waarde van  $30,3 \pm 5,2$  meq/l, waarbij de verhouding vetzuren/alkaliniteit was gedaald tot  $0,2 \pm 0,03$ . De concentratie vetzuren en de verhouding vetzuren/alkaliniteit in de pilotinstallatie is vanaf het bereiken van de thermofiele condities beduidend hoger dan in de full-scale mesofiele slibgisting ( $4,4 \pm 1,3$  meq/l vetzuren, bij een verhouding van  $0,06 \pm 0,02$ ). Ondanks de hogere concentraties vetzuren en hogere verhouding vetzuren/alkaliniteit, is er geen verzuring opgetreden in de thermofiele vergister.

#### pH

De pH komt in de thermofiele pilotvergister iets hoger uit dan in de full-scale mesofiele slibgisting (respectievelijk  $7,46 \pm 0,19$  en  $7,33 \pm 0,1$ ). De hogere ammoniumgehalten in de thermofiele vergister zijn mede bepalend voor de hogere pH.

Tijdens het onderzoek trad er geen schuimvorming op in de thermofiele vergister.

#### Droge- en organische stofafbraak

De (organische) drogestofafbraak is berekend aan de hand van de verschillende drogestof- en asrest-bepalingen op de voeding en op het uitgegiste slib.

In tabel 2 worden de gemiddelde drogestof-omzetting, organische drogestof-omzetting, specifieke biogasproducties en methaangehalte van het geproduceerde biogas weergegeven van de full-scale mesofiele vergister en van de thermofiele pilotvergister. Voor de thermofiele pilotinstallatie zijn alleen de resultaten uit de steady-state meegenomen en zijn de resultaten tijdens het adapteren na de temperatuursverhoging buiten beschouwing gelaten. Doordat de pilotinstallatie functioneerde met een gemiddeld kortere hydraulische verblijftijd en lagere ODS-belasting dan de full-scale installatie, zijn de gevonden verschillen (zoals weergegeven in tabel 2) mogelijk een onderschatting.

**Tabel 2: Gemiddelde omzettingen en specifieke biogasproductie van pilotinstallatie en full-scale installatie**

	Pilot installatie	Full-scale installatie
DS omzetting (%)	40,8	32,2
ODS omzetting (%)	51,5	41,6
Specifieke biogas productie (l/kg $\Delta$ ODS)	812	686
Methaangehalte (% CH <sub>4</sub> )	65,0	60,3

Deze waarden laten zien dat de afbraak van droge stof van de voeding (primair slib en secundair slib) in de thermofiele pilotvergister (40,8%) hoger is dan in de mesofiele full-scale slibgisting (32,2%). Dit is een toename met een factor 1,27.

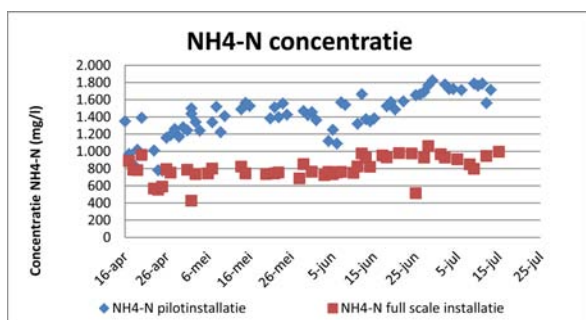
De afbraak van organische droge stof van de voeding neemt in de thermofiele vergister toe tot 51,5%, ten opzichte van 41,6% in de full-scale vergister. Dit is een toename met een factor 1,24.

Daarnaast is de biogasproductie in de thermofiele vergister met een factor 1,18 toegenomen ten opzichte van de full-scale vergister, tot 812 l/kg  $\Delta$ ODS. Ook het methaangehalte in het geproduceerde biogas in de thermofiele pilot is een factor 1,08 hoger dan in de full-scale installatie. De gevonden biogasproductie (812 liter per kg verwijderde ODS) is conform de theorie: bij een gemiddelde CZV/ODS

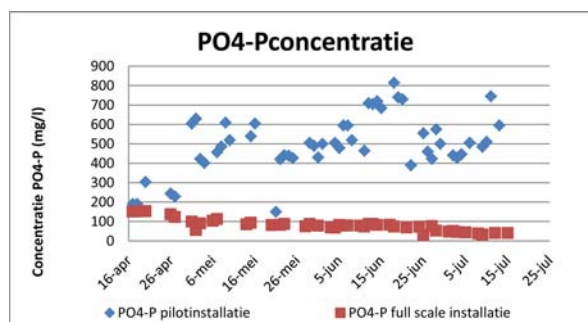
verhouding van 1,5 in de voeding, wordt per kg  $\Delta$ ODS 525 liter methaan gevormd. Bij een methaangehalte van 65% komt dit overeen met 807 liter biogas. De specifieke biogasproductie in de mesofiele vergister stemt niet overeen met de berekening. Mogelijk kan dit worden verklaard door de onnauwkeurigheid in de biogasflowmeting.

### Nutriënten vrijstelling

Tijdens het afbreken van organische stof in de slibgisting worden stikstof en fosfaat gemineraliseerd of vrijgesteld als  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{PO}_4^{3-}$ . De concentratie  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{PO}_4^{3-}$  in het slibwater is dus ook een maat voor (O)DS-afbraak. In de figuren 4 en 5 worden de concentraties  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{PO}_4\text{-P}$  na de thermofiele pilotinstallatie vergeleken met de concentraties na de full-scale mesofiele vergister.



**Figuur 4: Verloop  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentratie in pilot- (blauw) en full-scale vergister**



**Figuur 5: Verloop  $\text{PO}_4\text{-P}$  concentratie in pilot- (blauw) en full-scale vergister (rood)**

Na het verhogen van de temperatuur in de pilot vergistingsinstallatie wordt er gemiddeld  $1.494 \pm 256$  mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  vrijgesteld. In de full scale installatie is dit gemiddeld  $813 \pm 136$  mg/l. Ook wordt gemiddeld  $529 \pm 138$  mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  vrijgesteld in de thermofiele pilot, in de full-scale installatie is de gemiddelde vrijstelling  $76 \pm 33$  mg/l. De extra vrijstelling van  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{PO}_4\text{-P}$  in de pilot komt overeen met een factor van respectievelijk 1,84 en 7,0.

De extra vrijstelling van  $\text{NH}_4\text{-N}$  onder thermofiele condities komt qua ordegrrootte overeen met de additionele ODS-afbraak en biogasproductie in de thermofiele vergister. De extra  $\text{PO}_4\text{-P}$  vrijstelling in de thermofiele pilot is buitenproportioneel en valt deels te verklaren door het feit dat er in de full-scale installatie ijzorzouten worden gedoseerd in verband met  $\text{H}_2\text{S}$  in het biogas. Een deel van het gedoseerde ijzer bindt met fosfaat, wat daardoor niet wordt vrijgesteld.

### Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het pilotonderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- Het hanteren van de één-stap-strategie bij het verhogen van de temperatuur van  $35^\circ\text{C}$  tot  $52^\circ\text{C}$  heeft niet tot problemen geleid in de vergister (verzuring, schuimvorming). Het mesofiele slib lijkt zich 30 dagen na het verhogen van de temperatuur geadapteerd te hebben aan de hogere temperatuur, zodat weer een evenwicht ontstaat tussen de zuurvormende bacteriën en de methaanvormende bacteriën.
- Thermofiele slibgisting leidt tot een betere afbraak van (organische) droge stof dan mesofiele slibgisting. De gevonden ODS-gehalten en de hoeveelheid geproduceerd biogas komen overeen met

de theoretische berekening. De berekening voorspelt dat bij een hogere CZV/ODS verhouding (zoals gebruikelijk bij primair slib) de energieproductie nog verder zal toenemen.

- $\text{NH}_4\text{-N}$  vrijstelling komt overeen met de verhoogde ODS-afbraak. De  $\text{PO}_4\text{-P}$  vrijstelling viel erg hoog uit en is slechts ten dele te verklaren door dosering van ijzer in verband met  $\text{H}_2\text{S}$  verwijdering in het biogas. De vrijstelling van P moet worden geverifieerd.
- De pH in de thermofiele vergister is hoger dan die in de mesofiele vergister. Hierdoor is de kans op scaling in het slib en in de leidingen groter.
- De toename van de ammoniumconcentratie heeft niet geleid tot toxische effecten in de thermofiele slibgisting. In industriële thermofiele vergisters leveren  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentraties van 3.000 mg/l N geen problemen op.  
Vanwege de hoge concentraties  $\text{NH}_4\text{-N}$  wordt het terugwinnen van nutriënten via een deelstroombehandeling aantrekkelijk.
- De hoge concentraties  $\text{PO}_4\text{-P}$  in de thermofiele slibgisting maakt het terugwinnen van P via een deelstroombehandeling aantrekkelijk. In hoeverre scaling optreedt als gevolg van de hogere fosfaatgehalten is niet onderzocht.

De resultaten van het pilotonderzoek lijken perfect te passen binnen de ambities van Waterschap Brabantse Delta. Door de extra organischestofafbraak kan meer energie (elektriciteit en warmte) worden opgewekt. Op rwzi Bath staan momenteel twee WKK's opgesteld die voldoende capaciteit hebben voor het verwerken van het extra geproduceerde biogas, waardoor investeren in een nieuwe WKK-installatie niet noodzakelijk is. Dit maakt de business case een stuk aantrekkelijker. Ook zullen de slibverwerkingskosten aanzienlijk dalen doordat minder uitgegist slib overblijft.

De extra vrijstelling van nutriënten biedt kansen voor nutriëntenherwinning op de rwzi door deelstroombehandeling van het rejectiewater..

In het full-scale onderzoek, waarbij één van de twee bestaande slibgistingstanks zal worden omgebouwd voor een thermofiel proces, zullen de gevonden cijfers worden geverifieerd. Ook de ontwaterbaarheid van het thermofiel uitgegiste slib zal hierbij onderzocht worden. Begin 2013 gaat het full-scale onderzoek van start. Het project wordt in samenwerking met STOWA uitgevoerd.

#### Literatuur

- 1) Smet, D. (2010). Thermofiele slibgisting past perfect in duurzame slibverwerking. Neerslag 45 nr. 6, 13 – 17.
- 2) STOWA 2011-16 Handboek slibgisting.
- 3) Waterschap Brabantse Delta, 18 oktober 2011. Innovatieagenda zuiveringsbeheer. Evaluatie 2010, plan 2011-2012.
- 4) Bouskova, A., Dohanyosb, M., Schmidta, J. E., & Angelidaki, I. (2005). Strategies for changing temperature from mesophilic to thermophilic conditions in anaerobic CSTR reactors treating sewage sludge. Water Research 39, 1481–1488.