

## Vetzuurproductie op rwzi's

*Mathijs Oosterhuis, Jorien van Geest, Lenno van den Berg (Royal HaskoningDHV), Cora Uijterlinde (STOWA), Merle de Kreuk (TU Delft)*

**Door primair slib of zeefgoed op rwzi's gedeeltelijk om te zetten in vluchtige vetzuren kan de biologische fosfaat- en stikstofverwijdering worden verbeterd. Op basis van pilotonderzoek is een vetzuurproductie van 260-325 gram per kg organische stof vastgesteld. Met behulp van statische modellen is onderbouwd dat door dosering van de vetzuren aan de anaerobe tank in de actiefslibinstallatie het fosfaatgehalte in het effluent kan zakken tot circa 0,4 mg P/l. Voor stikstof geldt dat dosering van extra vetzuren kan bijdragen aan verhoogde stikstofverwijdering. Dit geldt vooral op rwzi's met slibvergisting. De vetzuren zijn eveneens in te zetten voor productie van bioplastics (PHA).**

Waterschappen staan voor de opgave om de oppervlaktewaterkwaliteit te verbeteren. Hoewel rwzi's al meer dan 85% van de stikstof en 87% van het fosfaat verwijderen [1] is een extra inspanning nodig om in 2027 te voldoen aan de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en in 2035 aan nieuwe Europese richtlijnen. In veel waterlichamen zijn de nutriëntengehaltes namelijk nog steeds te hoog.

De productie van vluchtige vetzuren uit zeefgoed of primair slib en dosering van deze vetzuren aan het actief slib kan een goede strategie zijn om op een duurzame manier de biologische stikstof- en fosfaatverwijdering op rwzi's te verbeteren en aan de toekomstige effluenteisen te voldoen [2]. In een pilotonderzoek heeft Royal HaskoningDHV samen met de TU Delft, STOWA en andere projectpartners onderzocht hoeveel vetzuren uit zeefgoed en primair slib geproduceerd kunnen worden. Het effect van de extra vetzuurproductie is geëvalueerd met actiefslibmodellen. Ook zijn de duurzaamheid en economische haalbaarheid voor verschillende praktijksituaties doorgerekend.

### **Pilotinstallatie en bemonstering**

De pilotinstallatie bestond uit twee tanks van 2 m<sup>3</sup> (afbeelding 1). In de eerste tank werd het zeefgoed of het primaire slib opgevangen. Met een drogestofconcentratie van 2-4% DS werd het verpompt naar de tweede tank, de vetzuurreactor (VFA-reactor). De vetzuurreactor was continu gemengd en afgedekt, zodat sprake was van anaerobe condities. De temperatuur werd op 20 tot 37 °C gehouden en de pH tussen 5 en 6 door dosering van natronloog. Een gasklok registreerde het debiet van het geproduceerde biogas tijdens de omzetting. De verblijftijd in de vetzuurreactor was 2 tot 7 dagen (gemiddeld 3 dagen).

De voeding en het effluent van de pilot werden dagelijks bemonsterd. De voeding en het effluent werden doorlopend geanalyseerd op (organische) droge stof (ODS), vetzuurconcentratie (als opgelost COD (sCOD) en periodiek (met gaschromatografie) op de nutriënten ammonium en fosfaat.



Afbeelding 1. Pilotopstelling voor verzuring van zeefgoed en primair slib

De pilot is ruim een jaar bedreven met drie verschillende substraten: zeefgoed uit influent, zeefgoed uit actief slib en primair slib. De pilot heeft op twee locaties gedraaid, op rwzi Aarle-Rixtel en rwzi Ommen (zie tabel 1).

Tabel 1. Overzicht substraat pilot en locatie

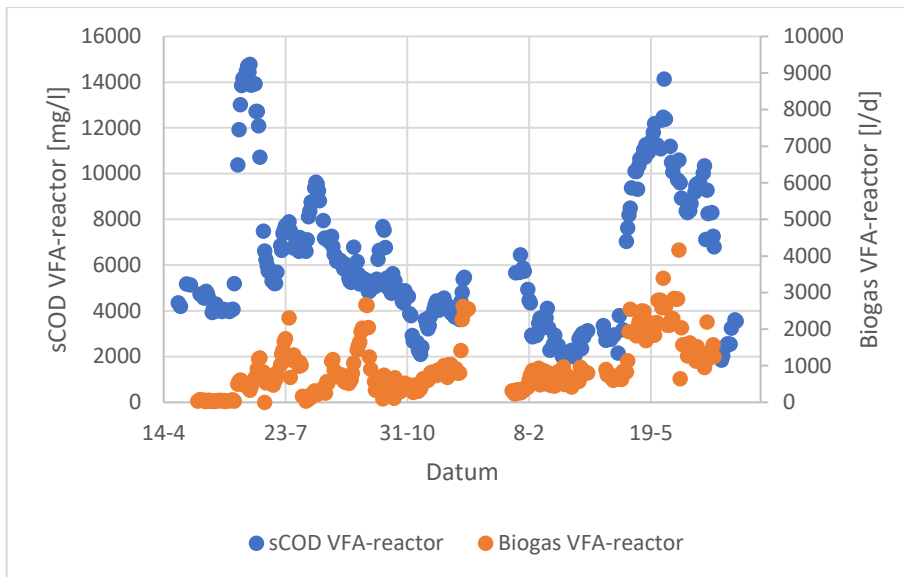
Periode	Wanneer	Substraat	Locatie pilot
1a en 1b	Mei-dec 2021	Zeefgoed uit influent	Rwzi Aarle-Rixtel
2	Jan-april 2022	Zeefgoed uit actief slib	Rwzi Ommen
3	Mei-Juli 2022	Primair slib*	Rwzi Ommen

\*primair slib van rwzi Oldenzaal werd wekelijks getransporteerd naar de pilot op rwzi Ommen

## Resultaten pilotonderzoek

### **Periode 1a: Optimalisatie procescondities op zeefgoed (mei-november 2021)**

In de eerste periode is gezocht naar optimale procescondities om een zo hoog mogelijke concentratie vetzuren te krijgen bij een zo laag mogelijke biogasproductie. Om dit te bereiken zijn in deze periode de procescondities veelvuldig aangepast. Hierdoor ontstond een grote variatie in sCOD- en biogasproductie (zie afbeelding 2).



Afbeelding 2. Verloop van sCOD-concentratie in de reactor en biogasproductie tijdens de verschillende testfases

Het sCOD-gehalte varieerde in deze periode tussen 2 en 15 g/l. Tot half juni 2021 werd de pH in de reactor niet geregeld. Dit leidde tot een sCOD-gehalte van 4 g/l, een pH van ongeveer 5 en nauwelijks biogasproductie. Vanaf eind juni is de pH verhoogd naar 6 door loogdosering, wat aanvankelijk leidde tot zeer hoge sCOD-gehaltenes (15 g/l). Er werd echter vrij snel ook biogas gevormd, waardoor het sCOD-gehalte daalde naar 8 g/l. In de periode juli-december is geprobeerd de biogasvorming te beperken door te sturen op een lage pH (5,0-5,5) en een korte verblijftijd (minimaal 2 dagen). Ook is de reactor twee keer gelegeerd, om ingegroeide methaanvormers kwijt te raken. De conclusie na fase 1 was dat met deze maatregelen de biogasvorming kon worden beperkt, maar dat dit ten koste ging van de sCOD-productie, die daalde tot < 4 g/l. Door de variatie aan instellingen varieerde de specifieke vetzuurproductie in periode 1a van 150 tot 550 g sCOD per kg ODS.

### **Periode 1b: stabiele bedrijfsvorming bij optimale procescondities op zeefgoed (december 2021)**

In periode 1b is ervoor gekozen om de sCOD-productie te optimaliseren, zonder gelijktijdig de biogasproductie actief te onderdrukken. In de praktijk kan het gevormde biogas namelijk goed gebruikt worden. Op locaties waar al een gisting aanwezig is kan het geïnjecteerd worden in het bestaande biogasnetwerk. Op locaties zonder gisting kan het biogas eventueel gebruikt worden in een boiler om de reactor te verwarmen.

Door te sturen op een pH van 5,5, een temperatuur van 30 °C en een verblijftijd van 3 dagen, steeg het sCOD-gehalte in deze periode naar ongeveer 6 g/l. Op basis van de resultaten van periode 1a en 1b samen was de specifieke vetzuurproductie bij deze procescondities ongeveer 260 g sCOD per kg ODS, in combinatie met een biogasproductie van zo'n 4.000 liter per dag. Er werd besloten om de biogasproductie niet langer te onderdrukken en met deze instellingen verder te testen in de volgende periodes.

**Periode 2: bedrijfsvoering op zeefgoed uit actief slib (januari-april 2022)**

In januari 2022 werd de pilot verplaatst naar rwzi Ommen. In de eerste periode is de pilot bedreven op zeefgoed uit actief slib [3], bij procescondities zoals vastgesteld in fase 1b. Zeefgoed uit actief slib gaf vrij lage sCOD-gehaltenes (2-3 g/l), wat mede veroorzaakt werd door een lager DS-gehalte van het zeefgoed in de voeding van de reactor (2% DS). De specifieke vetzuurproductie was 210 g sCOD/kg ODS.

**Periode 3: bedrijfsvoering op primair slib (mei-juli 2022)**

Van mei tot juli 2022 werd primair slib aangevoerd van rwzi Oldenzaal en gevoed aan de vetzuurpilot. De procescondities waren weer hetzelfde als vastgesteld in periode 1b. Primair slib verzuurde goed, met sCOD-gehaltenes tot 14 g/l, gemiddeld 10 g/l. De specifieke vetzuurproductie was 325 g sCOD per kg ODS.

**Vetzuursamenstelling**

De vetzuursamenstelling van diverse monsters is bepaald met behulp van gaschromatografie. Uit de analyse bleek dat 90 tot 100% van de sCOD bij een pH van 5,5 bestond uit vluchtige vetzuren. Bij pH 5,0 bleef de totale verzuringgraad steken op ongeveer 80%. Het vetzuurmengsel bij pH 5,0 en pH 5,5 bestond voor het grootste deel (80-90%) uit azijnzuur en propionzuur.

**Effect van extra vetzuren in de praktijk in twee casestudies**

De geproduceerde vetzuren uit zeefgoed of primair slib kunnen worden ingezet voor verbetering van de biologische stikstof- en fosfaatverwijdering op rwzi's. Het debiet van het effluent uit de pilot was te klein om het effect van extra vetzuren in de praktijk te testen. In dit project zijn daarom twee cases gemodelleerd met een statisch model (HSA/Scheer); rwzi Ede en rwzi Oldenzaal. De uitkomsten van het model voorspellen het effect van toepassing van de vetzuurtechnologie op N- en P-verwijdering. In de modellen is primair slib gebruikt als substraat, aangezien dit op veel rwzi's beschikbaar is en er met een voorbezinktank meer slib geproduceerd kan worden dan met een zeef op het influent of het actief slib.

**Rwzi Ede: vetzuren voor verbeterde N-verwijdering**

Op rwzi Ede (ontwerpcapaciteit: 272.000 ie<sub>150</sub>, BioDeniPho) wordt slib vergist en ontwaterd en komt circa 280 kg N/dag vrij bij de slibontwatering. Deze stikstofvracht moet opnieuw worden verwijderd door het actiefslibstelsel. Door 50% van het primair slib te behandelen in een verwarmde vetzuurreactor en de vloeistof terug te voeren naar de waterlijn, wordt naar verwachting ongeveer 20 mg/l biologisch zuurstofverbruik (BZV) toegevoegd aan het influent. De BZV/N-verhouding stijgt van 2,9 naar 3,2, wat gunstig is voor de denitrificatie.

Uit de modelberekeningen blijkt dat het jaargemiddelde N-gehalte van het effluent hierdoor kan dalen van 7,2 naar ongeveer 5,7 mg N/l. Met een vetzuurreactor kan een vergelijkbaar effect bereikt worden als met een Anammoxreactor in de deelstroom of dosering van een externe C-bron (zoals methanol) in de waterlijn. Voordelen van de vetzuurreactor ten opzichte van een Anammoxreactor zijn een stabielere bedrijfsvoering en een lagere N<sub>2</sub>O-emissie. Daarnaast geldt dat de extra slibgroei van fosfaat-accumulerende organismen door de toegevoegde vetzuren ook leidt tot een hogere P-verwijdering.

**Rwzi Oldenzaal: vetzuren voor verbeterde P-verwijdering**

Rwzi Oldenzaal (ontwerpcapaciteit: 66.000 i<sub>e150</sub>, Phoredox) heeft voorbezinktanks en geen slibvergisting. Het primaire slib wordt getransporteerd naar de energiefabriek in Hengelo. De rwzi is gebaseerd op biologische fosfaatverwijdering en krijgt in de toekomst te maken met zeer strenge fosfaateisen vanuit de Kaderrichtlijn Water (0,1 mg P/l). Het huidige jaargemiddelde fosfaatgehalte in het effluent is ongeveer 0,7 mg P/l. Door primair slib te verzuren en te doseren aan het influent, kan het vetzuurgehalte naar verwachting met ongeveer 20 mg BZV/l toenemen.

Uit de modelberekeningen volgt dat het P-gehalte hierdoor zakt tot circa 0,4 mg P/l. Ook het nitraatgehalte zal dalen van 3,5 mg NO<sub>3</sub>-N/l naar circa 2 mg NO<sub>3</sub>-N/l door de extra vetzuren die gedoseerd worden.

Gezien de strenge P-eis van 0,1 mg/l en een minimale P-concentratie van 0,4 mg/l na de nabezinktank is een nageschakeld filter onvermijdelijk. Toch is het zinvol om de biologische P-verwijdering in het actiefslibstelsysteem te optimaliseren met behulp van vetzuren. Hierdoor neemt de P-vracht via een bypass om het nageschakelde filter namelijk af. De bypass is nodig bij piekbelasting bij regen. Verder geldt dat een zo laag mogelijke toevoer van P naar het filter leidt tot een minimaal gebruik van ijzerchloride voor P-verwijdering in het filter. Vetzuren maken het op rwzi Oldenzaal dus mogelijk om een kleinere nabehandeling te plaatsen met een lager chemicaliënverbruik.

**Kanttekeningen bij de modellering van rwzi Oldenzaal**

Statische modellering van biologische fosfaatverwijdering met het Scheermodel is bij lage P-gehalten (< 0,5 mg P/l) niet heel betrouwbaar. De modelresultaten van rwzi Oldenzaal zijn dus vooral indicatief. Om toch een idee te krijgen van de effecten van extra vetzuren bij lage effluent-P-gehalten is ook gekeken naar praktijkreferenties. Verschillende rwzi's in Nederland en in het buitenland laten zien dat met biologische fosfaatverwijdering een jaargemiddeld P<sub>tot</sub>-gehalte van ≤ 0,4 mg/l in het effluent gehaald kan worden. In Nederland halen 35 rwzi's deze lage P-gehalten zonder metaalzoutdosering [1]. Zeer waarschijnlijk is de aanwezigheid van voldoende vetzuren in het influent bij deze rwzi's een van de redenen voor de goede fosfaatverwijdering. In Nederland wordt niet standaard gemeten op vetzuren in het influent van rwzi's, maar een goede indicatie voor voldoende vetzuren is de BZV/P-verhouding in het afvalwater. Van de 35 Nederlandse rwzi's met een P<sub>tot</sub> ≤ 0,4 mg P/l heeft 90% een BZV/P-verhouding > 28 [1].

Een BZV/P-verhouding < 25-30 in combinatie met een strenge effluent-P-eis (0,5 mg P/l) is dus een goede aanwijzing dat extra vetzuren bij kunnen dragen aan verbeterde biologische P-verwijdering.

Vooraf de fractie opgelost BZV draagt bij aan de biologische P-verwijdering [4].

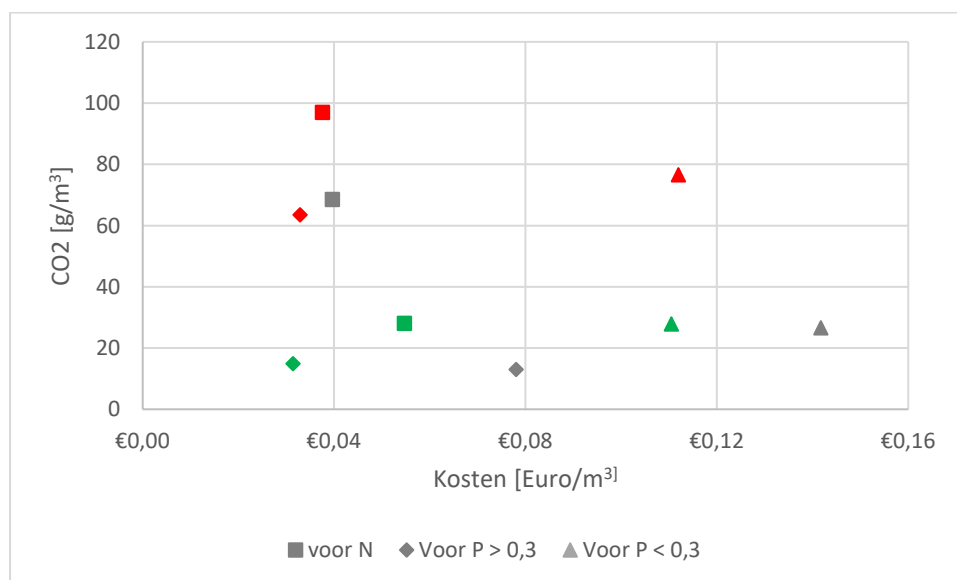
**Kosten en duurzaamheid van twee scenario's**

In het project zijn de kosten (euro/m<sup>3</sup> afvalwater) en duurzaamheid (CO<sub>2</sub>-emissie per m<sup>3</sup> afvalwater) van vetzuurtechnologie vergeleken met referentietechnieken (zie afbeelding 3). De CO<sub>2</sub>-emissie is afgeleid van CO<sub>2</sub>-emissiekengetallen voor energie en chemicaliën die zijn gebruikt in het innovatieprogramma microverontreinigingen (IPMV) van STOWA. Ook is de lachgasemissie meegenomen en omgerekend naar een CO<sub>2</sub>-emissie. Hierbij is ervan uitgegaan dat in een Anammoxreactor en in een actief slibstelsysteem respectievelijk 2% en 0,5% van de stikstof wordt omgezet naar lachgas. De volgende scenario's zijn opgesteld:

- vetzuurproductie voor N-verwijdering op rwzi's met gecentraliseerde slibvergisting en ontwatering. De referentietechnieken zijn: dosering van methanol en Anammoxbehandeling van het rejectiewater.
- vetzuurproductie voor P-verwijdering op bioP-rwzi's zonder slibvergisting. De referentietechnieken zijn: een nageschakeld doekfilter (DF) met metaalzoutdosering of dosering van extern ingekocht azijnzuur. De vergelijking is gemaakt voor een strenge fosfaateis, < 0,3 mg P/l, en voor een iets soepelere eis, > 0,3 mg P/l.

Uit de kosten- en CO<sub>2</sub>-berekeningen komt het volgende naar voren:

- de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van vetzuurtechnologie voor N-verwijdering (☒, afbeelding 3) is 2 tot 3 keer lager dan die van de referentietechnieken Anammox (van het rejectiewater) en methanoldosering. De toepassing van vetzuurtechnologie is iets duurder dan een Anammoxreactor.
- de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van vetzuurtechnologie voor P-verwijdering tot een eis > 0,3 mg P/l (◆, afbeelding 3) is 4 keer lager dan de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van ingekocht azijnzuur. De technieken zijn ongeveer even duur. De effluenteis kan ook gehaald worden met een nageschakeld doekfilter dat 1,6 keer het debiet bij droogweerafvoer (DWA-debiet) behandelt. Dit doekfilter is echter meer dan twee keer zo duur als een vetzuurreactor.
- voor zeer strenge P-eisen < 0,3 mg P/l (▲, afbeelding 3) kan niet volstaan worden met alleen een vetzuurreactor. Een effluentnabehandeling is dan vereist. Een combinatie van een vetzuurreactor met een kleine nabehandeling (ontwerpcapaciteit van 1,6 keer DWA) is goedkoper dan een grote nabehandeling (ontwerpcapaciteit van 3,5 keer DWA) die dezelfde effluentkwaliteit haalt.



Afbeelding 3. CO<sub>2</sub>-voetafdruk en kosten van de vetzuurtechnologie in vergelijking met referentietechnieken. ☒: scenario's voor N-verwijdering, rood: methanoldosering, grijs: Anammox, groen: VFA-reactor. ◆: scenario's voor P-verwijdering > 0,3 mg/l, rood: azijnzuurdosering, groen: VFA-reactor, grijs: nageschakeld doekfilter 1,6 x DWA. ▲: scenario's voor P-verwijdering < 0,3 mg/l, Rood: azijnzuurdosering plus doekfilter 1,6 x DWA, groen: VFA-reactor plus doekfilter 1,6 x DWA, grijs: doekfilter 3,5 x DWA

### **PHA-productie**

Vetzuren kunnen ook worden benut voor de productie van polyhydroxyalkanoaat (PHA, een grondstof voor de productie van bioplastics, [5]). Een PHA-accumulatiereactor moet gevoed worden met een relatief schone vetzuurstroom met lage zwevendestofgehaltenes en een hoge VFA/N- en VFA/P-verhouding. Een goede scheiding van vetzuren en het restslib is daarom van belang. Uit de metingen aan de pilot bleek dat het geproduceerde vetzuurmengsel bij verzuring van zeefgoed ruimschoots voldeed aan de criteria voor minimale VFA/N- en VFA/P-verhoudingen. Verzuurd primair slib bevatte meer nutriënten dan zeefgoed en had nog te lage VFA/N- en VFA/P-verhoudingen. Tot slot is het aan te raden om de vetzuren dicht bij de locatie te produceren waar PHA wordt geproduceerd, om transportkosten te beperken.

### **Conclusies**

Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- primair slib en zeefgoed uit influent zijn geschikte bronnen voor vetzuurproductie.
- gezeefd actief slib is een minder geschikte bron voor vetzuurproductie; de vetzuurproductie is lager in vergelijking met primair slib en zeefgoed uit influent.
- bij een verblijftijd van 3 dagen, temperatuur van 30 °C en pH 5,5 kan 260-325 mg sCOD per gram ODS aan vetzuren worden geproduceerd.
- de vetzuren kunnen benut worden voor verbetering van de N- en P-verwijdering op rwzi's. Verbetering van de N-verwijdering is het meest kansrijk op rwzi's met slibvergisting en een limiterende BZV/N-verhouding. Verbetering van de fosfaatverwijdering is kansrijk op rwzi's met een voorbezinktank maar zonder slibvergisting.
- als de vetzuurreactor voor verzuring van primair slib wordt vergeleken met referentietechnieken, dan blijkt dat benutting van vetzuren duurzamer is dan Anammox of dosering van een externe C-bron en goedkoper dan een nabehandeling voor vergaande P-verwijdering.
- de geproduceerde vetzuren kunnen tevens worden benut voor PHA-productie als er een geschikte scheidingsstap wordt gebruikt voor de afscheiding van zwevende stof.

### **Aanbeveling**

Het wordt aanbevolen om vetzuurtechnologie nader te verkennen voor rwzi's die voldoen aan de volgende criteria:

- stikstof- en/of fosfaatverwijdering moeten verbeterd worden:
- het influent heeft een BZV/N-verhouding < 3 en/of een BZV/P-verhouding < 25-30

### **Dankwoord**

Dit pilotonderzoek is uitgevoerd met subsidie vanuit de Topsector Energie van het ministerie van Economische zaken en Klimaat. Met dank aan de projectpartners: STOWA, TU Delft, Waterschap Aa en Maas, Waterschap Vechtstromen, Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschapsbedrijf Limburg en Aquaminerals.

*Een uitgebreide beschrijving van dit onderzoek is te lezen in het STOWA-rapport [6].*

## Referenties

1. Waves Databank (2021). *Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer*. [www.wavesdatabank.nl](http://www.wavesdatabank.nl)
2. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2001). *Handboek biologische fosfaatverwijdering*. STOWA 2001-15.
3. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2020). *Actiever actief slib. Onderzoek met zeefbocht op rwzi Ommen*. STOWA 2020-33.
4. Roeleveld, P.J., Loosdrecht, M.C.M. van (2002). 'Experience with guidelines for wastewater characterisation in The Netherlands', *Water Science and Technology* Vol 45 No 6 pp 77–87.
5. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (2017). *PHARIO. Steppingstone to a value chain for PHA bioplastic using municipal activated sludge*. STOWA 2017-15
6. Stichting Toegepast Waterbeheer (2023). *Vetzuurproductie op rwzi's*. STOWA 2023-34. <https://www.stowa.nl/publicaties/vetzuurproductie-op-rwzis#:~:text=Dit%20rapport%20bevat%20de%20resultaten,de%20biologische%20stikstof%20en%20fosfaatverwijdering>.