

De Duurzame Afvalwaterketen: Van Afval Naar Product

Harry Futselaar

Lector International Water Technology

Pentair Water Process Technology B.V

Lars Koens

Academie Lifescience, Engineering & Design

Geo Smith

Pentair Water Process Technology B.V

Anthony Verschoor

Ingrepro B.V

Probleemstelling

Nederlandse waterschappen streven naar een efficiëntere rioolwaterzuivering: betere effluentkwaliteit met mogelijkheden tot (direct) waterhergebruik, en terugwinning van energie en grondstoffen. Deze ontwikkeling wordt enerzijds ingegeven door de wens tot verduurzaming van de afvalwaterketen, en anderzijds door steeds stringenter eisen die aan de kwaliteit van het te lozen effluent gesteld worden. Hoewel verbeteringen aan het huidige systeem nog steeds mogelijk zijn (bijv. naschakeling van nog een zuiveringstechniek voor de verwijdering van hormonale en medicinale microverontreinigingen), leiden deze aanpassingen tot steeds complexere systemen, waarbij het streven tot verduurzaming niet bereikt wordt. Het huidige concept moet volledig worden herontworpen, waarbij integraal gekeken moet worden naar:

- de omzetting van organische componenten in biogas;
- de techno-economische terugwinning van stikstof en fosfaat;
- de verwijdering van (zware) metalen en microverontreinigingen;
- de productie van water-op-maat, zodat lokaal hergebruik mogelijk wordt.

Voor een aantal stappen bestaan al commercieel bewezen technologieën (zoals anaerobe vergisting voor reductie organische vervuiling, autotrofe stikstofverwijdering en struvietvorming voor fosfaatreductie), welke veelal slechts op industriële schaal toegepast zijn waar de afvalstromen geconcentreerder en kleiner in volume zijn. Voor de meer verdunde, grote huishoudelijke afvalwaterstromen zijn deze technologieën niet in de huidige vorm toepasbaar, zodat aanvullend onderzoek noodzakelijk is op gebieden als:

- de gebruikte anaerobe technologie levert water van een te slechte kwaliteit, waarbij de stabiliteit van het proces onvoldoende is voor de behandeling van complex rioolwater;
- de concentraties van stikstof en fosfaat voldoen niet aan de nieuwe eisen;

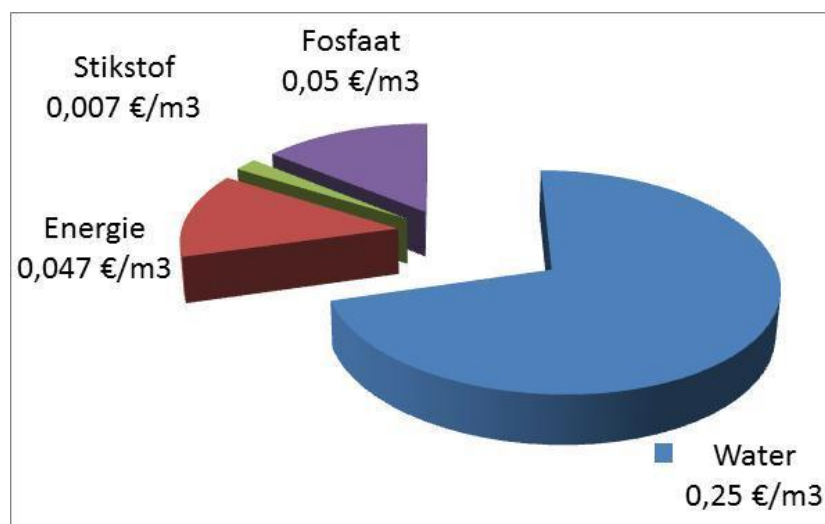
- de microverontreinigingen worden niet of onvoldoende verwijderd.

Het onderzoek binnen Saxion-lectoraat International Water Technology richt zich op:

1. de anaerobe membraanbioreactor:
2. de algenreactor.

Onderzoeksaanpak

De verschillende componenten in afvalwater hebben een economische waarde, waarvan de ordegrootte in figuur 1 wordt aangegeven [1]. Hoewel veel onderzocht gericht is op het terugwinnen van fosfaat en de organische energie-inhoud (via biogas) heeft water –indien beschikbaar in de juiste kwaliteit en dicht genoeg bij een toepassingsbron- (nog) steeds de grootste waarde. Bij het ontwikkelen van nieuwe waterzuiveringstechnologie is het belangrijk dat deze technologie op de juiste plaats toegepast kan worden, zodat geen economische waarde verloren gaat door (onnodig) grote transportafstanden. In beide onderzoeksprojecten is herbruikbaar water een van de waardecomponenten naast biogas en algen.



Figuur 1: Economische waarde van de componenten in afvalwater [1].

Anaerobe Membraan Bioreactor

Wereldwijd is een grote vraag naar kosteneffectieve rioolwaterzuivering en hergebruik van effluent. Anaerobe biologische waterzuivering heeft een enorme potentie om in de marktvraag te voorzien: het kost veel minder energie en levert bovendien biogas op. De huidige beschikbare anaerobe zuiveringstechnologie kent echter diverse knelpunten:

- de kwaliteit van anaeroob gezuiverd water is vaak slechter dan bij een aeroob systeem;

- slibretentie en stabiliteit van anaerobe slibkorrels zijn problematisch;
- bij lage temperaturen ($< 15^{\circ}\text{C}$) is de behandeling van complex afvalwater zoals rioolwater niet, dan wel zeer beperkt, mogelijk.
- er is geen biologische stikstofverwijdering (denitrificatie).

Binnen anaerobe zuiveringen is de anaerobe membraan bioreactor (AnMBR) een veelbelovende zuiveringstechnologie. Voor industrieel afvalwater heeft deze technologie zich bewezen [2], maar is niet geschikt voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater tot herbruikbare kwaliteit vanwege de te hoge kosten (investeringen en energieverbruik) en de te hoge slijtagebelasting van de anaerobe biologie. Het onderzoeksproject beoogt een AnMBR voor municipaal afvalwater te ontwikkelen, waarin bovenstaande knelpunten worden ondervangen, zodat:

- het effluent nuttig kan worden ingezet als irrigatie water;
- de energie-inhoud vergaand wordt teruggewonnen;
- autotrofe stikstof verwijdering met een nageschakelde (state-of-the-art) techniek mogelijk wordt.

Hiervoor is een radicaal ander MBR ontwerp vereist. Het idee is om het membraansysteem te baseren op drinkwater technologie membranen welke reeds in grote getale commercieel verkrijgbaar zijn waarbij essentieel wordt de beheersing van de droge stof belasting van de membranen (bij vaste stof concentraties $< 1 \text{ g/l}$ en een brede deeltjesgrootte verdeling).

Het onderzoek richt zich op de ontwikkeling van een nieuw reactortype (figuur 2) dat enerzijds mildere condities voor de biologie realiseert en anderzijds de toepassing van een goedkoper membraansysteem mogelijk maakt, zodat de investeringskosten verlaagd en de kwaliteit van het effluent verbeterd wordt.



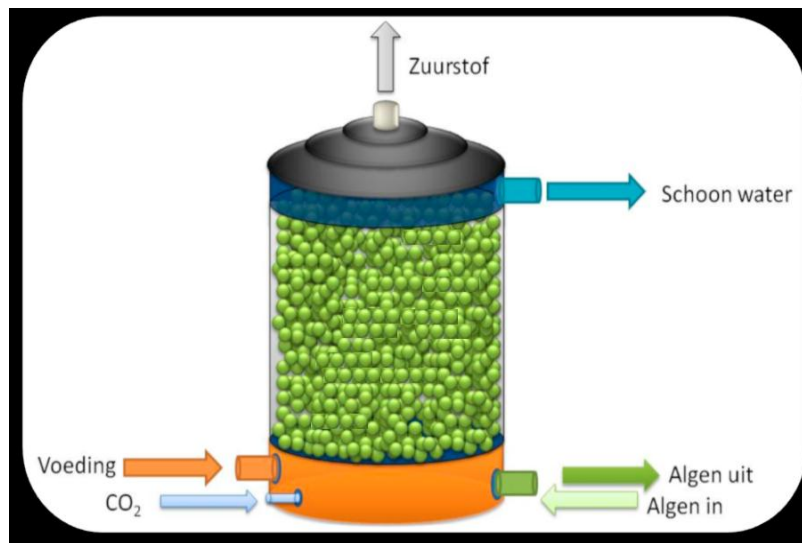
Figuur 2: Proefopstelling anaerobe membraan bioreactor.

Algenreactor

Buitensporige algengroei in oppervlaktewater is in het algemeen ongewenst en duidt op een te hoge stikstof- en fosfaatbelasting. Hoewel de rioolwaterzuiveringen voldoen aan de huidige lozingseisen zullen deze in de nabije toekomst aangescherpt worden, zodat aanvullende verwijdering noodzakelijk is. Door deze algenkweek te koppelen als zuiveringsstap aan een afvalwaterzuivering worden de stikstof- en fosfaatbelasting verder verlaagd, waarbij algen als product ontstaan. Uitdaging is een systeem te ontwikkelen waarbij de algen zowel op compacte, continue wijze gekweekt als goedkoop geoogst kunnen worden.

Een voorbeeld van een compact systeem is de Algen BioReactor (ABR), zoals die ontwikkeld is door Ingrepro [3]. In tegenstelling tot algenvijvers, waar algen vrij in het water bewegen, zijn de algen in een ABR geïmmobiliseerd in bolletjes. De bolletjes zijn gemaakt van een polymeer op basis van natuurlijke grondstoffen. Voedingsstoffen zoals stikstoffen, fosfaat en koolstofdioxide stromen om het bolletje heen. De algen in het bolletje nemen de nutriënten op, waarbij de voedingsstoffen in het bolletje diffunderen. De met algen verzadigde bolletjes zullen uit de reactor verwijderd worden en wordt vervolgens gevuld met een nieuwe batch bolletjes. Voordeel ten opzichte van de algenvijver is dat de bolletjes na verzadiging gemakkelijk geoogst kunnen worden, waardoor een hoge mate van automatisering te bereiken. Bovendien zijn procesomstandigheden in een ABR beter te controleren, waardoor de groeiomstandigheden van de algenbolletjes goed geoptimaliseerd kunnen worden. Figuur 3 geeft een schematische weergave van de ABR.

Het onderzoek richt zich op de stabiliteit van het dragermateriaal, waarin de algen geïmmobiliseerd zijn zodat geautomatiseerde procesvoering mogelijk wordt.



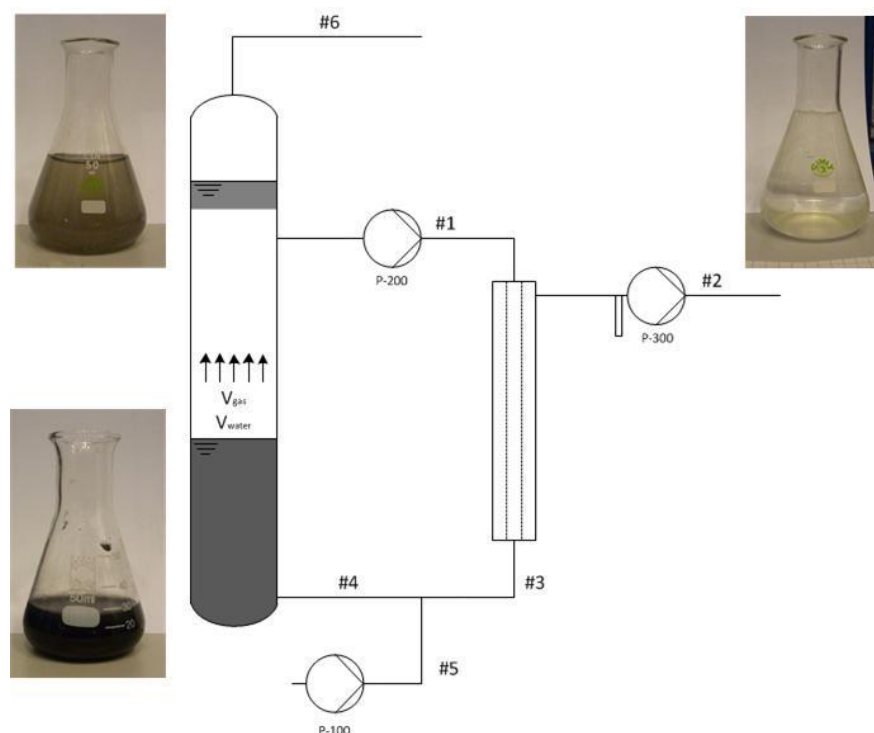
Figuur 3: Schematische weergave Algen BioReactor (ABR) [2].

Voor het succesvol kunnen functioneren van een lectoraat is een goede inbedding in de interne organisatie en een sterke relatie met één of twee opleidingen noodzakelijk met zekere infrastructurele voorwaarden. De vraag is dan ook hoe de door externe relevantie bepaalde aandachtsgebieden, in zowel de bachelor als master opleidingen, een plek krijgen en hoe ook het praktijkveld bij opleiding en onderzoek kan worden betrokken.

Resultaten

Anaerobe Membraan Bioreactor

In een proefopstelling is aangetoond dat het nieuwe reactortype stabiel kan draaien op synthetisch huishoudelijk afvalwater. De foto's in figuur 4 tonen een impressie van de troebelheid van de vloeistof op verschillende plaatsen in het systeem.



Figuur 4: Anaerobe MBR: overzicht van de verschillende vloeistof troebelheden.

Door het juist instellen van de procescondities in de reactor wordt onderin een zekere mate van bezinking gerealiseerd, terwijl bovenin de reactorinhoud ontmengt. Het supernatant van de reactor wordt als voeding (stroom #1) toegevoerd aan het membraansysteem, waarbij de permeaatstroom (#2) helder. Alle vaste stof deeltjes (inclusief bacteriën en virussen) zijn verwijderd, hetgeen een goede basis vormt voor waterhergebruik.

Algenreactor

Verschillende soorten dragermateriaal zijn onderzocht, waarbij met de beste kandidaten vervolgonderzoek uitgevoerd is naar het lange termijn gedrag en de regenererebaarheid. Over de samenstelling van de bolletjes kan gezegd worden dat deze zijn gemaakt van natuurlijke materialen, zodat geen extra vervuiling aan het systeem toegevoegd wordt. Figuur 4 geeft een tijdsoverzicht van typische resultaten, waarbij naast de samenstelling van het bolletje ook het type voeding gevarieerd is.

Tijdens deze experimentencyclus was, bijvoorbeeld, waarneembaar dat het aantal bolletjes in tact bleef, maar dat de stabiliteit in de tijd afnam (in de figuren zichtbaar door een afname van de bedhoogte), hetgeen het oogsten van de bolletjes zal bemoeilijken.



Figuur 5: Proefopstelling ABR: ontwikkeling van de bedhoogte in de tijd bij een bepaald type voeding.

Conclusies

In kader van de verduurzaming van de afvalwaterketen is het mogelijk om:

- Huishoudelijke afvalwater te behandelen met een nieuw type anaerobe membraanbioreactor, waarbij zowel de biogasopbrengst hoger en de effluent beter zijn dan de conventionele systemen;
- Algen te gebruiken voor vergaande verwijdering van stikstof en fosfaat, waarbij nog onderzocht moet worden of het algenproduct gebruikt kan worden als basis voor biobrandstoffen, voedingssupplementen, en bio-based grondstoffen, zoals plastics, chemicaliën en farmaceutische producten.

Dankwoord

Dit onderzoek wordt deels ondersteund door het InnoWATOR subsidieprogramma van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie. Verder hebben een groot aantal studenten in het kader van hun onderzoeksgroep een bijdrage geleverd aan de beschreven onderzoeken: (anaerobie) Sandra Fankhauser, Abubakar Hassan, Cheral Theussing, Remco Ongena, Karin Nieuwenhuizen, Andre Perdun, Els Tempelman, Mirjam van der Spek, Liz Mensink en Maik van der Meer; (algen) Menno Ypma, Mathijs Hofstee, Wan Liang en Ellen Vellinga.

Referenties

W. Verstraete (Universiteit Gent), Exit conventioneel actief slib?, in: *Proceedings van de 62^e Vakantiecursus*, 15 januari 20120, TU Delft.

Futselaar, H., Rosink R., Smith, G., Koens, L., (2012). *The anaerobic MBR for sustainable industrial wastewater management*, geaccepteerd voor publicatie in *Desalination & Water Treatment*, juni 2012.

website Ingrepro, http://www.ingrepro.nl/renewables_algenbioreactor/?lang=NL.