



Tony Flaming, Tauw
Joost van den Bulk, Tauw

Nieuwe routes naar afvalwaterzuivering?

Innovatieve systemen om afvalwater te zuiveren staan sterk in de belangstelling, omdat ze voordelen kunnen bieden boven de gangbare technieken. Anamnoxsystemen in combinatie met actief-slib en slibgisting worden al enkele jaren succesvol toegepast. Nieuw is de toepassing van microbiële brandstofcellen ofwel bio-elektrochemische systemen voor afvalwaterzuivering op kleine industriële schaal. In dit artikel maken we een vergelijking en gaan we in op het toekomstperspectief.

In een conventionele afvalwaterzuivering vindt verwijdering van organische stof en stikstof veelal plaats in een actief-slibstelsel. Het nadeel van deze methode is dat veel beluchting nodig is, wat resulteert in een hoog energieverbruik. Ondanks dat relatief hoge energieverbruik is het conventionele actief-slibproces een robuuste en kosteneffectieve methode om huishoudelijk afvalwater te zuiveren. De behandeling van warm stikstofrijk rejectiewater uit de gisting via de partiële nitrificatie en de Anammox-omzetting heeft de zuurstofvraag verlaagd en het zuiveringsproces op rwzi's met veel stikstof in de aanvoer energetisch verbeterd. Een tweede optimalisatie is dat voor deze omzetting geen externe koolstofbron nodig is. In een one-step Anammox-reactor vindt partiële nitrificatie en anaerobe ammoniumoxidatie gelijktijdig plaats in een continu doorstroomde reactor met korrelslib. In een

Demon-installatie vindt de omzetting ook in één reactor plaats, maar dan met vlokkig slib en als batchproces.

Minder bekend maar mogelijk net zo efficiënt is de Oland-reactor¹⁾ (Oxygen Limited Autotrophic Nitrification Denitrification). In een Oland-reactor vindt de omzetting plaats, met vlokkig-slib of slib-opdrager, als batch- of continu-proces. Deze technologie is vrij van patent en op beperkte praktijkschaal toegepast. De ontwikkeling van bio-elektrochemische systemen (BES), die in staat zijn om koolstof en stikstof om te zetten in elektriciteit en andere waardevolle componenten, opent weer geheel nieuwe mogelijkheden om het afvalwaterzuiveringsproces verder te optimaliseren.

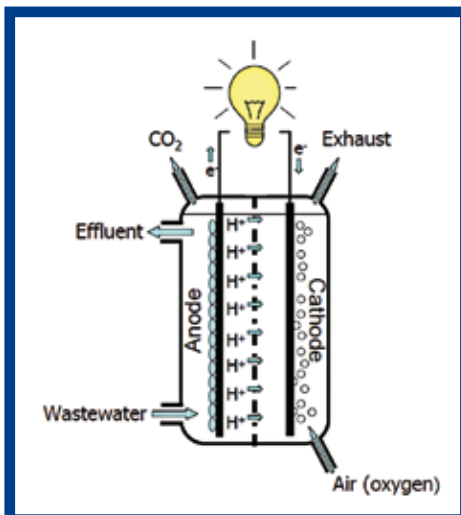
Bio-elektrochemische systemen

Bio-elektrochemische systemen zijn onder te verdelen in microbiële brandstofcellen (MFCs) en de microbiële elektrolyscellen

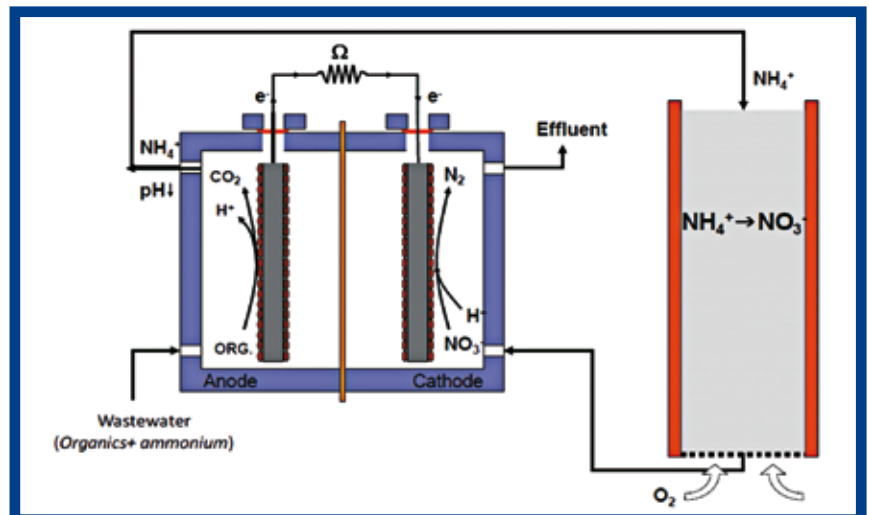
(MECs). Met een MFC is het mogelijk om elektriciteit uit afvalwater te produceren (zie afbeelding 1). In een MFC breken bacteriën koolstof en andere componenten in het afvalwater af en produceren daarbij elektriciteit.

Naast bovengenoemde systemen voor verwerking van sterk vervuilde organische afvalwaterstromen worden verschillende routes onderzocht om BES in te zetten voor stikstofverwijdering. Zo is onder andere onderzoek naar NH_4 -oxidatie verricht³⁾. Na een lange opstarttijd is stroomopwekking gemeten. Er is echter niet aangetoond dat de geproduceerde elektriciteit gerelateerd is aan de oxidatie van ammonium. De elektriciteit zou bijvoorbeeld ook geproduceerd kunnen worden doordat een organisch product wordt gevormd. Bovendien is de efficiency van het systeem laag, waardoor slechts een beperkte hoeveelheid elektriciteit geproduceerd wordt.

Afb. 1: Basisschema microbiële brandstofcellen²⁾.



Afb. 2: Schematische opzet van MFC voor stikstofverwijdering³⁾.



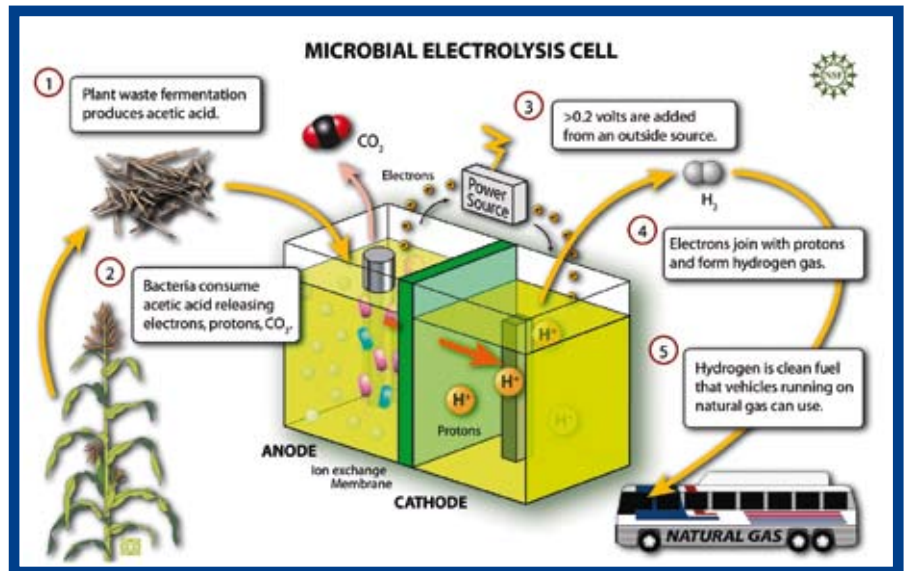
De mogelijkheid tot directe ammonium-oxidatie in een MFC is waarschijnlijk wel aanwezig, maar het bewijs is nog niet geleverd. In een ander onderzoek is aangetoond dat met behulp van een MFC de oxidatie van organische stof gecombineerd kan worden met de reductie van nitraat^{4),5)}. De oxidatie van de organische stof levert in dat geval elektriciteit op. Het nitrificatieproces, waarin ammonium geoxideerd wordt tot nitraat, vindt buiten de MFC in een beluchte biofilmreactor plaats. Het nitrificatieproces en de oxidatie van de organische stof in de MFC worden dus gescheiden (zie afbeelding 2). Het geproduceerde nitraat wordt de MFC ingeleid waar het afgebroken wordt. De reductie van nitraat in de MFC komt in de buurt van het theoretische minimum van 2,87 g CZV/g NO₃-N. De voordelen van dit systeem zijn evident: door de ontkoppeling van de ammoniumoxidatie en de organische stofoxidatie wordt de organische stof benut als brandstof in de MFC met nitraat als oxidator. Eén van de praktische problemen is echter nog de diffusie van ammonium van de anode- naar de kathodekant, waardoor ammonium in het effluent komt. Tevens is de alkaliteit en het zoutgehalte van afvalwater te laag voor een efficiënt proces.

Betere kansen lijken er te liggen voor microbiële elektrolysecellen. Door toevoeging van een lage elektrische spanning van een externe bron zijn de bacteriën in dit systeem in staat om bijvoorbeeld waterstof uit afvalwater te produceren. In tegenstelling tot MFC wordt bij een MEC geen zuurstof of nitraat toegevoegd. Buiten de productie van waterstof is het bijvoorbeeld mogelijk om glycerol (afvalproduct van de biodieselindustrie) om te zetten naar 1,3-propanediol, wat een waardevol product is. Ook is het mogelijk om ethanol te produceren uit acetaat en waterstofperoxide en/of natronloog te produceren uit afvalwater^{2),6)}. Op het laboratorium van de Wageningen Universiteit / Wetsus en Penn State University waren onderzoekers al in 2005 in staat om meer energie te genereren aan waterstof dan dat het kost om de microbiële elektrolysecel te laten draaien.

In 2007 en 2008 draaide op het terrein van de Foster's bierbrouwerij in Yatala, Queensland (Australië) een pilot MFC-opstelling met een reactorvolume van één kubieke meter (zie foto). De MFC was in staat om elektriciteit te produceren. In 2009 is deze opgevolgd door een tweede generatie MEC die in staat is om natronloog te produceren. Ook vorig jaar is bij de Napa Wine Company in Oakville (USA) de eerste pilotversie van een MEC in gebruik genomen die waterstof kan produceren uit afvalwater (zie afbeelding 3). Deze MEC, die de grootte heeft van een koelkast, produceert waterstof door slechts een kleine hoeveelheid elektriciteit toe te voegen. In het systeem kan 1000 liter water per dag behandeld worden⁶⁾.

Investerings en opbrengsten

In de tabel is een economische vergelijking weergegeven van actief-slibsystemen, anaerobe vergisting, microbiële brand-



Afb. 3: Schematische opzet van MEC bij Napa Wine Company (bron: Napa Wine Company).

Eerste generatie MFC-pilotinstallatie van The University of Queensland bij de Foster's bierbrouwerij (foto: University of Queensland).



stofcellen en microbiële elektrolysecellen, gebaseerd op prijzen uit 2008. Hierbij is alleen gekeken naar verwijdering van organische stof (CZV). Aangenomen mag worden dat de kapitaalslasten in de toekomst zullen dalen. Momenteel is een BES nog een paar honderd maal duurder dan een actief-slibstelsysteem of een gisting. In theorie kan een BES in enkele jaren de investering terugverdienen, mits de materiaalprijzen drastisch gaan dalen.

De hogere opbrengst van een MFC in vergelijking met een anaerobe gisting wordt veroorzaakt doordat de verbrandingsstap en mechanische omzetting naar elektriciteit in een MFC wordt overgeslagen.

Toekomstperspectief

De ont koppeling van verwijdering van organische stof en verwijdering van stikstof is

een belangrijke voorwaarde voor het verder terugbrengen van het energieverbruik voor afvalwaterzuivering. De Anammox-technologie heeft zich al bewezen en maakt deze ont koppeling via de gistingroute mogelijk. In vergelijking met anaerobe vergisting en de Anammox-systemen zijn de microbiële brandstofcellen nog weinig kansrijk, omdat de kosten hiervan een stuk hoger zijn. MFCs bieden echter andere voordelen ten opzichte van anaerobe vergisting en Anammox-systemen, zoals het kunnen functioneren onder een lage temperatuur. Daarnaast lijkt er een enorm potentieel te liggen voor microbiële elektrolysecellen die de productie van bijvoorbeeld waterstof combineren met de afbraak van koolstof en stikstof uit afvalwater. Wereldwijd is onderzoek gaande om de kosten van de systemen te reduceren en de efficiëntie te vergroten door bijvoor-

beeld de ontwikkeling van verbeterde microbiële bio-kathoden in combinatie met de toepassing van efficiëntere micro-organismen²⁾.

In Nederland draaien bio-elektrochemische systemen momenteel alleen nog op laboratoriumschaal. De mogelijkheden die deze systemen bieden voor de toekomst van de waterzuivering zijn echter groot. Naar onze mening is de vraag niet of er een eerste Nederlandse BES-pilot komt, de vraag is waar die komt.

LITERATUUR

- 1) Kuai L. en W. Verstraete (1998). Ammonium removal by the oxygen-limited auto-trophic nitrification-denitrification system. *Appl. Environ. Microbiol.* 64.
- 2) Rozendal R. *et al.* (2008). Towards practical implementation of bioelectrochemical wastewater treatment. *Trends in Biotechnology* 8.
- 3) Zhen H. *et al.* (2009). Electricity production coupled to ammonium in a microbial fuel cell. *Environmental Science and Technology* 43.
- 4) Clauwaert P. *et al.* (2007). Biological denitrification in microbial fuel cells. *Environmental Science and Technology* 41.
- 5) Virdis B. *et al.* (2007). Microbial fuel cells for simultaneous carbon and nitrogen removal. *Water Research* 42.
- 6) Rozendal R. (2009). Bioelectrochemical wastewater treatment, lab curiosity or viable industrial technology. Presentatie op Wetsus congres in Leeuwarden op 5/6 oktober 2009. Wetsus.

Economische vergelijking van afvalwaterzuiveringssystemen²⁾.

	product	kapitaalslasten 2008 / toekomstverwachting euro/kg CZV	opbrengst excl. afschrijving euro/kg CZV
actief-slib	ontwaterd slib	0,1	-0,3
anaerobe gisting	biogas	0,01	0,1
MFC	elektriciteit	8,0/0,4	0,2
MEC	waterstof	8,0/0,4	0,6