

Energie uit rioolwater en keukenafval bij hoge druk

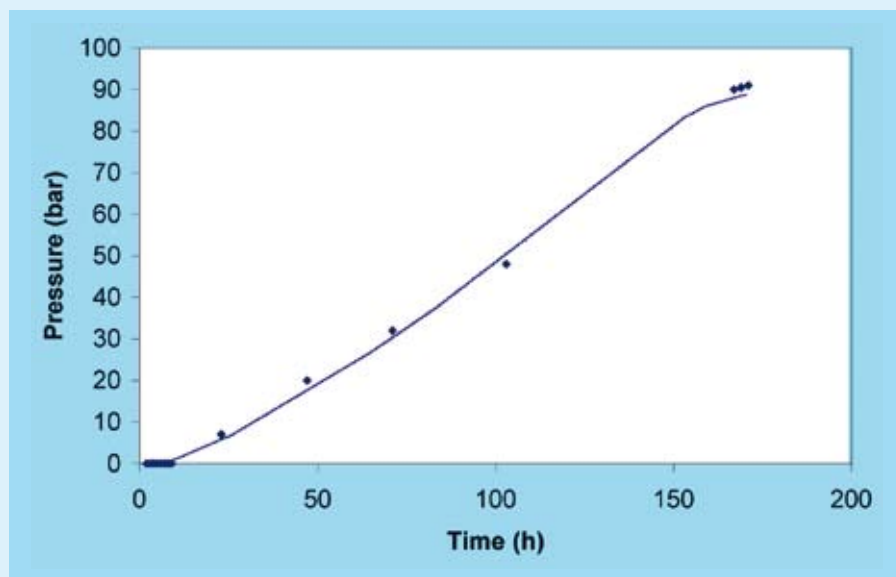
Decentrale sanitatie als invulling van een duurzame waterketen is bedacht in Wageningen en tussen 2002 en 2005 door een aantal partijen in het noorden van Nederland ontwikkeld tot een bruikbaar concept. Het demonstratieproject DeSaH in Sneek heeft laten zien dat het toepassen van decentrale sanitatie en hergebruik veel mogelijkheden biedt en zeker ook een aantal aanknopingspunten voor verdere ontwikkelingen. De resultaten van het innovatieve concept kunnen echter nog aanzienlijk worden verbeterd. Ondergetekenden zijn na het ontwerp voor het project in Sneek het laboratorium ingedoken, om met nieuwe partijen te werken aan de verbetering van de efficiency, de energieprestatie en de marktpotentie van het concept. Het resultaat is een nieuwe zuiveringstechnologie: hogedrukgingsting.

Op een schaal van 32 woningen is in 2006 in een nieuwbouwwijk in Sneek een compleet nieuw type afvalwaterinfrastructuur gerealiseerd, waarbij grijs en zwart water gescheiden worden ingezameld. Kernpunt van het demonstratieproject is de toepassing van vacuümriolering (50 mm pvc) voor de inzameling van zwart water, waardoor het waterverbruik fors (met circa 40 procent) daalt. Grijs water wordt apart ingezameld met gravitatierio-

lering (200 mm, pvc). Deze kleine leidingdiameter geeft enorme stedenbouwkundige voordelen. Technologisch gevolg is dat de concentratie zwart water hoog en het grijs afvalwater warm is, zodat de waterzuivering efficiënter werkt. Voor de verwijdering van organisch afval (CZV) uit de zwartwaterhoofdstroom wordt geen aerobe, maar anaerobe technologie gebruikt. Het energieverbruik van een normaliter toegepaste conventionele beluchting wordt vervangen door biogas-

productie; energetisch gezien een dubbele winst. Daarmee samenhangend daalt ook de CO₂-emissie uit de waterketen. Stikstof- en fosfaatverwijdering vindt in Sneek plaats door precipitatie van magnesiumammoniumfosfaat, oftewel struviet, onder dosering van magnesiumchloride. De resterende stikstofvracht wordt autotroof gedenitrificeerd via nitriet met een zogeheten Oland-systeem, waarbij geen organisch materiaal en minder beluchtingsenergie nodig is dan bij volledige nitrificatie-denitrificatie.

Afb. 1: De biologische drukopbouw.



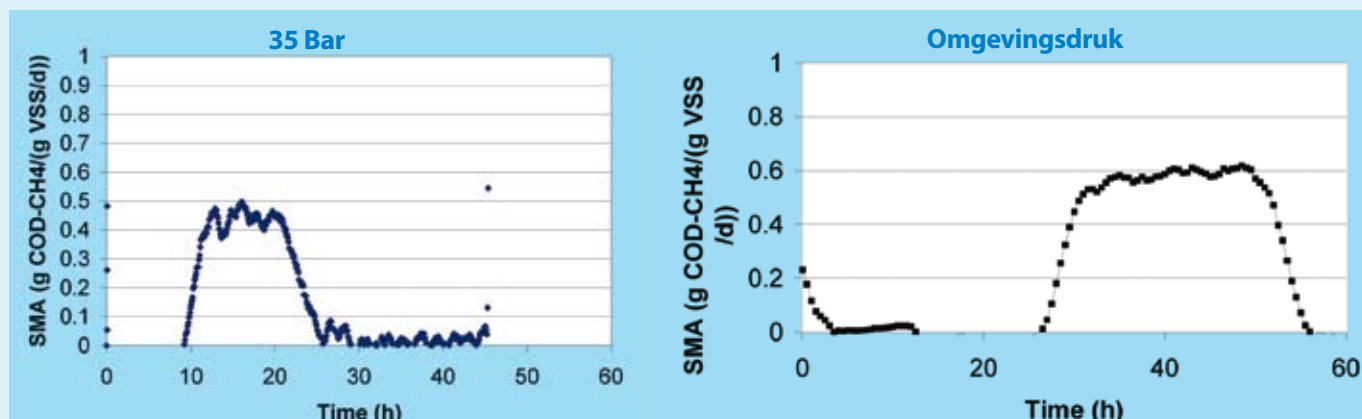
Het demonstratieproject biedt echter diverse mogelijkheden voor verdere verbetering, zoals de toepassing van autogeneratieve hogedrukgingsting. Modelberekeningen voor de bepaling van de energieprestatiecoëfficiënt (EPC) laten zien dat de voorgestelde aanpassingen een grote marktpotentie hebben.

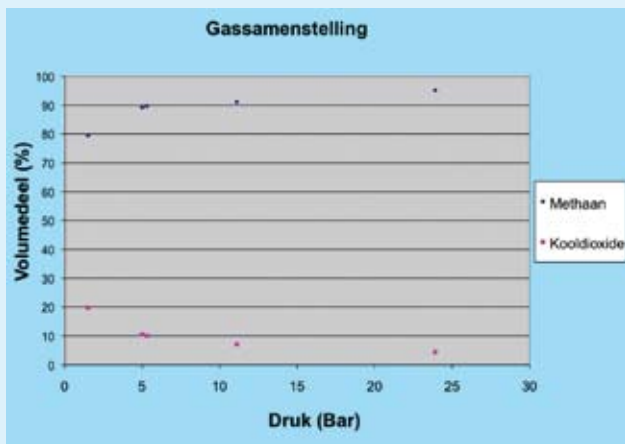
Naast technologische innovatie is er in dit ontwikkelingstraject veel aandacht voor de (niet technische) processen die nodig zijn om vernieuwingen in de waterketen succesvol te laten verlopen. Hiertoe wordt sociaal-wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd naar de betreffende faal- en succesfactoren die veelal te maken hebben met de interactie tussen partijen die in dit proces betrokken zijn.

Hogedrukgingsting

Hogedrukgingsting (of Autogeneratieve High Pressure Digestion, AHPD) is een bijzonder methaangistingsproces dat zich afspeelt

Afb. 2: Meting biologische activiteit bij de hogedrukgingsting.





Afb. 3: Gassamenstelling versus druk.

binnen een afgesloten drukvat. Doordat anaeroob geproduceerd biogas, bestaande uit methaan en kooldioxide, niet kan ontsnappen, kan de biologisch gevormde druk tot zeer hoge waarden oplopen. In het laboratorium is een drukopbouw tot 90 Bar experimenteel aangetoond. In afbeelding 1 staat op de horizontale as de tijd weergegeven en op de verticale as de oplopende druk (bBar).

Uit het onderzoek bleek ook dat bij deze waarden de gasproductie nauwelijks wordt geremd door de biologisch opgebouwde hoge druk. Dit is weergegeven in afbeelding 2, waarbij de linker grafiek de biologische activiteit toont bij hoge druk (35 Bar) en de rechter grafiek hetzelfde slib dat vervolgens bij atmosferische druk is getest. Op de horizontale assen staat de tijd (uur) weergegeven, op de verticale assen de biologische activiteit (de hoeveelheid geproduceerd methaan per gram actieve biomassa per tijdseenheid). De maximale specifieke methanogene activiteit (SMA) lijkt weliswaar iets (tien tot 20 procent) af te nemen, maar deze afname is omkeerbaar na drukaflaat. Huidige experimenten moeten nader inzicht verschaffen in het gedrag van methanogeen slib onder wisselende drukken.

Deze nieuw verkregen vorm van groene energie kan op vele manieren worden toegepast, waardoor de energieprestatie-index van een waterzuiveringsinstallatie nog verder kan worden verbeterd. Vanaf 2005 tot heden is de kinetiek van dit proces door Bareau en partners onderzocht, eerst in het laboratorium van het van Hall instituut in Leeuwarden, later in de proceshal van Wageningen Universiteit en nu in samenwerking met de Technische Universiteit Delft.

Blijkbaar zijn micro-organismen van het domein der Archaea (onder andere de methanogenen) bestand tegen extreme omstandigheden: hoge temperatuur, lage pH en extreme drukken. Voor zover bekend zijn deze oer-organismen niet ziekteverwekkend. Aan de hand van het DNA van de actieve micro-organismen is aangetoond dat er diverse soorten Archaea verantwoordelijk zijn voor het hogedruktingsproces. Veel micro-organismen, waaronder ook normale bacteriën uit een conventioneel slibgis-

tingsproces, lijken te sneuvelen tijdens de hogedrukvorming. Zo'n tien procent van de oorspronkelijk aanwezige methaanvormende organismen overleven echter en lijken zelfs bij deze extreme omstandigheden goed te groeien.

Eén van de grote voordelen van de hogedrukging is dat door de druk het biogas reeds in het systeem zelf wordt gezuiverd. Als gevolg van de Wet van Henry lost het polaire en ioniseerbare kooldioxide uit het geproduceerde biogas bij oplopende druk veel beter op in de waterfase dan het apolaire methaan. Hierdoor stijgt het methaangehalte in het biogas tot waarden van 95 procent bij 25 Bar ($T=30\text{ C}$, $\text{pH}=7$). Afbeelding 3 geeft op de horizontale as de oplopende druk weer en verticaal de samenstelling van de gasfase.

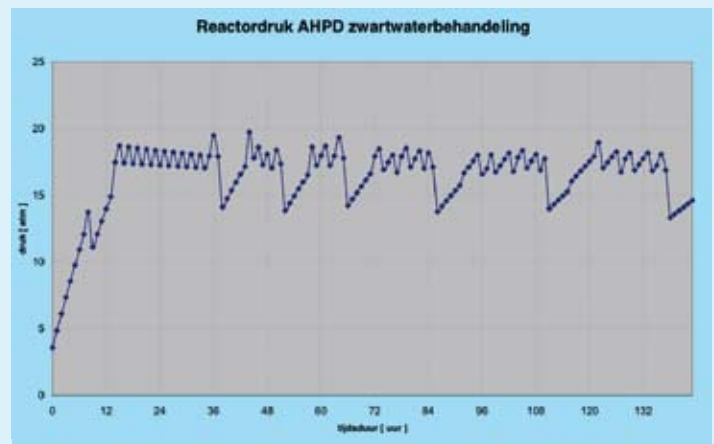
Ook het waterstofsulfide-evenwicht verschuift onder deze condities richting de waterfase.

De energetische waarde van het geproduceerde gas is door deze combinatie van factoren veel hoger dan die van conventioneel biogas. Dat heeft een energiewaarde van circa 25 MJ/Nm^3 . Hogedruktingsgas heeft afhankelijk van de druk een energiewaarde van 35 tot 40 MJ/Nm^3 en kan hierdoor in potentie direct worden gemengd met aardgas.

Behandeling zwart water

Op basis van de gegevens uit het onderzoek is een waterzuiveringsconcept ontwikkeld dat mechanisch gezien wordt aangedreven door hogedrukging: Eureka-HD. Dat staat voor Energie Uit Rioolwater En KeukenAfvval bij Hoge Druk. Het is de duurzame combinatie van vacuumsanitie met drukging.

Centraal in Eureka-HD staat een continu hogedruktingsproces. Doelstelling is om zo veel mogelijk apparatuur aan te drijven door de biologisch opgebouwde, dus duurzame groene druk; te vergelijken met een stoommachine. Indien haalbaar is geen elektriciteit of andere externe energiebron meer nodig. De biodruk wordt op een zeer efficiënte manier omgezet in arbeid, waardoor pompen worden aangedreven,



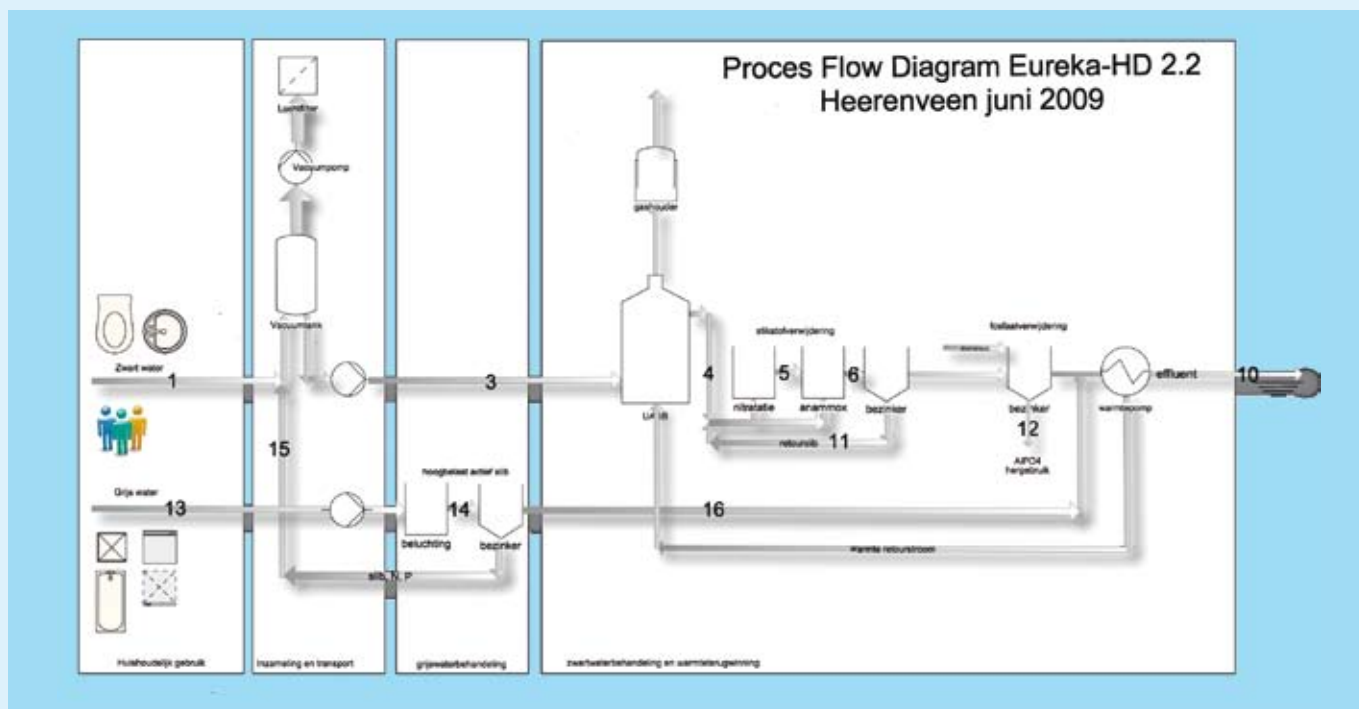
Afb. 4: Simulatie van de reactordruk.

een vacuüm wordt gecreëerd en water door ultrafiltratiemembranen en/of andere filters wordt geperst.

In afbeelding 4 is het resultaat weergegeven van een dynamische simulatie, die door Bareau van dit proces is gemaakt. Hierbij zijn de biologische kinetiek, de fysische chemie en de proceskundige inzichten gecombineerd. De lijn geeft de totale druk in het systeem weer. Deze druk loopt op wanneer de reactor wordt opgestart door de gasproductie als gevolg van de aanvoer van substraat. De kleine variaties in druk tonen dat periodiek biogas wordt afgelaten. Onder bepaalde omstandigheden wordt één van de machines aangedreven en neemt de druk flink af; dit is te zien aan de grotere dalen in de lijn. Na verloop van tijd ontstaat een steeds regelmatigere periodiciteit, afhankelijk van het aanvoerpatroon van afvalwater. Aan het eind van elke periode wordt met de biologische druk de aanvoerpomp in werking gesteld. Die creëert een vacuüm en zuigt nieuw substraat aan, dat tegen de opgebouwde druk in de reactor in wordt geperst. Dan begint de opbouw van druk opnieuw. In afbeelding 4 is dit weergegeven, met op de horizontale as het verloop van de tijd (uur) en op de verticale as de variatie in druk (atmosfeer).

Het zuiveringsconcept waarin de hogedrukreactor is geïntegreerd, is voor een concrete locatie in Heerenveen uitgewerkt, voor zowel de zwart- als de grijswaterstroom. Dit project is uitgevoerd in opdracht van STOWA, Wetterskip Fryslan en ENECO, in nauwe samenwerking met de gemeente Heerenveen. Het is de bedoeling om verder te onderzoeken of dit concept in de vorm van een demonstratieproject kan worden gerealiseerd in een bestaande woonwijk in Heerenveen, waar vanwege de problemen met wateroverlast sowieso moet worden geïnvesteerd in de riolering.

De aangesloten woningen hebben twee afvalwaterleidingen: de toiletten plus het organische keukenafval worden ingezameld en afgevoerd met het vacuumsysteem voor zwart water. De overige afvalwaterstromen worden onder vrij verval met het grijswatersysteem afgevoerd. Beide stromen worden behandeld in een gezamenlijke waterbe-



Afb. 5: Impressie van het procesflowdiagram van Eureka-HD.

handelingsinstallatie / energiefabriek. De grijswaterstroom wordt behandeld met een hoogbelaste voorzuivering, die zoveel mogelijk slib produceert. Hierbij worden ook stikstof en fosfaat ten dele biologisch vastgelegd. Dit slib wordt bezonken en toegevoegd aan de zwartwaterstroom, waarna de totale zwartwaterstroom bij hoge druk wordt vergist. Uit het digestaat wordt fosfaat verwijderd en teruggewonnen in de vorm van calciumfosfaat of struviet, en de restvracht stikstof wordt autotroof verwijderd, bijvoorbeeld met een Oland-proces. De effluenten van de zwart- en grijswaterbehandeling worden samengevoegd. Afhankelijk van de effluenteisen is nog een filtratiestap mogelijk, waarbij het water met behulp van de biologisch gegenereerde

druk door ultrafiltratiemembranen wordt geperst. Tenslotte wordt uit het gezamenlijke effluent middels een warmtepomp, die ook wordt aangedreven door de biologisch opgebouwde druk, de warmte teruggewonnen. In hoeverre de opgebouwde druk kan worden aangewend voor de genoemde randapparatuur is uiteraard afhankelijk van de hoeveelheid omzetbare organische stof per kubieke meter toegevoerd substraat. Een hogedrukstingsinstallatie zal in de toekomst bestaan uit een aantal parallel geschakelde drukketels, zoals al bekend is van bijvoorbeeld een RO-installatie. Op de foto is een ladingsgewijs bedreven hogedrukreactor op laboratoriumschaal te zien. Afbeelding 5 toont een impressie van het voorgestelde procesflowdiagram.

Drukkel proefinstallatie.



Energieprestatie op locatie

Bij de uitvoering van een dergelijk project zijn diverse partijen betrokken. Voor de waterbeheerder is het zuiveren van afvalwater belangrijk, terwijl de prioriteit van de gemeente ligt bij de service naar de burger. De gemeente zoekt tevens een manier om het rioolstelsel op een goedkope manier te vervangen en regenwater af te koppelen, in synergie met het duurzame beheer van de openbare ruimte. Voor het energiebedrijf gaat het om de duurzame energie en de emissiereductie van broeikasgassen. Een andere belangrijke partij is de woningbouwer, die moet voldoen aan duurzaamheidscriteria, waaronder de energieprestatiecoëfficiënt van te bouwen huizen. Die moet op dit moment een wettelijk vastgelegde waarde hebben van 0,8 (tegen een referentiewaarde van 1,0). Uiteindelijk moet deze waarde binnen afzienbare termijn naar 0. Die vereiste verbetering met 20 procent kan worden bereikt door isolatie. Wanneer een verdere verbetering van de EPC nodig is, zijn aanvullende maatregelen nodig, zoals een warmtepomp, een zonneboiler of een Eureka-HD systeem. Modelberekeningen met de 'uniforme maatlat' in overleg met SenterNovem tonen aan dat een verbetering van de energieprestatiecoëfficiënt van circa 0,05 tot 0,07 mogelijk is. Een energieneutrale bestaande waterketen zou leiden tot een virtuele verbetering van 0,02.

Door het aanleggen van een Eureka-HD-systeem wordt de EPC van de aangesloten woningen significant verlaagd, met een waarde van circa 0,06, terwijl de woningbouwer niet zelf hoeft te investeren. Hierbij is rekening gehouden met het energieverbruik in de waterketen, zijnde circa 11 Watt per inwoner. Tevens wordt de CO₂-emissie met circa 15 procent gereduceerd en 40 procent bespaard op het watergebruik. Ten slotte kan flink worden verdiend door het terugwinnen

van warmte. Hoogwaardig biogas wordt geproduceerd, waardoor het aardgasgebruik kan dalen en fosfaat wordt teruggewonnen.

Door het aanleggen van een Eureka-HD-systeem kunnen andere, wettelijk vereiste investeringen ter verlaging van de EPC, achterwege blijven. Dat maakt de waterbeheerder tot een gewilde samenwerkingspartij in een woonwijk, waardoor het waterschap haar maatschappelijke positie kan versterken.

Integratie riolering en waterzuivering

Op basis van de reeds verworven kennis en ideeën zijn voor enkele locaties schetsontwerpen gemaakt van infrastructuur en installaties. Hierbij is samengewerkt door ondernemers, de wetenschap, waterschappen, een energiebedrijf, STOWA en belangstellende gemeenten. De jaarlijkse kosten van een Eureka-HD-systeem in een te renoveren of nieuw te bouwen woonwijk vanaf 500 inwoners, zijn lager dan die van

een conventioneel systeem. Voorwaarde is dat het rioolstelsel moet worden vervangen of nieuw worden gebouwd. De hogere investeringskosten voor drukgisting worden deels gecompenseerd doordat geen aparte gasopwerking nodig is. Bovendien zijn minder pompen en motoren nodig. De resterende meerkosten worden terugverdiend door onder andere de water- en energiebesparing in combinatie met de levering van gas en warmte. Mogelijke besparingen voor de woningbouwer als gevolg van de verbeterde EPC zijn hierbij niet meegenomen.

De exploitatieberekeningen zijn gemaakt op basis van realistische aanbiedingen van leveranciers als onderdeel van de begroting van een grootschalige herstructurering van een bestaande woonwijk. In de ramingen is rekening gehouden met meerkosten voor beheer en onderhoud vanwege de relatief kleine schaal. Een verdere vergroting van de schaal betekent dus een verdere verlaging van de kosten.

De door het kabinet gewenste kostenverlaging en duurzame integratie van riolering en afvalwaterzuivering komt hiermee zeer dicht bij. Voorwaarde is uiteraard een doorontwikkeling van het beschreven technologische principe naar een technologisch systeem gereed voor de praktijk.

Duurzame technologie

De waterbeheerder kan zijn maatschappelijke rol en imago sterk verbeteren door de energieprestatie van de afvalwaterketen te verhogen. Hierdoor verbetert niet alleen de technische kwaliteit van de waterketen; ook de politieke positie van het waterschap in een woonwijk wordt sterker: het waterschap als katalysator van duurzame ontwikkelingen op wijkniveau.

**Kirsten Zagt en Johan Barelds (Bureau)
Jules van Lier (TU Delft / UNESCO-IHE)
Ralph Lindeboom, Jan Weijma en Caroline Plugge (Wageningen Universiteit)**