

**MEERVOUDIG WATERGEBRUIK;  
VAN LAST NAAR LUST**

door prof.dr.ir. Jules B. van Lier



**WAGENINGEN UNIVERSITEIT**

**WAGENINGEN UR**

Inaugurale rede uitgesproken op 9 november 2006 aan de  
Wageningen Universiteit.

## **Meervoudig watergebruik; van last naar lust**

Oratie uitgesproken op 9 november 2006 door:

Jules B. van Lier

Department of Agrotechnology and Food Sciences

Sub-department of Environmental Technology

Wageningen University

Mijnheer de Rector Magnificus, Lieve Familie, Beste Vrienden, Waarde collega's, Dames en Heren in de zaal, my dear friends abroad on the internet.

De komende drie kwartier is "Water" het onderwerp. "Water" is een alledaags begrip, een vanzelfsprekendheid, niets om over na te denken. Water is wat er is, niets meer en niets minder, de normaalste zaak van de wereld. Echter indien water niet meer op de gebruikelijke manier beschikbaar is, worden wij ons bewust van onze afhankelijkheid van water. Denk aan de tekorten aan water in droge periodes en droge gebieden, of de gigantische overlast van water tijdens overstromingen.

In mijn oratie wil ik diverse waterkringlopen en waterketens bespreken met de nadruk op de productieve sectoren industrie en landbouw. Alvorens in te gaan op het gebruik en meervoudig gebruik van water voor productieve doeleinden, wil ik u wat achtergrondinformatie over "water" zelf geven.

## Wat is water

Water of  $H_2O$  is een verbinding van twee waterstofatomen en een zuurstofatoom. Bij kamertemperatuur is water een vloeistof zonder kleur of smaak. De uitdrukking "hmm, lekker water" zegt daarom meer over de toevoegingen en/of opgeloste stoffen in het water, of juist het ontbreken daarvan, dan over het water zelf. Zo vinden de meeste mensen water met een hoog calcium gehalte, zogenaamd "hard water", niet lekker. Voor mij een belangrijke reden om tijdens de vakantie goed de etiketten te bestuderen van de drinkwaterflessen in de Zuid-Europese supermarkten alvorens een keuze te maken.

Water heeft een aantal eigenschappen wat het zo'n bijzondere stof maakt. Het meest bekend is dat zuiver water bevriest bij  $0^{\circ}C$  en kookt bij  $100^{\circ}C$ . Het mag duidelijk zijn dat deze getallen niet op toeval berusten. Verder drijft de vaste vorm van water op de vloeibare vorm en heeft het zijn hoogste dichtheid bij  $4^{\circ}C$ . Dat laatste is van groot belang voor tal van dierlijke en plantaardige soorten die hierdoor heelhuids de winter doorkomen in de gematigde klimaatzones. Ook op moleculair niveau is water een zeer interessante stof. Omdat de waterstofatomen niet symmetrisch liggen ten opzichte van het zuurstofatoom is één kant van het watermolecuul elektrisch geladen ten opzichte van de andere kant, een zogenaamde dipool. Juist door deze polariteit lossen geladen deeltjes (ionen) zoals zouten gemakkelijk op evenals polaire ongeladen deeltjes. Denk aan suiker in thee en koffie. De dipool van het water molecuul is ook de reden waarom het temperatuurbereik van de vloeibare fase zo breed is (100 Kelvin) en waarom water wordt gekenmerkt door een hoge smeltwarmte en verdampingswarmte. Een uitgebreid overzicht van de anomalieën van water met bijbehorende verklaringen zijn helder weergegeven op de website van prof. Martin Chaplin: [www.sbu.ac.uk/water/index.html](http://www.sbu.ac.uk/water/index.html).

## Hoe vanzelfsprekend is water?

Indien we kijken naar de planeet aarde zien we dat het oppervlak van onze planeet voornamelijk bedekt is met water. Het is eigenlijk verbazingwekkend dat we onze planeet niet "water" hebben genoemd in plaats van "aarde". Buiten onze aarde is water een niet veel voorkomende stof. Tenminste, voor zover we tot nu toe weten. Er zijn meldingen van buitenaards bevroren water op kometen en ook Mars heeft ijshoudende poolkappen. Zeer recent publiceerde NASA foto's van vermeend 'stromend water' op Mars. In maart van dit jaar maakte NASA melding van opnames door de ruimtesonde Cassini die een soort Geysers waarnam aan het oppervlakte van de Enceladus maan van Saturnus. De eerste waarnemingen van buitenaards vloeibaar water.

Het aardoppervlak bestaat ongeveer 71% uit water, waardoor water - al of niet terecht - wordt gezien als een onuitputtelijke bron. Meer dan 97% van het aanwezige water is echter zout (oceanen) en helaas niet direct geschikt voor humane consumptie en/of productief gebruik. Slechts 2-3% van de watervoorraad bestaat uit zoet water. Echter van deze 2-3% is zo'n 70% vastgelegd in ijskappen, terwijl de overige 30% is opgeslagen als moeilijk toegankelijk grondwater (fossiel water) en als (bodem)vocht, het onzichtbare water zoals Prof. Feddes het 2 jaar geleden in zijn afscheidsrede noemde. Zoals u ziet blijft er weinig over om straks de receptie mee te vullen. De hoeveelheid bruikbaar zoetwater wordt geschat op 0.01-0.02 % van de totale hoeveelheid water; een verwaarloosbare hoeveelheid van het totaal; veel minder dan een gangbare meetfout.

Naast de absolute hoeveelheden zijn uiteraard de geografische ligging, de periodieke verdeling en de intensiteit van de water-

stromen, de zogenaamde fluxen, van belang om een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid bruikbaar of hernieuwbaar water op een bepaalde locatie. In dezelfde rede gaf Prof. Feddes een schatting van 40.000 km<sup>3</sup> aan hernieuwbaar water per jaar voor onze planeet. Deze hoeveelheid is het verschil tussen de jaarlijks naar het vaste land getransporteerde neerslag en de hoeveelheid terrestrische verdamping. Regionaal zijn er echter zeer grote verschillen, in zowel de hoeveelheid neerslag als in de waterfluxen veroorzaakt door rivieren en grondwaterstroming. Wat deze waterfluxen betreft is Nederland gezegend met een hoge fluviale toestroom door de grote rivieren (Rijn, Maas, Schelde) en voldoende regenval. Rekenend met een totale oppervlakte van Nederland van 35.000 km<sup>2</sup> en een gemiddelde neerslag van zo'n 800 mm/jaar, met fluctuaties tussen 500 en 1100 mm/jaar, valt er in Nederland zo'n 28 miljard m<sup>3</sup> per jaar. Bij een bevolking van 16,3 miljoen mensen is dat zo'n 1700 m<sup>3</sup> per persoon/jaar indien er niets verdampt en we alle neerslag zouden opvangen. De prognoses voor de middellange termijn, mede gebaseerd op de voortschrijdende gemiddelden van de afgelopen decennia, voorspellen een lichte toename in de regenval voor de komende decennia. Het vallende regenwater is echter maar een beperkte stroom in vergelijking met wat er door de grote rivieren Nederland binnenkomt. Alleen al via de Rijn komt er gemiddeld 2.200 m<sup>3</sup>/s aan water Nederland binnen, dat is gemiddeld zo'n 70 miljard m<sup>3</sup>/jaar. Niet echt een watertekort in Nederland lijkt me. Hierbij moeten we ons echter wel bedenken dat verreweg het meeste water linea recta naar de zee wordt getransporteerd terwijl door het grote bebouwde oppervlak in Nederland het water óf als run-off direct óf via rioolsystemen eveneens richting zee verdwijnt. Het moge echter duidelijk zijn dat waterhergebuiksinitiatieven in Nederland niet door een absoluut tekort aan water zijn ingegeven.

Heel anders ligt het in de meer droge klimaten van onze planeet waarbij prognoses voor Noord Afrika, Midden Oosten, Arabische schiereiland en Centraal Azië dalingen in de hoeveelheid neerslag van zo'n 20% laten zien, gebieden die nu al kampen met ernstige droogtes.

Tabel 1 geeft een indruk van het huidige waterverbruik en de hoeveelheid aanwezig hernieuwbaar water. De laatste 2 regels van Tabel 1 geven een indruk van de hoeveelheid waterreserves die een land ter beschikking heeft. Nederland gebruikt minder dan 10% van de hoeveelheid water waarover het beschikt. Echter, voor landen als Jemen en Jordanië, waar nauwelijks oppervlaktewater beschikbaar is, de verdamping hoog is en de hoeveelheid neerslag dalende is, is de situatie zeer nijpend.

Tabel 1. Regionale verschillen in de hoeveelheid beschikbaar water en verbruik door de diverse maatschappelijk sectoren (Bron: [www.worldwater.org](http://www.worldwater.org))

	Nederland	Verenigde Staten	Jemen	Jordanië
Verbruik ( $m^3$ .pers <sup>-1</sup> .jaar <sup>-1</sup> )	491	1688	162	155
Huishoudelijk (%)	5	12	7	22
Industrieel (%)	61	46	1	3
Landbouw (%)	34	42	92	75
Totaal verbruik ( $km^3$ .jaar <sup>-1</sup> )	8	469	2,9	1,0
Totaal hernieuwbaar ( $km^3$ .jaar <sup>-1</sup> )	90	2478	4,1	0,9

Een land als Jordanië verbruikt momenteel al zijn hernieuwbare water waarbij de watervraag door voortschrijdende ontwikkeling maar blijft toenemen. De geïrrigeerde landbouw, de grootste waterverbruiker in Jordanië, komt hierbij onder steeds grotere druk te staan. Je zou kunnen stellen dat het bedrijven van landbouw in woestijnachtige gebieden een onverantwoorde economische activiteit is. Vorige week vertelde Koning Abdullah dat Jordanië zijn

agrarisch economische activiteit gaat voortzetten in Soedan. Om groei in de agrarische exportactiviteiten te waarborgen gaat Jordanië 5000 km<sup>2</sup> landbouwgrond in Soedan pachten van waaruit export naar de Golf plaats gaat vinden. In feite: verplaatsen van de landbouwactiviteit naar de waterbron (Nijl) in plaats van andersom. In de komende decennia zal landbouw in de woestijn onder nog grotere druk komen te staan. Echter zelfvoorzienendheid wat betreft voedsel is eerder een politiek ingegeven keuze dan een rationele benadering van de lokale waterbalans. Een mooi voorbeeld is de wens van Qatar om agrarische productiviteit in de Golfstaat te ontwikkelen, om zo de afhankelijkheid van de grote buur Saoedi Arabië te verminderen. Momenteel zijn wij via Shell Global Solutions betrokken bij het Gas to Liquid project in Qatar, waarbij de doelstelling is om het chemisch geproduceerde water op te werken tot irrigatiewaterkwaliteit ten behoeve van agrarische productie.

### **Veranderend klimaat?: effect op de hoeveelheid neerslag.**

Klimaatverandering staat momenteel hoog in de belangstelling en politieke agenda. Momenteel trekt Al Gore's film "The Unconvenient Truth" veel aandacht en krijgen veel studenten en scholieren gratis toegangskarten. Hollywood had met de film "The Day after Tomorrow" zelfs een financieel succes. Gebruik van dergelijke media ten behoeve van bewustwording is prijzenswaardig. Echter, ik zet wel grote vraagtekens bij het louter voorspiegelen van doemscenario's en het aanwenden van onzekerheden voor mogelijk politiek gewin en/of het maken van politieke keuzes. Of nog erger, voor het in de toekomst mogelijk rechtvaardigen van beteu-

geling van economische ontwikkeling van opkomende economieën en ontwikkelingslanden door de geïndustrialiseerde landen wanneer die ontwikkeling gekoppeld is aan broeikasgasemissies. Een verontruste en gealarmeerde bevolking is immers manipuleerbaar. Wat betreft broeikasgasemissies blijven de geïndustrialiseerde landen veruit de grootste boosdoeners. Ook al zouden wij een ondenkbare stap van 50% terugdoen in het gebruik van fossiele brandstoffen, ons verbruik blijft vele malen hoger dan die van ontwikkelingslanden. In 2001 gebruikten we in Nederland een hoeveelheid energie die overeenkomt met 4.800 kilogram olie-equivalenten per persoon per jaar. Eén kilogram olie-equivalent is de hoeveelheid energie die overeenkomt met de energie-inhoud van 1 kg olie. In België was dit verbruik 5.700 en Albanië 550 (bron: World Resources Institute, Earth Trends; <http://earthtrends.wri.org>). Ter vergelijking: China consumeert 890 en India 520 kilogram olie-equivalenten per persoon per jaar, terwijl dat in de VS gemiddeld op 8.000 ligt en in Qatar op 27.000.

Verandering van het klimaat door antropogene broeikasgasemissies is wetenschappelijk gezien nog geen uitgemaakte zaak (Thoenes en Labohm, 2006; Labohm et al., 2004). Hoewel er grote aanwijzingen zijn dat het op veel plaatsen op aarde warmer wordt – denk aan de zich terugtrekkende gletsjers – is het uitermate lastig om een numeriek causaal verband aan te tonen. Verder is het nog zeer onduidelijk wat nou de precieze klimaateffecten zullen zijn en met welke snelheid deze zich zullen manifesteren. Onlangs liet WU collega prof. Martin Scheffer (2006) zien dat de effecten van veranderende metabole activiteit van organismen, ingegeven door de klimaatverandering, nog onvoldoende in de bestaande klimaatmodellen zijn meegenomen. Verhoogde metabole acti-



viteit kan leiden tot een enorme versnelling van het effect door een verhoogde ademhaling en mineralisatie waarbij  $\text{CO}_2$  vrij komt (positieve terugkoppeling), maar ook door verhoogde methaanemissies uit de ontdooiende permafrost gebieden en opwarmende toendra's. Van de andere kant kan door een verhoogde temperatuur en verhoogde  $\text{CO}_2$  spanning in de huidige koudere gebieden het  $\text{CO}_2$  absorberende vermogen door toegenomen biomassa en dus fotosynthese juist toenemen. Naast het bufferende vermogen van de grote watermassa's zelf, zijn de mariene blauwalgen mogelijke dé organismen bij uitstek die er wederom voor kunnen zorgen dat elk te veel aan  $\text{CO}_2$  op den duur wordt weggewerkt. De aarde heeft in haar historie voor hetere vuren gestaan. Naast de bekende broeikasgassen  $\text{CO}_2$  en  $\text{CH}_4$  heeft ook de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer zijn effecten op het klimaat. In feite is waterdamp een veel sterker "broeikasgas" dan  $\text{CO}_2$ . Echter ook wat die effecten zullen zijn is nog allerminst duidelijk. Enerzijds zal er meer zonnewarmte wordt terugkaatst, anderzijds zorgt de atmosferische waterdamp juist voor een stijging van de temperatuur.

Stellend dat er inderdaad een causaal verband bestaat tussen antropogene broeikasgasemissies en klimaatverschuivingen is het - gelet op de voor menselijke begrippen zeer lange termijneffecten - nog maar zeer de vraag of wij op dit moment ook maar iets kunnen doen om klimaatverschuivingen tegen te gaan. We kunnen hooguit de tijdsperiode van uitstoot verruimen door de jaarlijkse dosis te verlagen als dat al politiek-economisch haalbaar mocht zijn. Echter, hoe je het wendt of keert, de beperkte voorraad fossiele brandstoffen die nu nog ligt opgeslagen in onze planeet gaat naar verwachting vroeg of laat toch de lucht in. Er zijn momenteel nog geen alternatieven en de verwachtingen voor de ko-

mende decennia laten juist een toename in het gebruik van de fossiele brandstoffen zien (Fig. 1). Daarbij, 100, 200 of 500 jaar is voor mondiale klimatologische veranderingen een kleine periode en voor geo-evolutionaire begrippen volledig verwaarloosbaar.

### World primary energy demand by fuel.

Ref.: International Energy Agency, World Energy Outlook (2004)

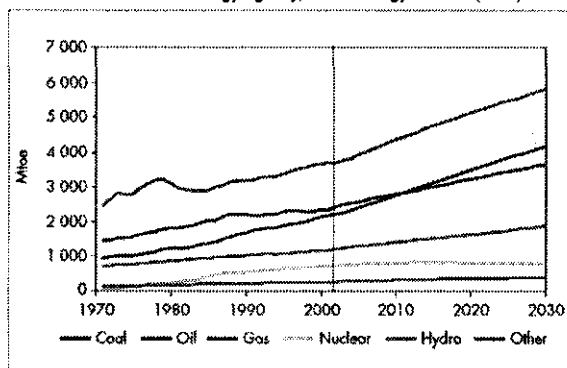


Fig. 1. Mondiaal energie verbruik per brandstof (1970 – 2030)

De link tussen mijn oratie en de huidige klimaatdiscussie zit hem in de voorspelde veranderingen in de hoeveelheid neerslag alsmede de toename in de evapotranspiratie, dat wil zeggen de verdamping van terrestrisch water naar de atmosfeer. De meeste bestaande modellen laten een toename in natte gebieden zien en een afname in droge, waardoor de geografische contrasten in de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater alleen maar groter worden. Ook de periodieke verschillen zullen groter worden, waardoor natte seizoenen natter worden en droge seizoenen droger. Indien deze modellen correct zijn, zal deze verande-

ring grote consequenties hebben voor Europa en de rest van de wereld. Zuid Europa zal steeds meer te kampen krijgen met langere droge periodes terwijl Centraal en West Europa grotere hoeveelheden water zal krijgen te verwerken tijdens de lente en de herfst. De hoge temperaturen van de afgelopen maanden september en oktober geven te denken. Wordt het warmer in Nederland? Een antwoord daarop kan ook nog niet worden gegeven. In de klimaatdiscussies zijn de lange termijn effecten allerm minst duidelijk. Enerzijds zijn toenames van 1.5 - 6 graden in de komende 100 jaar voorspeld, anderzijds waarschuwen wetenschappers voor de komst van een nieuwe ijstijd. Een nieuwe ijstijd?

Zeer wel mogelijk! Met de komst van de mens zo'n paar miljoen jaar geleden heeft de aarde een 4-tal ijstijden gekend. De laatste ijstijd eindigde zo'n 10.000 jaar geleden. De huidige periode, het holoceen is wellicht een interglaciaal op weg naar de volgende ijstijd indien we de theorie van de Milankovitch cycli volgen. Milankovitch (1930) opperde dat de verandering van de aardas ten opzichte van het equatoriale vlak met de zon van doorslaggevend belang is voor het lokale heersende klimaat op de aarde. Het broeikas effect kan de overgang naar een volgende "ijstijd" in Europa echter versnellen. Een en ander valt te verklaren uit de impact die het broeikas effect en de daarmee samenhangende grote toename in de hoeveelheid zoet water in het noordelijk Atlantische bekken kan hebben op de intensiteit van de warme Atlantische Golfstroom in noordelijke richting. De mogelijke afkoeling van het Noordelijk halfrond is treffend geïllustreerd in de reeds genoemde "The Day after Tomorrow" film en terug te vinden op de diverse websites.

Conclusie van bovenstaande overwegingen: een klimaatverandering staat zeer wel mogelijk voor de deur, maar we we-

ten nog niet naar welke kant..... Waarom dit betoog in mijn oratie? Wereldwijd gaan bakken onderzoeksgeld naar klimatologische modellen en potentiële impact studies van veranderende klimaten op het leefmilieu. Na jaren onderzoek, diverse hypothesen en nog meer inzichten is er echter nog niet veel helderheid maar is de bevolking gealarmeerd en ongerust. Terwijl we, en ik chargeer, er niets aan kunnen doen. Als technoloog houd ik van causale verbanden en interventiemogelijkheden. Echter beteugeling van de CO<sub>2</sub> uitstoot tot een niveau van 10 jaar geleden zal zeker niet leiden tot een vermindering van het vermeende broeikas-effect.

Moeten we ons zorgen maken over het broeikas-effect? Neen, naar mijn idee niet; verloren tijd. We moeten er wel mee leren omgaan. We hebben echter voldoende tijd om te anticiperen op mogelijke klimatologische veranderingen. Klimaatverschuiving is geen korte termijn werk, geen reden tot paniek dus. De werkelijke grote zorg voor ons en ons directe nageslacht is de uitputting - en de oneerlijke verdeling - van de diverse grondstoffen die essentieel zijn voor het instandhouden van de maatschappij zoals wij die kennen. Een grotere druk op deze grondstoffen speelt een nog grotere sociale ongelijkheid in de kaart, en, zeer mogelijk, de drang van de bestaande economische machtsstructuren om de resterende hoeveelheden te monopoliseren. Dat dit vervolgens tot een wereldwijde sociale onrust kan leiden is niet geheel ondenkbaar. Een basaal gevecht om de grondstoffen! De steeds stijgende kosten van vele grondstoffen zijn in feite de eerste tekenen van het beginnende gevecht. Wat te denken over de prognoses van de mondiale fosfaat voorraad? De neerwaartse trend zal over enkele decennia ons noodzaken fosfaathergebruik tot een vanzelfsprekendheid te maken (Fig. 2). Op dit moment is er voor ons nog niets aan de hand.

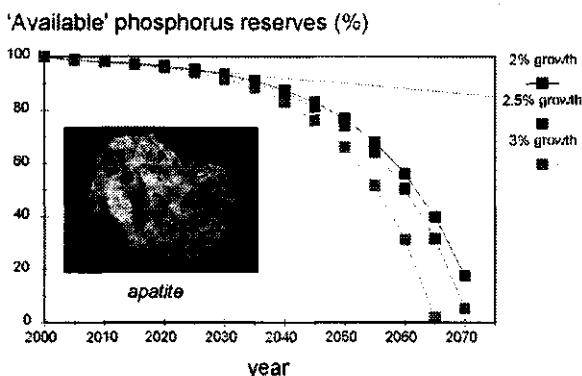


Fig. 2. Economisch winbare mondiale fosfaatvoorraden. Prognoses voor de komende 70 jaar bij een bevolkingsgroei van respectievelijk 2, 2.5 en 3% (Driver et al, 2001).

Door onze hoge lonen en personele kosten zijn wij ons niet bewust, van de werkelijke waarde van de grondstoffen. Mogelijk zijn we het ons wel bewust, maar heeft het geen prioriteit omdat we het toch kunnen betalen. In de afgelopen maanden heb ik mijn huis verbouwd en heb ik actief grondstoffen onttrokken aan de markt. Je krijgt op die manier wat meer zicht op de prijs van bepaalde grondstoffen. Een aantal jaar geleden kostte een meter koperen waterleiding van 16 mm zo'n 2 € /m. Momenteel ligt de prijs echter nabij de 4 € /m. Een verdubbeling binnen een paar jaar. Een ander voorbeeld van grondstofschaarste is de ijzerprijs. Toen de stucadoors in mijn gang bezig waren moest ik even de oude ijzeren radiator buiten zetten. Ondanks dat ie 25 m van de straat stond werd ie zonder pardon door een overvlijtige ijzerboer ontvreemd. Een probleem voor mij maar

inkomsten voor hem.

Een snelle economische groei in landen als India en China zal de druk op de grondstoffen doen toenemen. Mogelijk zal dit resulteren in een toename van de mondiale politiek-economische spanningen. Ik durf te voorspellen dat als het zover komt het broeikas-effect als mondiaal zorgpunt uit het gezichtsveld verdwenen zal zijn. Een van deze grondstoffen is de eigenlijke veroorzaker van het antropogene broeikas-effect: de veelbesproken fossiele brandstof. Als grondstof voor plastics en hoogwaardige polymeren zal ruwe olie nog lang een belangrijke rol spelen. Als brandstof zal die tegen die tijd, naar wij mogen hopen, wel zijn ingehaald door de diverse opkomende alternatieven. Mogelijk door technologieën waar wij binnen de sectie milieutechnologie aan werken (<http://www.ete.wur.nl/UK/>).

'Water', 'zoet water' is in veel gebieden eveneens een waardevolle en schaarse grondstof. In andere gebieden, zoals Nederland, een relatief goedkoop product. Wat kost nu 1 m<sup>3</sup> water ??? In Nederland kost 1 m<sup>3</sup> drinkwater voor ons consumenten zo'n € 1,50. D.w.z. dat 1 liter water slecht 1/10 van een eurocent kost. Nul komma één eurocent, geen bedrag om over na te denken. En dan te bedenken dat bronwaterproducenten hun water voor een factor 500-1000 meer verkopen aan de consument.... We kunnen het allemaal betalen. Daarbij betreft het soms bronwater, gewonnen uit dezelfde bron als waar de drinkwaterbedrijven hun water vandaan halen zoals in Utrecht. In een trendgevoelig restaurant kan de prijs zelfs oplopen tot 6 á 8 € per fles.. Kortom: Water = Business.

Hiermee kom ik bij de volgende paragraaf:

## **Gebruik van water in economische sectoren (landbouw, industrie, huishoudens)**

Water is van groot belang voor alle economische activiteiten. Zonder water geen landbouw, zonder water geen agro-industrie, geen chemie, geen ontwikkeling, zonder water geen leven.

Sinds de oudheid betwisten mensen elkaar over de gebruiksrechten van het aanwezige water. Zo is een rivaal oorspronkelijk de mede eigenaar van het irrigatiekanaal...

Wij, consumptieve burgers, hebben er vaak geen weet van hoeveel water het kost om bepaalde producten te produceren. De inhoud van een glas bier kost 3 tot 12 glazen water om het te produceren. De dikke zaterdagkrant kost, gerekend met de mondiale papier productie, zo'n 40-50 liter water. In Nederland hebben we dat waterverbruik al weten te reduceren tot zo'n 7.5-10 liter per zaterdagkrant met bijlagen. Naast de zuivere waterverbruikskosten tijdens het productieproces, worden ook grote hoeveelheden water gebruikt om de benodigde grondstoffen en procesadditieven te produceren. Zo kan elk product worden uitgedrukt in de hoeveelheid water dat het kost om dat product te maken, het zogenaamde productgerelateerde virtuele water. Zo kost in Nederland 1 kg rundvlees 12 m<sup>3</sup> water, terwijl de productie van 1 l melk zo'n 650 l water kost. Hoekstra en Chapagain van Unesco-IHE (2005) berekenden dat Nederland, ondanks zijn overvloedige water voorraad, zelfs een virtueel water importeur is....

Agrarische productie en waterverbruik zijn aan elkaar gekoppeld. De landbouw is wereldwijd dé grootste waterverbruiker in het economische verkeer. In een aantal landen

consumeert de geïrrigeerde landbouw meer dan 80% van de aanwezige zoetwatervoorraden. Het zal u niet verbazen dat efficiëntere irrigatiemethoden en of wijzigingen in het landbouwbeleid in deze gebieden, zoals in Jordanië, direct een grote invloed hebben op de waterhuishouding in dat gebied. Echter, dat laat ik graag aan de geëigende specialisten over.

Naast industrie en landbouw smeert water eveneens het huishoudelijke systeem. Water in de huishoudens wordt gebruikt voor wassen, afwassen, bad & douche, schoonmaak, sanitaire voorzieningen (toiletspoeling), voedselvoorbereiding, wastafel gebruik en.... directe consumptie. In Nederland wordt per persoon 135 l drinkwater per dag geleverd waarvan pakweg 1-2 % wordt gebruikt voor consumptie. Voor Westerse maatstaven zijn we nuchtere Nederlanders zeer zuinig met water. Het gemiddelde in Noord Europa ligt op 160-170 l/persoon per dag (Henze and Ledin, 2001) terwijl mediterrane landen zoals Spanje zo'n 200 l/persoon consumeren. In en rond de steden van Noord Amerika is de huishoudelijke consumptie zo'n 400-450 l/persoon/dag. Anders gesteld is het in het Midden Oosten waar een stad als Amman het met gemiddeld 80 l/persoon/dag moet doen terwijl Hebron in Palestina gemiddeld 40 l/persoon /dag verstrekt. In de Palestijnse vluchtelingendorpen kan de consumptie tot 15 l/persoon per dag dalen terwijl aan de Israelische kant de consumptie zo'n 200 l/persoon /dag bedraagt; grote verschillen die te denken geven.

Een zeer belangrijke functie van water in landbouw, industrie en huishoudens is transport van grondstoffen náár en/of ván de plek van productie. Wat betreft landbouw gaat het over transport van voedingsstoffen naar de plantwortels.



De hoeveelheid water benodigd voor dit transport hangt onder meer af van de grondsamenstelling en de verdamping. Er wordt maar een zeer klein deel (1% of minder) van het water geïncorporeerd in de plant zelf. Bij industriële productieprocessen is de hoeveelheid water dat uiteindelijk in het product terecht komt eveneens maar zeer gering. Aan en afvoer van grondstoffen en reststoffen is binnen de industrie een zeer belangrijke, zo niet de belangrijkste functie van water.

Ook binnen huishoudens wordt vrijwel de gehele aanvoer gebruikt voor transport van afvalstoffen dat als rioolwater het huishouden verlaat. Op zich zelf maar een licht verontreinigde stroom. Echter, de toevoeging van toiletwater verandert het huishoudelijke rioolwater in een zeer infectieuze bron van vervuiling. Indien men bedenkt dat menselijke uitwerpselen en urine slechts voor 1-2 % deel uitmaken van het huishoudelijk afvalwater, kan men zich afvragen of de gekozen sanitatieconcepten in het Westen wel de juiste zijn. Immers, onze poep wordt met een enorm grote plas drinkwater weggespoeld. Ik kan u verzekeren dat we ons die vraag bij onze sectie wel gesteld hebben. Geïnitieerd door prof. Lettinga en op doortastende wijze opgevolgd door mijn collega Dr. Grietje Zeeman wordt momenteel een wijk in Sneek bediend met een alternatief sanitatieconcept waarbij het toiletwater reeds in de huizen wordt gescheiden van de rest van het rioolwater wat behandeling op de plek mogelijk maakt. Met het oog op lokaal hergebruik van de bulk van het huishoudelijk water, maar ook van de in het zwarte toiletwater opgeloste meststoffen een zeer belangrijke ontwikkeling. Ik kom hier later nog even op terug.

## Vervuiling van oppervlaktewater

Zoals gezegd leidt watergebruik in de diverse economische sectoren tot het verplaatsten van vervuilende bestanddelen (waaronder ook hernieuwbare grondstoffen) van de plek van de productieve activiteit naar elders; "problem mitigation" in het Engels. Indien de afvalwaterstroom niet wordt gezuiverd leidt deze handelswijze op den duur echter tot vervuiling van het ontvangende water, aantasting van de ecosystemen en een mogelijke bedreiging van de volksgezondheid. In de jaren '60 werd in Nederland dit probleem serieus onderkend en in de jaren '70 hadden we onze wet "Bescherming Oppervlaktewater", met als gevolg dat momenteel geen enkele industrie direct meer loost op het oppervlaktewater en momenteel 97-98% van de huishoudens op het riool is aangesloten door een buizenstelsel waarmee we minstens 2 keer mee om de wereld kunnen.

In veel, heel veel, landen zit de vork anders aan de steel. Gebrek aan institutionele wil, planning, organisatorische raamwerken en veel geld, leiden nog steeds tot ernstige water-gerelateerde milieu- en gezondheidsproblemen in met name ontwikkelingslanden. Een paar getallen: Bij het begin van de millennium wisseling hadden 2.4 miljard mensen geen toegang tot verbeterde sanitaire voorzieningen terwijl 1.1 miljard mensen geen beschikking hadden over veilig drinkwater. De meesten van deze mensen leven in sloppenwijken in de buurt van de grote steden of op het platte land. Onder andere tengevolge van gebrekkige sanitatie, sterven wereldwijd zo'n 1.8 miljoen mensen per jaar door het drinken van besmet drinkwater, waarvan 90% kinderen jonger dan 5 jaar. Gebrekkige sanitatie en ongecontroleerde lozingen van rioolwater op het oppervlakte water bedreigen niet

alleen de directe leefomgeving van de bevolking maar vervuilen ook de drinkwaterbronnen. **Langdurige periodes van vervuiling zijn een tijdbom onder de maatschappij.** Onderzoek heeft vreemd genoeg aangetoond dat de meeste mensen uiteindelijk wel bereid zijn te betalen voor het drinkwater maar niet of nauwelijks voor het door hun geproduceerde afvalwater. De verklaring hiervoor is dat er een directe persoonlijke relatie ligt tussen de beschikbaarheid van drinkwater en hun welzijn maar niet tussen behandeling van afvalwater en een verbeterd leefmilieu. Indien men daarbij bedenkt dat het behandelen van afvalwater veel duurder is dan de kosten voor drinkwater, zeker bij hoog drinkwaterverbruik, dan wordt de patstelling bij de minder vermogende landen snel duidelijk.

Het kan echter interessant worden om te zuiveren, indien er direct persoonlijk gewin te halen valt uit het te behandelen van afvalwater. Denk hierbij aan hergebruik van het water zelf, de meststoffen en/of het gestabiliseerd organische materiaal, te gebruiken als bodemverbeteraar. Indien er hergebruiksmogelijkheden zijn, zal men eerder bereid zijn voor het zuiveringsstelsel te betalen. Men zou hier een parallel kunnen trekken met de ontwikkeling van waterefficiëntie in de Nederlandse industrie .

### **Drijfveren voor water besparing en waterhergebruik in de Nederlandse industrie.**

Uit mijn betoog tot nu toe blijkt dat er geen watertekort dreigt in Nederland. Toch zijn industriële productieprocessen fervent bezig het specifieke watergebruik, dat wil zeggen, de hoeveelheid benodigd water per hoeveelheid product, te verminderen. Waterbesparing en hergebruik van

proceswater zijn in Nederland ingegeven door politiek-economische drijfveren en niet door ernstige watertekorten. Er kleven namelijk nogal wat bezwaren aan hoog specifiek watergebruik, zoals:

1. Prijs van water inname. Denk aan grondwaterbelasting en de prijs van drinkwater en/of industriewater.
2. Verminderde efficiëntie in de productie. Grote hoeveelheden water leiden onherroepelijk tot hoge verliezen van grondstoffen.
3. Prijs van waterlozing. Lozen van afvalwater is een kostbare zaak. Grote waterstromen vergen grote installaties om het afvalwaterdebiet te kunnen verwerken. Daarbij is in vele industrieën geen plek om zeer grote installaties bij de fabriek zelf te kunnen plaatsen. Een hoog specifiek watergebruik leidt bovendien tot lage concentraties vervuilende stoffen in het afvalwater. Echter, lage concentraties aan vervuilingen zijn veel moeilijker te verwijderen dan hoge concentraties, waarbij de benodigde technologie in het laatste geval veel goedkoper is.
4. Energieverlies. Het opwarmen van een  $\text{m}^3$  grond water kost  $4.2 \text{ MJ}^\circ\text{C}$ . Een hoge waterstroom door een fabriek leidt direct tot een hoog energieverbruik omdat de meeste productie processen bij een hogere temperatuur plaats vinden. Een papierfabriek welke 1000 ton papier per dag produceert met een specifiek watergebruik van  $25 \text{ m}^3/\text{ton}$  papier verliest per dag 0.6 miljoen kWh met het effluent, indien deze situatie wordt vergeleken met een fabriek met een specifiek watergebruik van slechts  $5 \text{ m}^3/\text{ton}$  (voor het rekengemak wordt er geen gebruik gemaakt van warmtewisselaars en andere energie-efficiënte maatregelen).

Besparing op het specifieke watergebruik binnen industriële productieprocessen kan dus zeer lonend zijn, een ware

lust voor het financiële management. Een zeer interessante mogelijkheid om dit te bewerkstelligen is het toepassen van meervoudig watergebruik waarbij het proces water, al of niet gezuiverd, opnieuw wordt ingezet in het productieproces. Indien bij meervoudig watergebruik een kwaliteitsverbetering van het proceswater is vereist, is adequate zuivering onontbeerlijk.

### **Zuivering van Afvalwater**

Afvalwater is een eigenaardig begrip dat bestaat uit 2 delen: 'afval' en 'water'. Het zuivere water is uiteraard niet van chemische samenstelling en/of fysische eigenschappen veranderd. Door de genoemde eigenschappen van water zijn echter zeer veel reststoffen die zijn gebruikt bij het productieproces en/of die niet in het eindproduct zijn terechtgekomen opgelost in het proceswater. De opgeloste en zwevende niet-opgeloste bestanddelen bepalen volledig de eigenschappen van het vrijkomende water. Het water met afvalstoffen, ofwel afvalwater, dient voor hergebruik of lozing geschoond te worden van de vervuilende bestanddelen tot een wettelijk afgesproken waarde, de zgn. lozingseisen.

Het zuiveren van afvalwater kan op vele manieren gebeuren. In het algemeen wordt gebruikt gemaakt van een combinatie van biologische en fysisch-chemische zuiveringsmethoden. In onderstaand schema (Figuur 2) is een klassieke zuivering voor rioolwater met zijn functionele eenheden gepresenteerd.

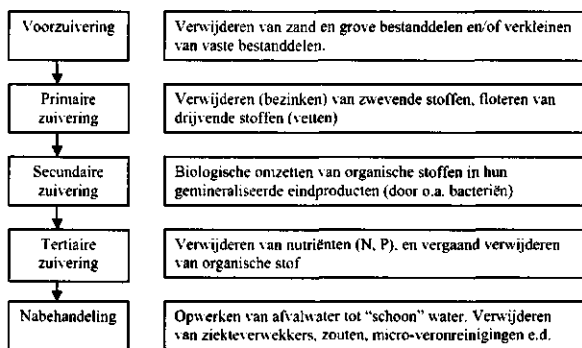


Fig. 3. Schematische voorstelling van conventionele rioolwaterzuivering.

Hoewel een eenduidig begrip, is afvalwaterzuivering een vakgebied waarbij inzicht in diverse technische en natuurwetenschappelijke achtergronden onontbeerlijk is. Afhankelijk van de reikwijdte van de betrokken specialist hebben we te maken met procestechnologen, civiel technici, gezondheidstechnici, microbiologen, milieudeskundigen om de belangrijkste te noemen. Een zeer uitdagende en interdisciplinair werkveld; een waar lusthof!

Afvalwater kan worden geschoond van elke vorm van vervuiling om uiteindelijk als zuiver drinkwater te worden hergebruikt voor humane consumptie. Op enkele plaatsen in de wereld is of wordt deze kortsluiting opzettelijk geïnstalleerd en is de bestaande rioolwaterzuivering gecompliceerd met een drinkwater installatie. In Windhoek, Namibië, is een conventionele rioolwaterzuiveringsinstallatie gekoppeld aan een complete zuiveringstrein voor het opwerken naar drinkwater. Tijdens een bezoek aan een bar wordt geen biertje gekocht maar geleend! Ook Singapore,

dat een volledige onafhankelijkheid wil van de wateraanvoer uit Maleisië is bezig om het stedelijke afvalwater om te zetten in drinkwater, meervoudig watergebruik ten voeten uit. Het mag duidelijk zijn dat bij dergelijke projecten de psycho-emotionele barrière een belangrijke hobbel kan zijn, wat participatie van gebruikers in een pril stadium noodzakelijk maakt. In Nederland bestaan dergelijke kortsluitingen (nog) niet, alhoewel we niet moeten vergeten dat het water dat Amsterdam Zuid-Oost drinkt, reeds een Duits lichaam heeft gepasseerd. Aber, das macht kein "Flaus aus", nur das Geschmack is wichtig!.

Het verwijderen van opgeloste en zwevende bestanddelen uit afvalwater is technologisch een makkelijk op te lossen probleem. Haal de snelheid uit het water in een bezinker en een groot deel van de zwevende bestanddelen zijn verwijderd. Plaats er een membraanfilter achter en het rendement wordt verhoogd. Voor elke vorm van vervuiling bestaat wel een technologische oplossing. De uitdaging binnen de milieutechnologie is het zoeken naar, en ontwikkelen van, technologieën die echt probleemoplossend zijn en dus geen negatieve nevenaspecten introduceren die het probleem alleen verleggen, b.v. naar een andere gebruiker of een andere belanghebbende (stakeholder). De reeds genoemde membraantechnologie is in feite louter een scheidingstechnologie die een schone én een geconcentreerde stroom maakt uit een afvalwaterstroom. En waarheen te gaan met een dergelijke zoute, geconcentreerde brei? Het milieuprobleem is nog niet opgelost maar lokaal is al wel een schone stroom geproduceerd. Andere milieutechnologieën, zoals flocculatie en bezinking zijn afhankelijk van grote hoeveelheden chemicaliën waarbij de ontstane reststroom bestaat uit chemische vervuild slib. De kosten voor de reststroom-

behandeling zijn doorgaans van doorslaggevende betekenis voor de duurzaamheid van het systeem. Het afvalwaterprobleem wordt echter pas echt een probleem indien financiële randvoorwaarden beperkingen oplegt aan de aan te wenden technologie of aan de behandeling van reststromen uit de zuivering.

Tot mijn grote verbazing nam ik kennis van het voorstel van de Mexicaanse onderzoekster Jiménez (2005; Jiménez et al., 2001) om het afvalwater van Mexicostad te zuiveren met de genoemde flocculatietechniek, de zogenaamde “advanced primary treatment (APT)”, ten einde het gezuiverde water te hergebruiken als irrigatiewater in de landbouw. U kunt zich voorstellen dat de hoeveelheid chemicaliën om de 16.5 miljoen m<sup>3</sup> afvalwater per dag te zuiveren enorm is. Een kleine rekensom gaf de volgende dagelijks benodigde hoeveelheden:

- 825 ton Fe<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub> óf
- 1650 ton Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·14H<sub>2</sub>O óf
- 4125 ton Ca(OH)<sub>2</sub>

En dit gecombineerd met 6.6 ton aan anionische poly-electrolyten. Afgezien van de kosten van de chemicaliën zal het gecreëerde probleem een directe bedreiging voor het milieu vormen aangezien het geproduceerde slib zich niet leent voor agrarisch hergebruik.

Ze is echter een vooraanstaande wetenschapster en het betreft een serieus voorstel.

Een milieuprobleem dient integraal te worden aangepakt waarbij technologiekeuze in overeenstemming is met de heersende sociaal-economische condities en ingebed is in een zgn. totaalconcept, waarbij er geen sprake meer is van probleemverplaatsing. Helaas is bij veel milieutechnologi-



sche oplossingen het tegendeel waar of wordt maar ten dele een oplossing geboden. Het bovenstaande voorbeeld uit Mexico spreekt boekdelen. Zeer verwonderlijk is dat geen lering wordt getrokken uit ervaringen elders. Ook een Cali, Colombia is een aantal jaren geleden gekozen voor een systeem zoals in Mexico. Na 1 jaar bedrijfsvoering werden de bedrijfskosten te hoog en zijn ze gestopt met het doseren van chemicaliën. De zuivering haalt niet meer dan 35-40% rendement wat in geen verhouding staat met de gedane investeringen. Bij dergelijk projecten spelen andere belangen dan duurzaamheidsconcepten een veel belangrijkere rol. In het geval van Cali, Colombia, werd de zuivering aangeboden door de Japanse overheid, waarbij de keuzevrijheid van de Colombianen te betwijfelen valt. Een kwestie van slikken of stikken. Gelijksoortige voorbeelden zijn overal te vinden. De zuivering van de stad Amman, Jordanië vond jarenlang plaats in een zeer slecht ontworpen vijversysteem. Het vijversysteem was zwaar overbelast en verspreidde een ondraaglijke stank voor de omwonenden. Na vele jaren klagen werd er met behulp van USAID een chemische gaswasser bij de ingang van het vijversysteem neergezet. Tesamen met het plaatsen van oppervlaktebeluchters een investering van 12 miljoen dollar. De feestelijke opening van de USAID oplossing haalde TV en krant. Een kritische noot naar de pers van een van onze studenten die voor zijn stage in Amman was, Dr. Jaap Vogelaar, werd echter niet op prijs gesteld. Eén maand na de feestelijke opening van de installatie waren de Jordaanse autoriteiten gestopt met de zuivering gezien de zeer hoge bedrijfskosten. Wederom, slikken of stikken. Momenteel wordt er voor zo'n 200 miljoen dollar een nieuwe installatie gebouwd van het type actief slib, een energie-vretende technologie die in een warm land zonder eigen energiebronnen tot mislukken is ge-

doemd. En dan te bedenken dat een anaërobe zuivering **makkelijk 2.5 MW** aan energie uit het afvalwater van Amman kan halen. Het rioolwater is in het Midden Oosten namelijk 2-4 maal geconcentreerder dan in Nederland. Dergelijke ervaringen kunnen zeer frustrerend zijn, echter voor mij voeden ze juist mijn motivatie om door te gaan met bewustwordingsactiviteiten en toegepast onderzoek naar meer duurzame zuiveringstechnieken. Ik was daarom zeer verheugd te vernemen dat ons capaciteitsopbouw project in het Midden Oosten onlangs is genomineerd als een van de meest succesvolle projecten op dit gebied door de Academy of Science for the Developing World een UN gerelateerde organisatie. Een van onze nieuwe promovendi, Dr. Maha Hallalshah heeft onlangs in Italië ons project mogen presenteren voor een jury.

### **Waarom die anaërobe zuiveringstechnologie?**

Verwijdering van organisch materiaal uit afvalwater vindt normaliter plaats door middel van bacteriën, de zgn. biologische zuivering. Iedereen kent wel de alom bekende communale zuiveringen die in Nederland het rioolwater behandelen. In deze zuiveringen wordt lucht in de zuiveringseenheden gebracht waarbij de bacteriën het aanwezige zuurstof gebruiken als terminale elektronen-acceptor. De organische vervuiling wordt omgezet in water en kooldioxide. De energiekosten voor dit proces bedragen ruwweg 0.5-1 kWh om 1 kg organische stof te verwijderen. Zo verbruikt een papierfabriek, zoals hier in Renkum, per dag zo'n 40.000 kWh voor de aërobe zuivering; bij een industriële prijs van 9 ct/kWh komt dit overeen met zo'n € 3.500/dag. Daarnaast wordt maximaal zo'n 20 ton zuiveringsslib ge-

produceerd dat verder moet worden verwerkt. Een volledig achterhaald systeem dat niet echt bijdraagt aan duurzame oplossingen.

Een bijzonder plek binnen de biologische zuiveringsprocessen wordt ingenomen door de anaërobe zuivering. Een natuurlijk mineralisatieproces waarbij onder zuurstofloze condities organisch materiaal wordt omgezet in volledig gereduceerd en volledig geoxideerd koolstof: methaan en kooldioxide. De anaërobe bacteriën gebruiken geen zuurstof als terminale elektronen-acceptor maar het koolstof zelf, waardoor er geen lucht in de zuiveringsreactoren hoeft te worden gebracht. Er wordt dus geen energie, geen fossiele brandstof gebruikt voor het zuiveringsproces. De energie-inhoud van het organische materiaal komt uiteindelijk terecht in het gereduceerde eindproduct, methaan, dat door zijn gasvormigheid zonder enige moeite de zuiveringsreactor verlaat. Een energieproducerend zuiveringssysteem! Indien dezelfde papierfabriek de anaërobe zuiveringstechnologie zou toepassen zou er per dag zo'n 10.000 m<sup>3</sup> methaan worden geproduceerd met een theoretische energetische waarde van 40 GJ/dag en realistische elektrische opbrengst van 41.500 kWh per dag, gebaseerd op 38% rendement (m.b.v. een warmtekrachtkoppeling gasmotor). De netto energiewinst bij gebruik van de anaërobe zuiveringstechnologie i.p.v. de conventionele aërobe actiefslibinstallaties bedraagt dan meer dan 80.000 kWh per dag. Het behoeft geen betoog dat een dergelijke energieopbrengst in het bijzonder voor ontwikkelingslanden van groot belang is bij systeemkeuze voor de toe te passen milieutechnologie.

Onder de bezielende leiding van Prof. Gatze Lettinga is in de afgelopen decennia veel onderzoek verricht naar de fun-

damentele achtergronden en de toepasbaarheid van de anaërobe zuivering. Door zijn enorme drive en overtuigingskracht is de anaërobe zuivering uitgegroeid van een lelijk eendje naar een volwassen zuiveringstechnologie die wereldwijd wordt vermarkt. Een recente telling laat meer dan 2000 geregistreerde reactoren zien bij diverse bedrijfsrakken (Fig. 4, Van Lier, 2006). Een bijzondere verdienste waarvoor prof. Lettinga in 2000, meer dan terecht, de Koninklijke Shell Prijs mocht ontvangen.

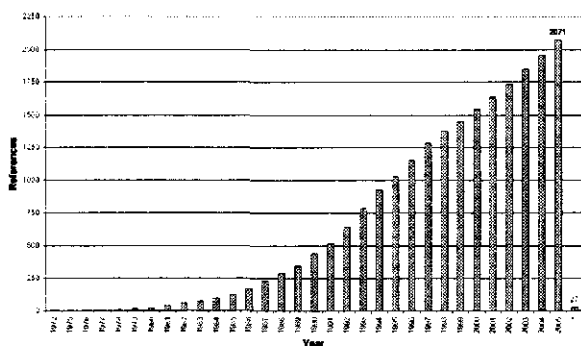


Fig. 4. Cumulatief aantal geïnstalleerde anaerobe praktijschaal reactoren voor industriële afvalwaterzuivering (census januari 2006).

Hoewel anaërobe levensvormen tot de oudsten van deze aarde behoren, zo niet de oudsten van deze aarde zijn, is toepassing van anaërobe bioconversies in de milieutechnologie niet vanzelfsprekend. Anaërobe micro-organismen zijn zeer langzame groeiers. Dit komt doordat er maar zeer weinig energie kan worden gewonnen uit de reacties waarbij  $\text{CH}_4$  wordt geproduceerd. Daarbij is de groeiofbrengst, dat wil zeggen de hoeveelheid nieuwe biomassa die ontstaat

bij de omzetting van een bepaalde hoeveelheid organische stof, bijzonder laag. Het ontwerp van een zuiverings-systeem, gebaseerd op de groeisnelheid van anaërobe of methanogene micro-organismen is daarom een heilloze weg. De grote truc bij de anaërobe zuivering van organisch vervuild afvalwater is het selectief ophopen van nuttige en actieve biomassa in de reactor. In de afgelopen decennia heeft de anaërobe zuivering zich ontwikkeld van een laag belast proces dat afhankelijk is van de groei van anaërobe micro-organismen, naar een systeem dat zeer hoge belastingen aan kan met geïmmobiliseerde biomassa zoals geïllustreerd in volgend schema (Figuur 3).

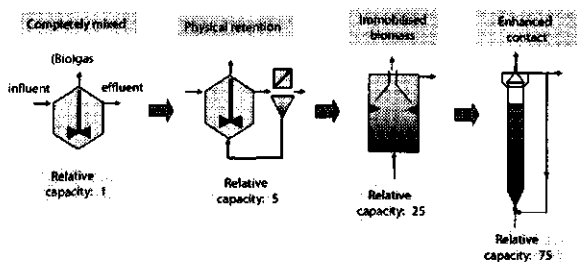


Fig. 5. Ontwikkeling van hoogbelaste anaërobe zuiveringssystemen.

Door de inspanningen van Lettinga en de zijnen is Nederland onbetwist koploper in het vermarkten van deze technologie. De zgn. super "high-rate" reactoren zoals de expanded granular sludge bed (EGSB) en internal circulation (IC<sup>®</sup>) zijn ver doorontwikkeld en worden momenteel door de bedrijven Biothane en Paques zelfs meer verkocht

dan de conventionele upflow anaerobic sludge bed (UASB) systemen (Fig. 6). Beide bedrijven hebben min of meer dezelfde ontwikkeling doorgemaakt waarbij de super "high-rate" reactoren belastingen halen die zo'n 10x hoger liggen dan de conventionele energiekostende actiefslibsystemen.

Uiteindelijk blijken de lage groeisnelheden en lage groeiopbrengsten een van de grote voordelen te zijn van de anaërobe bioreactoren. Immers, in vergelijking met de hoogbelaste actiefslibinstallaties wordt er 90% minder spuislib geproduceerd en kunnen er 90% kleinere reactoren worden gebruikt. Het is onbegrijpelijk dat het gebruik van conventionele actiefslibinstallaties nog steeds wordt gepropageerd.

### *Mooi, we zijn klaar met anaërobie. Of toch niet?*

Door de politiek-financiële druk wordt de efficiëntie in industrieel watergebruik steeds hoger. Reststromen worden logischerwijs steeds geconcentreerder en worden gekarakteriseerd door extreme waarden ten aanzien van temperatuur, zoutconcentraties, toxische stoffen, zuurgraadwaarden, etc. De grote uitdaging binnen de anaërobe zuiveringstechnologie voor industrieel afval- en proceswater ligt in het verder uitbreiden van het toepassingspotentieel, met name voor toepassing onder de zojuist genoemde extreme condities. Praktijkervaringen en laboratorium experimenten tot dusver laten zien dat slibretentie, d.w.z. het terughouden van de actieve biomassa, wordt bemoeilijkt door extreme omstandigheden. Een braakliggend terrein waarbinnen nog veel onderzoek moet gebeuren.

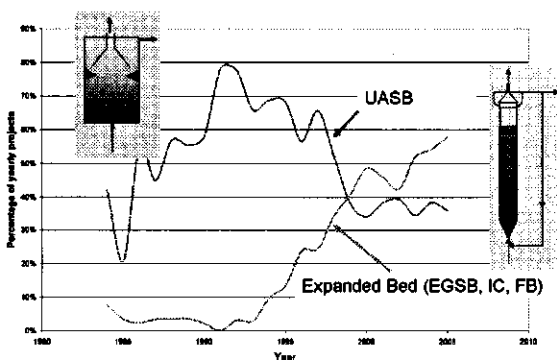


Fig. 6. Percentage verkochte UASB en EGSB projecten (census, januari 2006).

Het terughouden van de juiste bacteriën en andere micro-organismen is in het algemeen een kwestie van de juiste selectiecriteria aanleggen en het uitspoelen van die micro-organismen die je niet nodig hebt. In veel gevallen is het toepassen van een verdunningsnelheid, of voedingsdebiet, naar de reactor die hoger is dan de groeisnelheid van de benodigde micro-organismen al voldoende voor de benodigde selectie (Van Loosdrecht et al., 2002). Willen micro-organismen zich kunnen manifesteren onder deze omstandigheden dan zijn ze wel genoodzaakt te hechten aan een ondergrond of aan elkaar. Vreemd genoeg heeft bij hoge temperaturen en/of hoge zoutconcentraties deze aanpak echter nog niet geleid tot het gewenste succes. Mogelijk spelen bij immobilisatie onder extreme condities andere factoren een meer doorslaggevende rol of zijn simpelweg nog niet de juiste entmaterialen gebruikt.

Zo is in de literatuur bekend dat hoge omgevingstempera-

turen leiden tot een lagere hoeveelheid aan exopolymeren, zoals suikers en eiwitten, in biofilms en bacteriële aggregaten (Quarmby and Forster, 1995; Schmidt and Ahring, 1994). Deze exopolymeren stabiliseren de biofilms en functioneren in feite als plakmiddelen tussen de microorganismen (Yong Qiang Liu et. al, 2004). Ook hoge zoutconcentraties hebben een negatief effect op de productie van deze exopolymeren (Roblot et al., 1995) wat zou betekenen dat er een fysiologische limitatie ligt in de vorming van zout-tolerante biofilms. Daarnaast zijn er mogelijk puur chemische effecten waarbij hoge natriumconcentraties de stabiliserende meerwaardige kationen uit de biofilmstructuur drukken en zodanig het geheel verzwakken. Aan de andere kant is het vóórkomen van biofilms in mariene milieus een normaal verschijnsel.

In het kader van mijn leerstoel zal in de komende jaren nader onderzoek worden verricht naar factoren en omstandigheden die bacteriële aggregaten destabiliseren en juist stabiliseren bij hoge zoutconcentraties. De eerste stap is het selecteren van methanogene bacteriepopulaties die toepasbaar zijn in de anaërobe afvalwaterzuivering en die goed gedijen in zoute milieus. Recent hebben we een dergelijk entmateriaal gevonden en aangetoond dat zelfs bij 20 g Na<sup>+</sup>/l (meer dan zeewater) de methaanvormingssnelheid maar beperkt wordt geremd.

Nader onderzoek naar de stabiliteit van bacterieaggregaten of slibkorrels onder extreme condities is van groot belang om in de nabije toekomst de ontwikkelde anaërobe zuiveringstechnologieën toepasbaar te kunnen maken in gesloten industriële waterkringlopen en om zo ook bij moeilijke afvalwaters een duurzaam en kosten-effectief alternatief te



kunnen bieden. Dat laatste is van groot belang voor ontwikkelingslanden en landen in transitie die nu en in de komende tijd de juiste keuzes moeten maken voor de te implementeren zuiveringstechnologie en voor wie de oplopende energiekosten ernstige beperkingen vormen. Voor hen de tijd om de vruchten te plukken van de Wageningse ontwikkeling.

Indien slibimmobilisatie echter om een of andere reden niet op bevredigende wijze verloopt, bestaat nog altijd de mogelijkheden om de specifieke organismen m.b.v. scheidingsmembranen binnen de reactor te houden. Op dit moment doen we onderzoek naar de haalbaarheid van anaërobe membraan bioreactoren (MBRs) in het PhD onderzoek van David Jeison (o.a. Jeison and van Lier, 2006). David heeft inmiddels aangetoond dat hoge temperatuur MBR systemen hoge potenties hebben en afhankelijk van de exacte uitvoering competitief in de markt zijn. In de laatste periode van zijn onderzoek probeert David de systeemkosten nog verder omlaag te brengen door meer efficiënt gebruik te maken van de ontwikkelde koeklaag op de membranen.

Naast de potenties voor bulkverwijdering van organisch materiaal en productie van methaangas in een gesloten kringloop dient ook gewezen te worden op de reducerende condities in een anaërobe reactor die noodzakelijk zijn om specifieke vervuilende stoffen te kunnen omzetten zoals azo-verbindingen, polynitro verbindingen en meervoudig gehalogeneerde verbindingen. Ook hierbij geldt de vraag in hoeverre dergelijke afbraakroutes mogelijk zijn onder de geschetste extreme condities. We hebben onlangs, middels het PhD onderzoek van Andre dos Santos, wel aangetoond dat thermofiele omstandigheden tot snellere ontkleuring leidt van textielafvalwater (Dos Santos et al., 2006). De waarge-

nomen versnelling was hoger dan we konden verklaren op louter fysisch-chemische temperatuur effecten. Mogelijk leiden de hogere metabole conversies en de verhoogde slibmineralisatiesnelheid onder extreme condities tot een verhoogde concentratie aan autogegeneerde redoxmediatoren, zoals riboflavines en vitamines, waardoor de ontkleuringsstap, d.w.z. de reductie van de geoxideerde azoverbinding, vele malen sneller gaat. In tegenstelling tot de normale procestemperatuur was onder thermofiele condities geen additionele redoxmediator nodig wat leidt tot een verlaging van de bedrijfsvoeringskosten en dus tot een lagere drempel om de zuiveringstechnologie toe te passen. Aangezien de meest verontreinigde deelstroom van de textielindustrie bij hoge temperaturen wordt geloosd, biedt de ontwikkelde methode zeer interessante mogelijkheden om tegen lage kosten ontcleuring te bewerkstelligen. Ontcleurd water kan dan weer in principe worden hergebruikt in het verfbad zonder toevoeging van grote hoeveelheden energie.

### **Afvalwater in de agro-productieketen en de rol van de anaërobe technologie**

Gaat de voorafgaande uiteenzetting over afvalwaterzuivering en hergebruik binnen één en dezelfde gebruiker, d.w.z. een specifieke industrie, bij huishoudelijk afvalwater hebben we veelal te maken met meerdere, opeenvolgende gebruikers; een veel complexere materie.

Al of niet gezuiverd of gedeeltelijk gezuiverd afvalwater wordt op grote schaal gebruikt in de geïrrigeerde landbouw. Huidige schattingen geven aan dat meer dan 10% van de wereldbevolking voedsel consumeert dat met afvalwater is geïrrigeerd (Smit and Nasr, 1992), afkomstig van meer dan 20 miljoen

ha landbouwgrond in 50 landen (van der Hoek, 2004; Hussain et al., 2001). Daarnaast wordt huishoudelijk afvalwater en humane excreta, zeg maar mensendoep, op grote schaal gebruikt in de urbane landbouw. De opbrengst van de urbane landbouw is in veel steden de belangrijkste voedselbron. In Dakar, Senegal wordt meer dan 60% van de groenten verbouwd in de stad zelf terwijl dit percentage in Accra, Ghana nog hoger ligt. Het grote voordeel van de urbane landbouw zijn de korte aanvoerlijnen, d.w.z. de producten komen vers op de markt, en het geeft een belangrijke bestaansvoorziening voor arbeidsloze stedelingen. Overheden kunnen echter moeilijk met urbane landbouw omgaan en staan er met zeer gemengde gevoelens tegenover. Officieel wordt het genegeerd of zelfs afgekeurd maar officieus wordt de stad er door gevoed. Feitelijk bestaat er een zeer grote discrepantie tussen de praktijk en de politieke wenselijkheid. Zorg voor hygiëne en voedselveiligheid zijn uiteraard de grote zorgpunten bij het gebruik van afvalwater in de landbouw. Echter, in de meeste ontwikkelingslanden is er geen geld en ontbreekt het institutionele raamwerk voor adequate planning, regulering & naleving, en de bouw van de benodigde zuiveringsinstallaties. In Azië en Latijns-Amerika wordt maar respectievelijk 35% en 14% van het stedelijke afvalwater gezuiverd (WHO/Unicef, 2000). In Afrika ligt dit percentage nog lager. Gelet op de bemestende waarde van rioolwater en de continue beschikbaarheid hiervan, is stedelijk afvalwater echter een ideale bron voor de geïrrigeerde landbouw. Indien gebruik voor irrigatie het alternatief is voor lozing op het oppervlaktewater, is agrarische hergebruik in feite zelfs een effectieve manier om milieu en gezondheidsproblemen benedenstrooms van de stad te voorkomen (Carr, 2005).

In het begin van mijn betoog heb ik gewezen op de teruglopende zoetwater voorraden in de droge gebieden (Noord

Afrika, Midden Oosten, Centraal Azië) en de beperkingen die dit geven voor de lokale ontwikkeling. De zekerheid van stedelijk afvalwater in de urbane gebieden hebben in diverse landen al geleid tot het opnemen van rioolwater als alternatieve waterbron in het officiële regeringsbeleid. Zo wordt in Jordanië al 70% van het gezuiverde rioolwater hergebruikt en is het officiële beleid er op gericht dit percentage te verhogen en het aantal zuiveringen uit te breiden. Het is daarom hoogst eigenaardig dat de informatievoorziening tussen de diverse instituten en de uiteindelijke gebruikers van het afvalwater maar nauwelijks plaatsvindt. Boeren in de Jordaan vallei blijken absoluut niet op de hoogte te zijn van de samenstelling van het gezuiverde afvalwater en doseren meststoffen alsof ze te maken hebben met zuiver bronwater. In de afgelopen jaren hebben we in nauwe samenwerking met Dr. Frans Huibers van Irrigatie en Water Engineering diverse projecten uitgevoerd naar het toepassen van al of niet gezuiverd rioolwater in de geïrrigeerde landbouw. Studies uit Jordanië laten zien dat boeren per gewas per seizoen tot ? 2000 zouden kunnen besparen, indien ze zouden afzien van kunstmest en louter de meststoffen van het rioolwater zouden gebruiken (Duqqah, 2002). In veel gevallen dekt de hoeveelheid aanwezige meststoffen volledig de agrarische behoefte. Gebrek in deze informatie-uitwisseling leidt bovendien tot ernstige milieuproblemen. Ongecontroleerde hoeveelheden stikstof die met het rioolwater worden aangevoerd, aangevuld met excessieve hoeveelheden kunstmest hebben inmiddels tot gevaarlijk hoge nitraatconcentraties in het grondwater geleid.

Bepaalt binnen de *industriële setting* de gebruiker van het afvalwater de mate van zuivering, bij *agrarisch hergebruik* van stedelijk afvalwater ligt het volledig anders. Bij toepas-

sing van stedelijke zuiveringen wordt er nauwelijks gelet op wat er in het veld nodig is. Bovendien wisselt het water van eigenaar, waarbij de diverse instanties beslag leggen op een deel van de waterketen, afgeschermd door wetten, beperkingen, belastingen en toeslagen; een zeer complex geheel.

De grote uitdaging voor de komende jaren is het direct koppelen van de afvalwaterzuivering met de afnemer in het veld waarbij de uiteindelijke gebruiker de kwaliteit en, tot op zekere hoogte, de beschikbaarheid van het gezuiverde water bepaalt (van Lier and Huibers, 2004). Ik ben ervan overtuigd dat compacte anaërobe zuiveringen een cruciale rol gaan spelen in de bereiding van stedelijk en huishoudelijk afvalwater ten behoeve van de volgende gebruiker in de waterketen.

*Graag wil ik deze noodzakelijke koppeling met wat voorbeelden nader toelichten:*

*1. Meststoffen (N, P) verwijderen en/of vernietigen?*

Het is evident dat het met hoge kosten vernietigen van meststoffen in de zuivering, die vervolgens broodnodig zijn in het veld, te allen tijde voorkomen moet worden. Een directe koppeling draagt daarom bij aan een kosten-effectieve optimalisatie van het zuiveringsproces. Lage kosten zijn weer nodig voor een snel en breed ingevoerde toepassing. Wat betreft de meststoffen stikstof, fosfaat en kalium ligt een noodzakelijke milieutechnologische innovatie in de juiste afstemming van bijvoorbeeld de stikstofdosering naar het veld, al of niet afhankelijk van het groeiseizoen en type gewas. Momenteel onderzoekt Ghada Kassab uit Jordanië de gecombineerde verwijdering van koolstof en stikstof in een gemodificeerde anaërobe opstroom reactor waarbij het

gezuiverde effluent na oxidatie weer gedeeltelijk wordt teruggevoerd naar de anaërobe reactor (Kassab et al, 2005). Toekomstig onderzoek zou gebruik kunnen maken van bacteriepopulaties die in staat zijn om het anaëroob geproduceerde methaan als electronendonor te kunnen gebruiken voor de partiële en/of periodieke verwijdering van stikstof (Raghoebarsing et al., 2006).



Fig. 7. Gebruik van al of niet gezuiverd stedelijke afvalwater in de geïrrigeerde landbouw; Links: Amman, Jordanië (Huibers, 2003); Rechts Sana'a, Jemen.

## *2. Pathogene organismen volledig verwijderen? En tot welke prijs?*

De landbouw is een effectieve langzame zandfilter die dienst kan doen als tertiaire zuiveringstap indien de run-off en/of het percolatiewater naar het oppervlaktewater en/of het grondwater stroomt. Indien het toegevoerde irrigatiewater in evenwicht is met de evapotranspiratie of verdamping, resten de gezondheidsrisico's voor boer, gewashandelaar, mensen in de buurt van het landbouwveld, en de consument. Westerse landen, met de Verenigde Staten en Israel voorop, hebben de neiging tot het instellen van steeds stringenter eisen op basis van risicoanalyses zonder epidemiologisch bewijs. Geeft de WHO richtlijnen voor hergebruik van  $10^3 - 10^4$  fecale coli vormende eenheden per 100 ml,

Israel en VS zitten hier momenteel een factor 1000 onder. Deze zeer strikte eisen hebben meer te maken met de heersende jurisprudentie en het niet willen nemen van verantwoordelijkheden dan met werkelijke bedreigingen voor de volksgezondheid. Immers, er lag geen epidemiologische noodzaak tot het aanscherpen van de normen. Het steriliseren van de maatschappij kan op de lange termijn zelfs een negatieve invloed hebben op de immunologische weerstand van de humane populatie zelf. Af en toe een gematigde besmetting draagt op de lange termijn juist bij aan een verhoogde afweer..... Echter onze Westerse maatschappijen accepteren niet dat de zwakkeren binnen de maatschappij (ouderen, kleine kinderen, zieken) een verhoogd risico lopen waardoor de zuiveringscriteria steeds strenger worden. De keerzijde van de medaille is dat de zeer strenge eisen voor pathogene organismen in het gezuiverde effluent tot zeer hoge kosten leiden bij de afvalwaterzuivering. Kosten die voor de meeste landen niet te dragen zijn. Zo kost het risico dat 1 persoon Hepatitis A oploopt in de Verenigde Staten zo'n 3-30 miljoen US \$ aan zuiveringslasten (Shuval et al., 1997); kosten die in geen verhouding staan met de behandelingskosten van de patiënt. Zeer strenge eisen van de ene kant en het ontbreken van financiële middelen aan de andere kant, leiden tot een patstelling waarbij er niets op zuiveringsgebied gebeurt en boeren illegaal hun irrigatiewater middels een dompelpomp aan het riool onttrekken (van Lier and Huibers, 2004). Het gevolg is een oncontroleerbare situatie van gedogen waarbij gezondheidsrisico's maar voor lief worden genomen. Het realistisch hanteren van zuiveringcriteria in overeenstemming met de heersende sociaal-economische situatie zou al een doorbraak kunnen betekenen in een geïntegreerd 'zuivering-hergebruik' scenario. De andere doorbraak is afhanke-

lijk van de ontwikkeling van kosten-effectieve technologieën die voldoen aan de overeengekomen criteria.

Wat betreft dit laatste dient een analyse gemaakt te worden van de absoluut te verwijderen pathogene organismen in een geïntegreerd 'zuivering-hergebruik' concept op een bepaalde locatie. Een belangrijke reden om in het eerder genoemde Mexicaanse voorbeeld chemische (voor)zuivering toe te passen is de gewenste verwijdering van wormeieren uit het rioolwater. Het gezuiverde water wordt namelijk op grootschalige wijze gebruikt als irrigatiewater in de Mezquita vallei. Wormeieren zijn zeer persistent en moeilijk vernietigbaar. In het menselijk lichaam groeien de eieren uit tot spoelwormen, lintwormen, haakwormen, en zweepwormen die ernstige ziektes veroorzaken. Het is daarom van groot belang om bij rioolwaterhergebruik de pathogene wormen cyclus te onderbreken. De wormeieren zijn relatief groot (20-80  $\mu\text{m}$ ) en daardoor, mogelijk door middel van eenvoudige fysische scheiding, verwijderbaar. De anaërobe technologie met een filterend slibbed biedt, in principe, zeer interessante mogelijkheden om op een zeer goedkope wijze de verwijdering van wormeieren te bewerkstelligen, zonder gebruik te maken van chemicaliën of fossiele brandstoffen. Het ligt in de bedoeling om hier komende jaren nader onderzoek naar te verrichten. Naast wormeieren zijn er nog diverse andere pathogene organismen, die, afhankelijk van de toepassing en de sociaal-economische condities, verwijderd dienen te worden. Nieuwe, technologieën zoals ultrasone desinfectie, electro-chemische desinfectie met lage voltages bieden zeer interessante mogelijkheden voor toepassing. De benodigde electriciteit kan worden opgewekt uit zonne-energie of uit het verschil in redoxpotentiaal tussen de anaërobe voorzuivering en de



aërobe nazuivering, conform het principe van de biologische brandstofcel. Momenteel is er nog té weinig bekend over de exacte werking van de genoemde desinfectietechnieken en welke effecten ze hebben op de kwaliteit van het te zuiveren rioolwater. Uitdagingen voor de komende jaren en interessante mogelijkheden voor het thema "Schoon Water Technologie" in het Technologische Topinstituut (TTI) Water!

Echter, in een geïntegreerde aanpak binnen het 'zuivering-hergebruik' concept zijn er naast de zuivering zelf ook nog diverse andere interventiemomenten om te voorkomen dat pathogene organismen bij de consument, de omwonenden en/of de boeren komen, zoals:

- Voorlichting aan de boeren: hoe om te gaan met besmet water.
- Het selecteren van de meest geschikte gewassen: bijvoorbeeld industriële gewassen, gewassen die eerst worden gekookt.
- Toepassen van discontinue desinfectie tijdens de opslag van het gezuiverde water in het irrigatiebassin.
- Toe te passen wijze van irrigeren: (subsurface)drip irrigatie, sprinklers, oppervlaktebevoeiing.
- Gewijzigde sanitatieconcepten waarbij zwart en grijs water worden gescheiden. Het grijze water kan met relatief eenvoudige technologieën worden opgewerkt tot irrigatiewater terwijl de vieze zwarte fractie, dat wil zeggen, het toilet water met al zijn meststoffen, ziekteverwekkers, organische restproducten, medicijnresten, etc. door middel van de anaërobe technologie kan worden verwerkt tot hoogwaardige meststof waarbij tevens energie wordt gewonnen.

Een geïntegreerde aanpak waarbij de diverse disciplines van de waterketen zijn betrokken en waarbij de laatste gebruiker de kwaliteit van het ontvangende water bepaalt, heeft enorme potenties om de kosten van meervoudig watergebruik tot het benodigde minimum te beperken. Naast het water zelf worden de diverse vervuilende bestanddelen als grondstof teruggewonnen en ingezet bij een opvolgende of externe gebruiker. Wordt meervoudig watergebruik op diverse plaatsen nog als "last" ervaren, hergebruik op de voorgestelde wijze zal uitgroeien tot een politiek-economische "lust" voor de diverse belanghebbenden. En zo zijn we weer terug bij de titel...

### **Tot slot.**

Komende van de universiteit Nijmegen werd ik tijdens mijn extern afstudeervak "waterzuivering" direct geboeid door de toepassingsmogelijkheden van het microbiologische proces. En na een stage in Colombia heb ik definitief besloten om me verder te verdiepen in alle facetten van de anaërobe zuivering, zowel op microbiologische als op technologische gebied. Na mijn afstuderen bood prof. Lettinga mij de gelegenheid verder onderzoek te verrichten naar de hoge-temperatuur-gisting wat ik met beide handen aangreep. Geboeid door de mogelijkheden van de anaërobe zuivering in ontwikkelingslanden ben ik vervolgens begonnen projecten op te zetten in het Midden Oosten: Palestina, Egypte, Jordanië, een gebied dat wordt gekenmerkt door een nijpend watertekort maar ook door grote milieuproblemen die mede worden veroorzaakt door vervuiling van oppervlaktewater en grondwater door de ongecontroleerde lozing van niet gezuiverd water. Het kortsluiten van afvalwa-

terzuivering en agrarisch hergebruik is een logische gedachtegang, maar, zoals we nu weten, stuit dit op veel problemen. Het vakgebied is echter uitermate boeiend!!

Voorafgaand en tijdens mijn academische loopbaan hebben een aantal personen een zeer belangrijke rol in mijn leven gespeeld die ik nu, aan het einde van mijn rede, graag wil bedanken. Het zal u duidelijk worden dat ik zonder deze mensen hier niet zou hebben gestaan.

Allereerst wil ik mijn moeder hartelijk bedanken voor de liefdevolle opvoeding thuis en voor de altijd durende steun die u gaf bij alles wat ik deed. Tot mijn spijt ben ik echter ook gaan studeren zoals mijn 4 broers, waardoor er niemand bleef wonen in Reuver. Ik ben er overigens van overtuigd dat mocht u dochters gehad zou hebben, ook deze zouden zijn gaan studeren... Mijn verhuizing 5 jaar geleden naar het Zuiden heeft er in ieder geval toe geleid dat ik de taal weer vloeiend spreek.. Het doet mij pijn dat Pa hier niet meer bij kan zijn want ik weet dat hij hier van genoten zou hebben.

Uiteraard bedank ik Ivonne die avonden, weekenden en weken alleen heeft moeten doorbrengen met 3 kleine en inmiddels grote kinderen omdat ik zonodig het anaërobe geloof in Verwegistan moest verkondigen. Jouw steun en geduld bij alles wat ik zonder al te veel overleg deed waardeer ik ten zeerste. Nochtans kan ik niet beloven dat het vanaf nu een stuk rustiger wordt.....

Het meeste heb ik echter geleerd van mijn kinderen Luc, Lieveke en Janine. Vol verwondering kijk ik nog steeds naar de natuurlijke veelzijdigheid van individuen die toch met

een min of meer gelijk genenpakket zijn uitgerust. Vanaf de dag van de geboorte tot ver in de toekomst zorgen jullie voor de broodnodige relativering bij alles wat ik doe.

In mijn professionele carrière ben ik veel dank verschuldigd aan Gatze Lettinga. Gatze je hebt het vermogen om mensen naar waarde te schatten en zodanig te motiveren dat ze bergen verzetten zonder dat ze zich daarvan bewust zijn. Jouw vertrek liet een grote leegte achter bij de sectie. Echter, zoals je zelf al aangaf in jouw afscheidsrede "Ontbinding, lucht voor leven", was je vertrek noodzakelijk om de verdere ontwikkelingen binnen de sectie mogelijk te maken. Gatze en Dora, nu als "Pake en Beppe" van een steeds groter wordende familie, ik hoop dat ik nog lang van jullie mag horen!

Uiteraard bedank ik Wim Rulkens en Cees Buisman die mij de volle steun gaven bij de aanvraag van deze leerstoel. Graag wil ik het anaërobe erfgoed van de sectie gebruiken voor de ontwikkeling van milieutechnologieën die een sleutelrol spelen in productieve kringlopen. De wetenschap dat binnen het zojuist opgerichte Technologische Top Instituut zuivering en hergebruik een belangrijke rol speelt brengt veel kansen en mogelijkheden hiertoe.

De bedrijven Paques, Biothane, Royal Haskoning en Shell wil ik graag van harte bedanken voor het vertrouwen dat ze in mij stellen en de financiële middelen die ze ter beschikking stellen om deze leerstoel mogelijk te maken, Ronald, Bram, Henry en Hans, ik zie uit naar een prettige samenwerking en we zullen elkaar in de komende jaren nog vele malen ontmoeten.

Ook wil ik Fons Stams graag bedanken. Fons jij fungeerde als co-promotor bij mijn promotie en zorgde voor de microbiologische verdieping bij een technologisch onderwerp. Fons, jouw wetenschappelijke inzichten en wetenschappelijke behoedzaamheid, alsmede jouw goede smaak voor wijn en de Spaanse gastronomie hebben altijd een speciale aantrekkingskracht op mij gehad. Hombre, después este llo aquí nos vamos al señor Fernando Polanco para relajarnos y disfrutar la vida!!

Dank ben ik ook verschuldigd aan Frans Huibers die me de realiteit van waterhergebruik leerde en die me het belang van niet-technologische aspecten in de waterketen duidelijk maakte. Frans: gezien het ernstige watertekort in grote delen van de wereld enerzijds en de grote toename van rioolwater en vervuild oppervlaktewater anderszijds, ben ik ervan overtuigd dat agrarische gebruik van gezuiverd afvalwater een grote toekomst heeft. Ik hoop dat we op dit gebied nog veel kunnen samenwerken.

Een speciaal woord van dank gaat uit naar Marjo Lexmond die in de afgelopen jaren - en zeker nu - de spil van de Lettinga Associates Foundation (LeAF) is. Marjo, jouw inzet, werkwijze en logistieke doortastendheid, hebben er toe geleid dat LeAF een gezonde bedrijfsvoering heeft met louter enthousiaste medewerkers. Heel graag zet ik onze samenwerking in de komende jaren door.

Onmiskerbare dank gaat uit naar de vele PhD studenten, AIO's, en doctoraal studenten die het überhaupt hebben mogelijk gemaakt dat ik nu hier sta. Het is hun harde werken en doorzettingsvermogen die het mogelijk maken vage ideeën om te zetten in nuttig onderzoek.

Tenslotte dank ik mijn directe collega's van de sectie en van LeAF met wie ik al jaren prettig samenwerk en die voor een plezierige sfeer zorgen. Ik ben er trots op jullie collega te mogen zijn.

Aan het einde van mijn rede wil ik een ieder in de zaal van harte bedanken voor hun aanwezigheid en aandacht en nodig ik jullie graag uit om onder het genot van een glaasje water, of beter gezegd "verontreinigd water", nog wat verder van gedachten te wisselen.

Ik heb gezegd.

## Referenties:

- Carr, R. (2005). WHO guidelines for safe wastewater use – more than just numbers. *Irr. and Drain.*, 54: S103-S111.
- Dos Santos A.B., F.J. Cervantes and Lier J.B. van (2006). Potentials of high-temperature anaerobic treatment and redox mediators for the reductive decolourisation of azo dyes from textile wastewaters. *Wat. Sci. Technol.*, 54 (2): 151-156.
- Driver, J., Ijmbach D., Steen I. (1999). Why recover phosphorus for recycling, and how? *Env. Technol.* 20: 651-662.
- Duqqah, M.M. (2002). Treated sewage water use in irrigated agriculture. Theoretical design of farming systems in Siel Al Zarqa and the Middle Jordan Valley in Jordan. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands
- Henze, M. and Ledin, A. (2001). Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters. In: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (eds) *Decentralised Sanitation and Reuse; concepts, systems and implementation*. IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK, p. 57-72.
- Hoek, W. van der (2004). A framework for a global assessment of the extent of wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions. Technical Paper No. 51. World Bank: Washington DC.
- Hoekstra, A. and Chapagain A. (2005). De water-voetafdruk van de Nederlanders en de wereldbevolking. *H2O*, 4: 37-41.
- Huibers F.P. and van Lier J.B. (2005). Use of wastewater in agriculture: the water chain approach. *Irrigation and Drainage* 54: S3-S9.
- Hussain I., Raschid L, Hanjra M., Marikar F, Hoek W. van der (2001). A framework for analyzing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries. Working Paper 26, Int. Water Manag. Inst. (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 23.,

- Jeison, D. and Van Lier J.B. (2006). Cake layer formation in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) for wastewater treatment. *J. Membrane Sciences*, 284: 227-236.
- Jiménez (2004). Treatment technology and standards for agricultural wastewater reuse: A Case Study; *In: Proc. of ICID conference, special session "wastewater use in irrigated agriculture, the water chain approach"*, Moscow, September 9, 2004. Published in *Irrigation and Drainage* 54, Special issue, 2005.
- Jiménez, B., Chavez, A., Maya, C. and Jardines, L. (2001). Removal of microorganisms in different stages of wastewater treatment for Mexico City. *Wat.Sci.Technol.*, 43-10: 155-162.
- Kassab G., Alnaimat, H., Mateo-Sagast J., Klapwijk A., Van Lier J.B., and Fayyad M. (2005). Adjusting Nitrogen Concentrations to Agricultural Demand in a UASB Reactor for Sewage Treatment. *In: Proceedings VIII<sup>th</sup> Latin American Workshop on Anaerobic Digestion*, 2-5 October, Punta del Este, Uruguay., p. 141-146.
- Labohm H., Rozendaal S. en Thoenes D. (2004) *Man made global warning: unravelling a dogma*. Multi Sci. Publ. Company.
- Lier J.B. van (2006). Anaerobic industrial wastewater treatment; perspectives for closing water and resource cycles. *In: Proc. of AICHEM 2006, 28<sup>th</sup> Int. Exhibition Conference on Chemical Technology, Environmental Protection and Biotechnology*. May 15-19, 2006, Frankfurt, Germany, *Invited Key-note speaker*.
- Lier, J.B. van and Huibers F.P. (2004). Agricultural use of treated wastewater: the need for a paradigm shift in sanitation & treatment. *In: J. Steenvoorden, T. Endreny (eds.) Waste Water Re-use on Groundwater Quality IAHS Publ. 285, ISBN 1-901502-52-X*, p. 5-18.
- Liu, Y.-Q., Liu, Y. and Tay, J.-H. (2004). The effects of extracellular polymeric substances on the formation and stability of biogranules. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 65: 143-148
- Loosdrecht, M.C.M. van, Kreuk, M.K. de, Heijnen, J.J. (2002). Aerobic granular sludge formation. *In: Proc. Of Farewell Symposium of Dr.Ir. Look Hulshoff Pol*, Wageningen University, June 28, 2002,



- Wageningen, The Netherlands, p. 81-96.
- Milankovitch, M. (1930). *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. In: Köppen, W.; Geiger R. (Hrsg.): *Handbuch der Klimatologie*, Bd. 1: *Allgemeine Klimalehre*, Berlin: Borntraeger, 1930.
- Quarmby, J. and Forster, C.F. (1995). A Comparative-Study of the Structure of Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Granules. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(6), 493-498.
- Raghoebarsing, A.A., Pol, A., Pas-Schoonen K.T. van de, Smolders A.J.P., Ertwig K.F., Rijpstra, W.I.C., Schouren, S., Sinninghe Damsté, J.S., Camp H.J.M. op den, Jetten M.S.M. en Strous, M. (2006). A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification, *Nature*, 13 april 2006.
- Roblot, C., Séguin, J.-P., Barbotin, J.-N., Michaud, P., Courtois, J., Courtois, B. and Heyraud, A. (1995). Effects of salts on production and on *O*-acetylation of glucuronan excreted by the *Rhizbium melilot* M5N1CS strain. *Int. J. Biol. Macromol.*, 17-6: 365-368.
- Scheffer, M., Brovkin, V., and Cox, P. (2006). Positive feedback between global warming and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration inferred from past climate change. *Geophysical Research Letters*, vol. 33
- Schmidt, J.E. and Ahring, B.K. (1994). Extracellular Polymers in Granular Sludge from Different Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. *Appl. Microb. and Biotechnol.*, 42(2-3), 457-462.
- Shuval, H., Lampert Y. and Fatal, B. (1997). Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. *Wat.Sci.Technol*, 35(11-12), 15-20.
- Smit, J. and Nasr J. (1992). Urban agriculture for sustainable cities: using wastes and idle land and water bodies as resources. *Environm. and Urbanization*: 4(2): 141-152.
- Thoenes D, LabohmH. (2006). De klimaatcontroverse vergt inhoudelijk discussie. *SPIEL 229-230/ 2006* – nr. 5, 30-32.
- WHO/Unicef (2000). *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. World Health Organisation, United Nations Children's Fund: Geneva, pp 80.