Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Afdeling Watermanagement
Sectie Sanitary Engineering
Stevinweg 1, 2628 CN Delft
www.sanitaryengineering.tudelft.nl

De Watercyclus; daar zit wat in!

65ste Vakantiecursus Drinkwater en Afvalwater

vrijdag 11 januari 2013
Delft

samenstelling en eindredactie
prof.dr.ir. J.B. van Lier
dr.ir. S.G.J. Heijman
M.A.J. Hubert
J.P. Hagg

Colofon

Deze congresbundel 'De Watercyclus; daar zit wat in!' van de 65ste Vakantiecursus Drinkwater en Afvalwater is een uitgave van de Sectie Sanitary Engineering van de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft.

Meer informatie over deze en andere uitgaven kunt u verkrijgen bij:
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Sanitary Engineering
Postbus 5048
2600 GA Delft
Tel: 015-2783347
E-mail: secr-gez-citg@tudelft.nl

Printed Gildeprint Drukkerijen BV
ISBN/EAN: 978-94-6186-103-0
NUR-code: 956

Published by
Water Management Academic Press
PO Box 5048
2600 GA Delft
The Netherlands
Tel: +31 15 2783347

Legal notice
The publisher is not responsible for the use which might be made of the following information.

Printed in The Netherlands

Inhoudsopgave Congresbundel 65ste Vakantiecursus

Inleiding **5**

Drinkwater **7**
Strategic innovation: the creation of the water companies of the future
Prof.dr. Taco C.R. van Someren (Ynnovate) – Dr. Shuhua van Someren-Wang (Ynnovate) 9
Water met inhoud
Lieve Declercq, MSc (Vitens) 17
Leven in het distributienet voor drinkwater
Dr. Hans Vrouwenvelder (TU Delft/KAUST/Wetsus) 25
Recycling of Industrial Water: The journey of Pearl GTL
Drs. Koen de Leeuw (Shell P&T – EUHT) 29

Flash Presentaties Drinkwater **35**
NOM in de waterzuivering
Ir. Anke Grefte (TU Delft) 37
Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren
Ir. Martijn Bakker (RHDHV/TU Delft) 43
Data + modellen = dynamische informatie (=sexy)
Dr.ir. Ignaz Worm (PWN/TU Delft) 49
Cake layers and long filtration times protect ceramic micro-filtration membranes for fouling
Peter Lu, MSc (TU Delft) 55
Water research for the world
Dr.ir. Doris van Halem (TU Delft) 59
Solar driven desalination project in Indonesia
Ir. Reinoud Feenstra (Elemental Water Makers) 65

Afvalwater **69**
Application of "Impossible" microbes in wastewater treatment
Prof.dr.ir. Mike Jetten (Radboud University Nijmegen/TU Delft) 71
Het waterschap anno 2013: van lijderschap naar leiderschap
Dr.ir. Renze van Houten MPM (Waterschap Aa en Maas) 79
Nereda®: Voorbeeld van succesvolle innovatie?
Ir. Helle van der Roest (RHDHV) 87
De priester, de koopman en de ingenieur: iedereen ziet er wat anders in!
Dr.ir. Fons Nelen (Nelen & Schuurmans/KNW) 93

Flash Presentaties Afvalwater **101**
Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Membrane Bioreactor Technology
Hale Őzgűn, MSc (TU Delft/Istanbul University of Technology) 103
The enzymatic degradation of excess activated sludge: A tale of worms
Steef de Valk, MSc (TU Delft) 107
Assessing the quality of sewer pipes
Nikola Stanić, MSc (TU Delft) 111
Industrial AMBR
Kaan Dereli, MSc (TU Delft/Istanbul University of Technology) 117
Autogenerative High Pressure Digestion: Future Potentials and Constraints
Drs. Ralph Lindeboom (WUR) 121
Impact of sewer condition on urban flooding
Ing. Marco van Bijnen (Gemeente Utrecht) 127

Gezamenlijke Slotsessie **133**
YES!Delft: from idea to techno-starter
Ir. Sid Vollebregt (Elemental Water Makers) 135
De watervoetafdruk: instrument voor overheden en bedrijven
Prof.dr.ir. Arjen Y. Hoekstra (Universiteit Twente) 139
Waternet Watercyclus Innovatie Prijs 143
Jaap van der Graaf Prijs 153
Eerdere uitgaven 157

Inleiding

De 65ste Vakantiecursus ontvouwt zich terwijl u dit leest. Maar waarschijnlijk krijgt u geen kans door wederom een grote opkomst op dit jaarlijkse netwerk event en u liever iemand spreekt die u toch graag vandaag nog had willen spreken. Deze VC is speciaal, we hebben het immers over de 65ste cursus. Tot voor kort een magisch getal. Immers je hield op met werken met 65 en dook weg achter de geraniums. U leest het goed, alles geschreven in verleden tijd..! 65 jaar jong is de nieuwe leuze, we gaan nog lang niet met pensioen!

Het Top Team Water waarover we het uitgebreid hebben gehad tijdens de 64ste "cursus" is inmiddels opgevolgd door de zogenaamde TKI's, de Top Kennis Instituten. Het is nog onduidelijk op welke wijze dit instrument de verwachtingen waar gaat maken of dat het een krampachtige poging wordt de beperkte gelden zodanig te kanaliseren dat niet alle innovatiekracht verloren gaat. We houden ons aanbevolen, voor alsnog, ideeën genoeg. Wij pleiten voor een krachtige samenwerking met de academia. In tijden van krapte wordt driftig beknibbeld op wetenschappelijk onderzoek, met als gevaar dat het uitwerken van nieuwe ideeën in gedrang komt en daarmee werkelijke innovaties achterwege blijven. Neen, een nieuwe technologie ontstaat niet in 4 jaar, zelfs 10 jaar is kort voor marktintroductie laat staan voor acceptatie. Hoeveel jaar werkte prof. Lettinga aan zijn anaerobe zuiveringstechnologie in UASB reactoren, hoeveel tijd kostte de ontwikkeling van Anammox, Nereda en MBR technologie? Het zijn allemaal technologieën erkend als Nederlandse parels in waterland en voortkomend uit een gedegen onderzoeksinfrastructuur . Om onder het mom van efficiëntieslag hier de knip in te zetten leidt tot verlies aan innovatiekracht op de lange termijn. Terwijl de Nederlandse setting, en uitstekende samenwerking tussen onderzoeksinstellingen en bedrijven, enorm veel te bieden heeft. De 65ste vakantiecursus gaat in op de mogelijkheden die een verdere integratie binnen de watercyclus ons kan bieden. Wij hopen hiermee er aan bij te dragen dat de watersector door gaat met allianties te smeden (al dan niet met TKI's) om onze voortrekkersrol in de wereld ook op lange termijn te behouden.

Maar wat gaan we eigenlijk doen op deze cursusdag? De dag wordt geopend door een nieuw gezicht, prof. Bert Geerken, de nieuwe decaan van de faculteit CiTG, hiermee het belang van watertechnologie voor onze faculteit onderstrepend. Daarna gaan we ons zelf verrijken met sectorkennis en gaan we analyseren wat de watercyclus ons allemaal voor moois te bieden heeft.

Luuk Rietveld
TU Delft

Jules van Lier
TU Delft
UNESCO-IHE

Inleiding

En de watercyclus biedt veel mogelijkheden. In afvalwaterland wordt druk gewerkt aan de routemap 2030 en de 'green deals' die de sector met het ministerie heeft gesloten. Afvalwaterzuivering als noodzakelijkheid wordt verder geoptimaliseerd tot een - op zijn minst - energie-neutrale activiteit. Echter de 'green deals' gaan uit van terugwinnen van grondstoffen en energie uit de watercyclus met het gezuiverde water als een belangrijk product. Daarnaast vindt onderzoek plaats naar terugwinning van fosfaat en nuttige N verbindingen, alsmede de winning van bioplastics uit slibben en deelstromen. De wereldwijde erkenning van de rol van prof. Mark van Loosdrecht in dit onderzoek zet TU Delft weer goed op de kaart. In de vies water sessie starten we met Spinoza prijswinnaar Prof. Mike Jetten, specialist isoleren en dresseren van exotische microben die allerhande nuttige toepassingen blijken te hebben voor de behandeling van gebruikt water, hiermee de term 'afvalwater' als volledig outdated te beschouwen. Renze van Houten, directie 'Zuiveren Waterschap Aa en Maas', bespreekt de rol die de waterschappen kan, dan wel, moet hebben in deze transitie. Of komen ze toch in de knel? Helle van der Roest betoogt voorts op welke wijze succesvol moet worden geïnnoveerd; wat is nu de rol van de consultant, de academia, de contractor, de overheid? Hij kan het weten, met Nereda staat hij vol in de belangstelling! Fons Nelen bevraagt zijn toehoorders naar de redenen op welke wijze en vooral waarom bepaalde keuzes in de waterketen worden gemaakt. Zijn de in het verleden gemaakte keuzes wel doordacht gemaakt of kentekenen ze tijden van overvloed en onkunde?

In de drink-en industriewatervoorziening blijven tijden turbulent. We hebben te maken met steeds hogere kwaliteitseisen aan ons drinkwater in een steeds drukker bevolkte wereld. Verder willen we de kosten van de watervoorziening zo laag mogelijk houden en hebben we te maken met een energievraagstuk dat ook de watersector treft. Allemaal uitdagingen die vragen om een efficiënte bedrijfsvoering. Taco van Someren beaamt dat en gaat nog een stap verder. Hij vindt dat de watersector veel beter moet zijn voorbereid op de toekomst. Wij moeten ons bestaansrecht, onze visie en doelen heroverwegen door middel van "strategische innovatie". Hierbij concludeert hij zelfs dat de Nederlandse waterindustrie globale spelers (of zelfs multinationals) nodig heeft om te kunnen bijdragen aan de uitdagingen en "market opportunities" waar voor we staan in een snel veranderende waterwereld. Lieve Declercq, de nieuwe directeur van ons grootste drinkwaterbedrijf, sluit hierop aan om de uitdagingen van Vitens te verwoorden. De kwaliteit van het drinkwater en de efficiëntie van de zuivering wordt vaak bepaald door de bacteriën die er in leven. Door steeds betere meetapparatuur kunnen we dit leven steeds beter controleren. Hans Vrouwenvelder neemt ons mee in deze wondere wereld van de kleine beestjes. Tot slot maken we een uitstapje naar de "globale speler" Shell. Binnen dit bedrijf wordt water ook steeds belangrijker en is ZLD (zero liquid discharge) geen toekomst meer. In Qatar is de hele watercylus op één site aanwezig. Koen de Leeuw vertelt hierover en wellicht kunnen we hier nog wat ideeën opdoen voor onze stedelijke watercyclus.

De dag wordt besloten door een betoog van Prof. Arjen Hoekstra die op onze verantwoordelijkheid wijst voor het gebruik van virtueel water en de daarmee samenhangende watervoetafdruk. Welke rol spelen onze industrieën eigenlijk met betrekking tot onze watervoetafdruk?

Jules van Lier en Luuk Rietveld

Drinkwater

Prof.dr. Taco C.R. van Someren & Dr. Shuhua van Someren-Wang

Strategic innovation: the creation of the water companies of the future

Taco C.R. van Someren
Ynnovate

Shuhua van Someren-Wang
Ynnovate

Sense of urgency

Water is the oil of the future. But where is the "Shell of the water industry"? For some this question is swearing in church for others the key question for a continued prosperous future of the Dutch water sector. The water sector has reasons enough to be proud on the century old achievements. Because of worldwide megatrends, a new world order with new norms and values, industry developments and the emergence of new players. In the end, the coordination by a network of firms is not a sufficient answer on the emergence of new powerhouses wiping away weak and inefficient players (van Someren, 2005, van Someren & van Someren, 2012).

Other countries, like France, have acknowledged these major shifts in the world. Their utility sector is characterized by big and powerful dividend paying corporation such as Veolia (world Number One) and Suez (World Number Two). In many global markets, these multinationals are often preferred due to their in house expertise combined with standardized project management enabling truly one-stop-shopping possibilities. In the US, former corporate raiders such as T. Boone Pickens shifted his attention form the oil business to the water industry. In 2006 he has been steadily buying up water rights in several regions in the US based and thereby privatizing and commercializing the water industry (Business Week, 2008). But there are also counter-trends such as the retreat of Thames Water from the Asiatic and Chinese market. Success in Chinese market requires strategic innovation (van Someren & van Someren, 2012). These gaps are increasingly filled by new stars from Singapore, South Korea and China. It is no surprise that market share of multinationals decreased to just over 30% in 2009 from 70% in 2001. These weak and strong signals indicate a new era for the water industry. The Dutch water sector needs to redefine its industry. In the remainder of this article it is presented how.

Trends towards a new world

The relevance of (mega)trends is on the one hand an indication of the future and on the other hand the even more important hidden future client needs. It requires a creative combination of trends to be able to identify future needs followed by the creation of new products, services and business models (van Someren, 2005). In table 1 some mega trends and specific trends for the global water industry are summed up.

Table 1 - Some mega trends and industrial water trends (Source: van Someren & van Someren, 2012).

Population growth
Bio, nano, e-mobility technology
Feminalization of society
Growing importance of non-Western societies
Increasing use of resources, climate change, health and safety
Urbanization
Water shortage and water pollution
Increase of water market volume
Decentralization, individualization, networking
Global players
...

Technology trends like biotech, nanotech and renewable energies dominate the overall picture. But some other developments will become as relevant like the emergence of new powerful nations and regions such as China, India, Brazil, Turkey and Africa. One of the consequences is that the Western norms and values will at least loose some influence and other ways of doing business will emerge. Another relevant development is the emergence of megacities and increasing urbanization. Furthermore, renewable forms of energy are supposed to take over from oil, coal and gas. But shale gas and oil extend the old growth cycle of fossil energy. Political systems have their influence of the organization of industry. With regard to the water industry, relevant trends comprise climate change, nano- and biotechnology, water cycle, safety and commercialization.

Among the trends of the future water is probably the most relevant and challenging. Rising sea water levels, river flooding, shortage of drinking water and shifting geographical sources of water are the threats. Some even predict wars for water. But the future trends not only contain misery and a pessimistic outlook. Some trends also indicate opportunities for a bright new future and an optimistic world view. New technologies appear for economic viable desalination, small scale water purification and even water as energy source. But also other trends have a great chance to change our existing world which have the potential to interact with the trends in the water industry.

The Dutch water sector has traditionally been organized along public institutions whereas the international water world is becoming increasingly a market economy. The international water market is becoming increasingly commercial requiring bottom line driven enterprises able to cooperate with public entities and governments. Therefore, it can be concluded that future trends need to be identified and interpreted on a tailor made basis. Only then trends can be encountered with the right answer and contribute to a better future. Many of these trends affect the water and wastewater services and are challenges for the water sector (van Someren & van Someren, 2006a, van Someren & van Someren, 2012).

There is more than technology

Generally, policy makers, industrial leaders, innovation experts and media have a preference for technical innovations. The water industry also has a bias towards technology. Technology is perceived as the basis of innovation, have a potential profound power to change the world and it is sexy. Just think of the iPhone or the automobile. The water industry shows similar preferences for technology. But there is more than technology. In figure 1 some examples are given of nontechnical innovation areas.

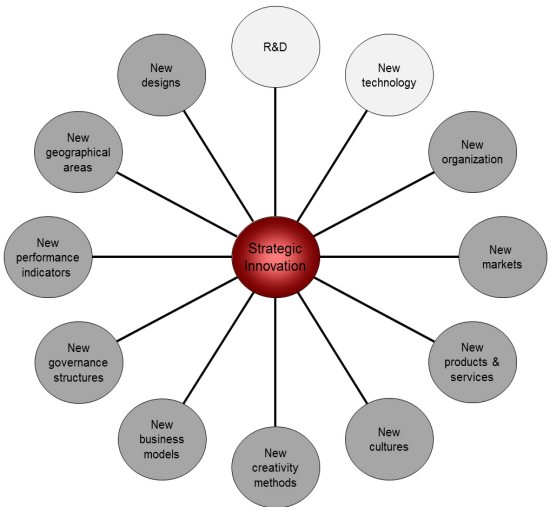


Figure 1 - Technical and nontechnical innovation areas (examples). Source: Van Someren, 1991 and 2005.

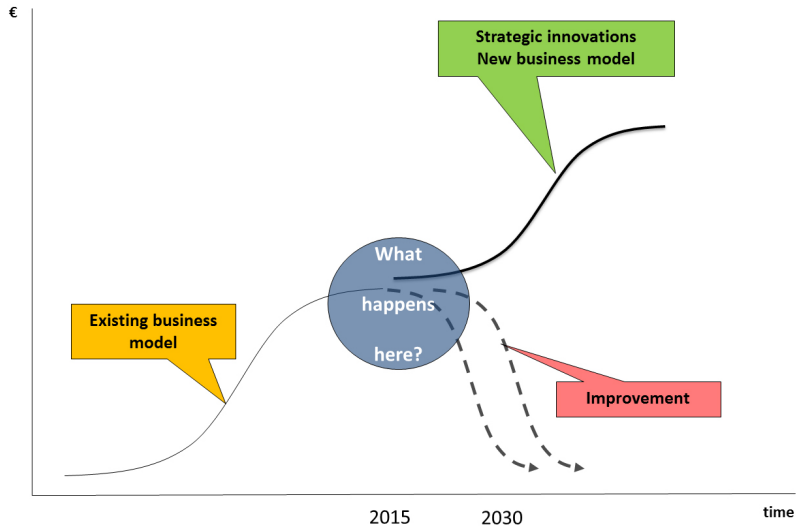


Figure 2 - The relevance of strategic innovation. Source: Van Someren, 2005, Strategische Innovationen, Gabler Verlag.

For many the equation 'Innovation = Technology' is a self-evident truth. The contrary is true. Non-technical innovation can be as important as technology and emerge stand alone. Moreover, non-technical innovations can lead to technical innovations. Non-technical innovations encompass organizational forms, value chain organization, foundations of behavior and performance, new design, ways of doing business leading to new ways of doing business like the introduction of Triple P instead of profit maximization, network organization and outsourcing. Sometimes a combination of non-technical innovations not only lead to new technical innovations but new business models as well (van Someren, 1991a,b, 2005).

Strategic innovation

What is the relevance of technical and non-technical innovations? These kind of innovations can help to improve existing business. In fact, the life time of the existing business model is being extended. For example, with new IT systems existing customer relation processes can be made more efficient. Or with cross cultural management training can improve the relation between headquarters and foreign affiliates and business partners. The majority of firms, smaller and bigger ones, behave in this way. But there can be gained more than only improvements. The real relevance of strategic innovation is the potential of creating a new growth curve generating new business. In this perspective, strategic innovation is in fact the central task of entrepreneurs and top management. It shows the pivotal role of strategic innovation for any business. Single innovations relate to new products or new services, new organizational forms or a new financial instrument and many other areas. Strategic innovation refers to a unique combination of innovations leading to a completely new way of doing business. A new business model has the potential to revolutionize existing value chains or creating new ones. In fig. 2 this potential effect is illustrated.

New answers are required from the utility and mobility industries to deal with specific megacity problems such as high quality water supply and congestion. Furthermore, the demand for food needs a renewal of the agro food industry such as metropolitan agro food complexes.

The issue of sustainability and other mega trends is partly a technical problem asking for new technologies. But the main challenge is to deal with profound changes in management, governance, internal and external organization, performance measurement, dealing with international partners,

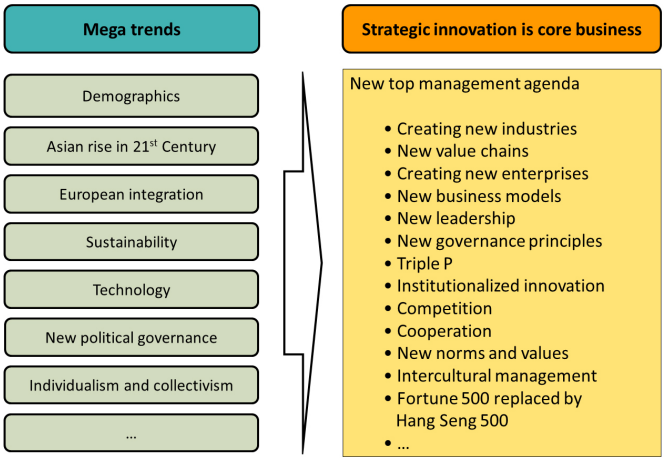


Figure 3 - Key top management challenges. Source: Van Someren, 2010.

new business models. Taken together, the mega trends have the potential to revolutionize industries and as a result the board room agenda is filled with crucial issues as shown in fig. 3.

Each separate item on the list of the top management agenda represents a huge challenge, the complete list will be a revolution in management of any organization. Based on this top management agenda, every industry has to prepare for the future in order to survive in the radical changing environment. For example, some of our clients started quite early: BMW took the first steps in early 1990s and the creation of a cross border regions TTR-Elat (Province of Limburg, Eastern part of Belgium and North Rhine-Westphalia) started mid 2000 (van Someren & van Someren, 2011). The relevant mindset is that improvements of the existing situation are insufficient and strategic innovations are necessary to create the organization of the future. The water industry has also to prepare for strategic renewal in order to survive in the 21st century.

Strategic innovation in the water industry

As for many other sectors, in the water industry the equation "Innovation = Technology" has many supporters. Examples are nano filter technology, thermic energy from waste water and membrane bioreactors. The non-technical developments include for example the increase of commercial interests in the water sector, demand from emerging countries, turn key projects, valorization of available knowledge into concrete products and services and sustainability as a new business foundation for enterprises. The total needed annual investment volume of the world water market is estimated at euro 400-500 billion (Deutsche Bank, 2010). Key drivers for increasing water demand are demographics and industries like agriculture. Therefore, the water sector has a huge potential for strategic innovations and create the water organizations of the 21st Century. In fig. 4 the principle of renewing the growth cycle has been applied for the Dutch water sector.

The existing growth curve is being improved by cost reduction programs, water quality improvement programs, training programs, technology improvement and so on. But the industry structure itself remains more or less the same. In the last decade, only a few attempts are tried the make a jump to the next growth curve by means of mergers (e.g. Vitens) and water cycle company integrating drinking water and sewage (Waternet). In the Dutch context, these jumps to new growth curves are already perceived as radical innovations which take a long period of time to be accepted and implemented. Already now some outlines of the potential new third growth curve can be derived from the mega trends. Meanwhile, the water sector outside of the Netherlands is developing in high speed thereby creating a new third growth curve. This third growth curve has several different

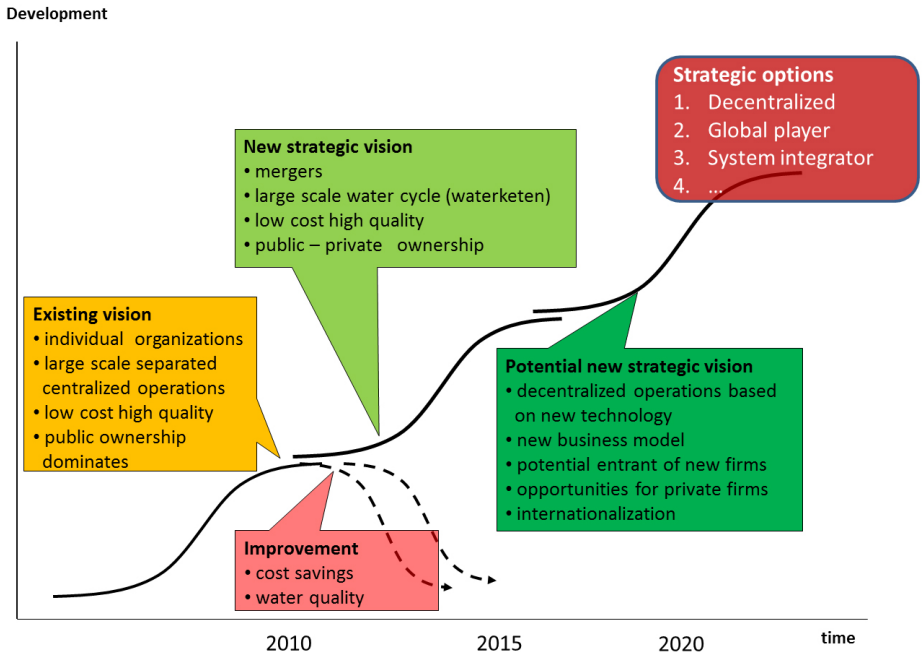


Figure 4 - New growth curves in the water sector. Source: based upon T.C.R. van Someren, 2005, Strategische Innovationen, Gabler Verlag.

foundations such as decentralized nanotechnologies, increased commercialization of activities, dominant non-Dutch multinational players and potential new entrants. Moreover, industrial developments outside the water sector have a cross over impact on the water sector such as decentralized energy concepts.
In all cases, not only the business model changes radically but also the required strategic innovations to create a successful company of the future as shown in fig. 4.

In at least four areas strategic innovations have to be initiated and implemented: leadership, institutional innovation, business development and governance (van Someren & van Someren, 2012). Deliberately the option of a sustainable water company has not been chosen.

The most important task of future leaders is not to increase the value of a company or to fulfill short term goals but to create a context for creating and renewing the company of the future. Lower management levels can realize short term goals and improve the existing situation but only top management can take care of the long term perspective and accordingly trim the organization (van Someren, 2006b).

Institutionalized innovation is a necessary condition to be successful in volatile and fast changing environments. A few years ago Nokia was the hero of the mobile phone market and by focusing on their success they lost sight of the new trends leading to the market segment of the smart phone.

With regard to business development, international markets require new skills to deal with cross cultural issues. Selling products and services in for example non-European countries is relatively easy but making profit is the difficult part. It requires identifying and understanding new habits and needs and adapting the product and service portfolio or even business models.

Finally, also the governance structure needs adaptation towards sustainability criteria or the close cooperation between private and public organizations and governments. The huge amounts

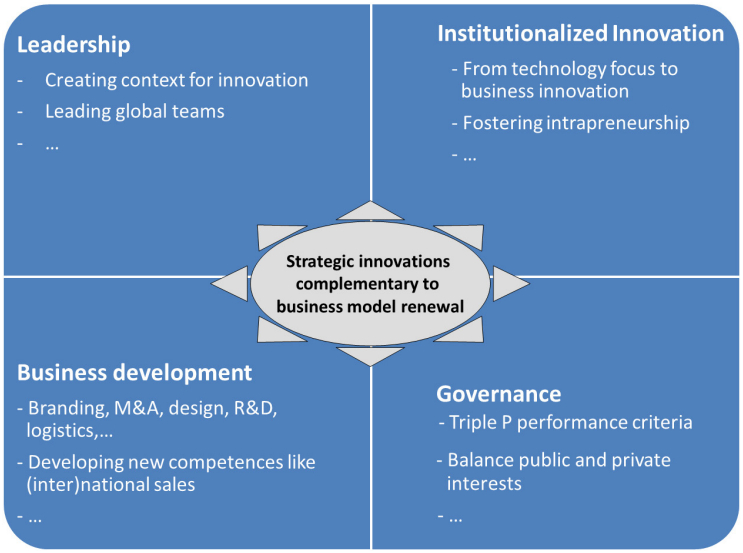


Figure 5 - Strategic innovation areas beyond new business models. Source: based upon van Someren & van Someren, 2012.

of money needed to fulfill demand and cope with the key challenges require a new symbiotic relationship between public and private partners. These three options are only 'out of the blue' suggestions to think out of the box. A more scientific and systematic approach is needed to formulate tailor made answers. This is the Strategic Innovation Cycle©.

Creating the water Company of the Future

The Strategic Innovation Cycle© has been applied many times in several different private and public industries like automotive and Dutch Fire Department. The tool is based upon the practical hands on experience with clients and scientific work by the author. The Strategic Innovation Cycle© includes internal (e.g. core competences, economic engine) and external analyses (e.g. trends, client needs, stakeholders, competitors) and creative tools to create new business models followed by a renewal of organization, corporate governance and performance indicators. The outcomes are improvements and radical innovations ultimately leading to new business models and value creation. Each assignment leads to unique results and imitation is useless due to organizational specific circumstances. A simplified approach is presented in fig. 6.

The SIC-approach to strategically innovate industries and organizations is built upon 4 elements. Firstly, the conditions like markets and history of organization differ in each situation and should be known on beforehand. Agreements should be made about for e.g. leadership, team, assumptions and involvement of stakeholders. Secondly, in the internal and external analysis the building stones for the creativity phase have to be gathered. Thirdly, the outcome of the creativity phase leads to for example improvements, single product, process innovations, new business model options. Fourthly, the context determines how to achieve real 'out of the box but still viable and realistic' options for the future. Both a combined bottom up-top down approach as well as mobilization of entrepreneurship, knowledge and creativity within and outside of the organization is essential. This approach sets high requirements for leadership but also the project team.

To illustrate the third growth curve in fig. 4, three potential future water companies of the future will be presented here. First the decentralized company, second the global water company and third the system integrator. Of course many other options are possible which have to be created tailor made depending on criteria like vision, market development insights, competences and culture. The reason is

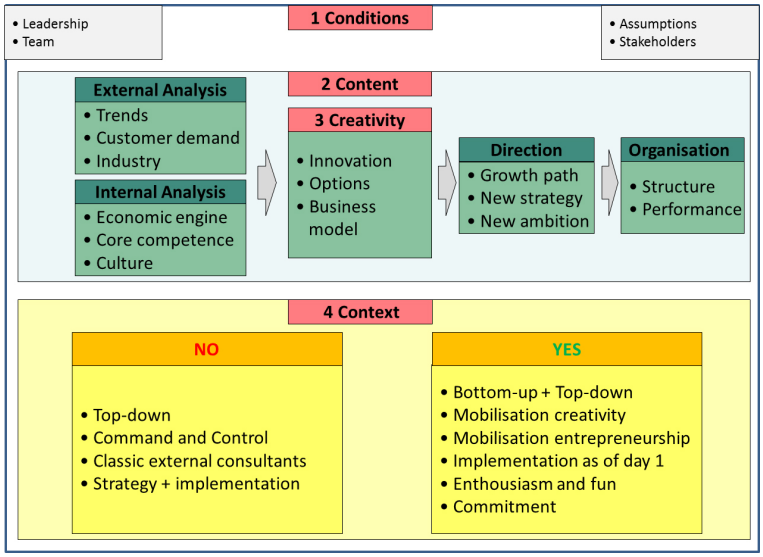


Figure 6 - Strategic Innovation Cycle©, simplified version. Source: T.C.R. van Someren, Strategische Innovationen, Gabler Verlag, 2005.

that sustainability is not a goal as such but should be integrated in all other options as being part of carrying out activities and doing business. The end result is not known on beforehand but always surprisingly new and realistic. This is how to create the water company of the future.

Example 1 Decentralised company

The core of the current drinking water business model is still based on large scale centralized infrastructure. Additionally, in the energy sector a shift towards decentralized technology is gaining power against the traditional centralized power system. But also here, besides technology, creating a new industry will be dependent on new organizational forms, new financial and administrative systems, new cost structures, new roles of customers and institutional regulations (van Someren, 2005). Current regulations for water and sewage hinder or even make it impossible to implement decentralized concepts. But in many international markets decentralized concepts can be the only viable solution instead of investing in large scale pipeline infrastructure. Especially in eco-mega cities new opportunities will emerge. Newly founded enterprises do not have the burden of investments in capital intensive infrastructure and can start from scratch with for example decentralized offerings.

Example 2 Global player

The jump to the third growth curve can also be triggered by international market developments. For example the annual market volume of the Chinese water market is approximately $ 900 billion. But the Chinese water market is different from European, North-American and African markets. For example, Chinese ask for state of the art technology, favor turnkey projects and governmental involvement is intensive. The Dutch water sector can deliver cutting edge technology but turnkey and clever support of own government and teaming up with Chinese counterparts remain unsolved problems. Moreover, the Chinese do still not ask for soft skills and management although they need these competences more than anything else. The Dutch are able to deliver these skills. But the market share of Dutch companies in Asia including China is a modest 1%. The Dutch water sector needs to improve their global acquisition and project management capabilities within a commercial setting.

Example 3 System integrator

The development of decentralized technology in water and energy combined with domotica (household technology) and smart grid technology opens the opportunity for systems integrators.

These systems integrators offer the decentralized technology, the connection with the grid and are active in multiple regional and international markets.

Of course, the examples are merely illustrations and many more options for strategic innovation can be developed. But it requires leadership and a vision on how to shape the future world.

Conclusion

All worldwide trends and specific developments in the water industry force to rethink reason of existence, vision and aims by means of strategic innovation. The Dutch water industry needs at least global players or even multinationals to contribute to the challenges and market opportunities in the rapid changing water industry.

References

1. Business Week, 11 june 2008, There Will Be Water.
2. Deutsche Bank Research, 1 june 2010, World Water Markets.
3. Someren T.C.R. van 2005, Strategische Innovationen – So machen Sie Ihr Unternehmen einzigartig. Gabler Verlag: Wiesbaden, Germany.
4. Someren, T.C.R. van & S. van Someren-Wang, 2006a, Export van Waterkennis naar China, H2O, No 1, 13 januari 2006.
5. Someren, T.C.R. van, 2006b, Innovation stratégique: une question de leadership, Business Digest, April 2006, No. 162, p. 9-10.
6. Someren T.C.R. van, van Someren-Wang S., 2007, Strategic eco-innovation. Proceedings of the 1st Hebei-Province of South Holland International Conference on Water Resources Management and Environmental Protection Cooperation Project. Shijjiazhuang, China; 204-212.
7. Тако С.Р. ван Сомерен, Шухуа ван Сомерен-Ванг, 2011, Создание новых бизнес моделей для устойчивого роста и развития (пер. с анг. Б.Х. Краснопольского). "Пространственная экономика" (ISSN 1815-9834), № 3 (27), 2011b, Хабаровск, стр. 40-55. Building New Business Models for Sustainable Growth and Development (translated from English by Krasnopolsky B.Kh.). "Spatial economics" (ISSN 1815-9834), #3 (27), 2011, Khabarovsk, pp. 40-55.
8. Someren T.C.R. van, van Someren-Wang S., 2012, Green China. Sustainable Growth in the East and West, Springer Verlag, Heidelberg.

Water met inhoud

Lieve Declercq
Vitens

Inleiding

Drinkwaterbedrijven hebben in de afgelopen decennia veel aandacht gegeven aan het verder perfectioneren van de productie, distributie en waterkwaliteit. Dit hebben we gedaan in samenwerking met de watersector, met succesvolle (technologie) bedrijven in Nederland en met steun van overheden.

We komen nu in een nieuwe fase met vele uitdagingen die vragen om een duurzame en innovatieve aanpak. We hebben te maken met toenemende schaarste in grondstoffen en energie. Klimaatverandering heeft mogelijk eerder dan we denken een impact op onze watervoorraden. Veroudering van het distributienet en kolossale investeringsprogramma´s als gevolg is een directe zorg waar we mee bezig zijn. De arbeidsmarkt verandert en we zullen kennis zien vergrijzen. Onze klanten vragen snellere en directere ondersteuning. Dit gaat veel vragen van de sector in de komende jaren. We zullen strakker moeten sturen op onze dienstverlening richting klanten en efficiënter omgaan met onze middelen.

Van dit alles wil ik 3 boodschappen meegeven. Dit zijn 3 gebieden waar we duurzame innovaties toepassen en ontwikkelingen zien die voor de gehele watersector van belang zijn.

1. Intelligente watervoorziening: Alleen door intelligente watervoorziening kan de watersector slimmer omgaan met de infrastructurele uitdagingen;
2. Water & Energie: De klant en onze aandeelhouders verwachten van de watersector een daadkrachtig antwoord op de toekomstige energieschaarste en CO_2 problematiek. Slim omgaan met energie maakt financieel het verschil;
3. Reststromen: We kunnen een significante bijdrage leveren aan de circulaire economie door onze reststromen slim en waardevol in te zetten. Afval bestaat niet.

Intelligente watervoorziening

Om een beter beeld te krijgen over wat er zich in het proces van productie tot en met distributie gebeurt willen we meer intelligentie onttrekken uit het netwerk. Feitelijk weten we nu met vrij grote zekerheid welke kwaliteit water het distributienetwerk wordt ingepompt. Hoewel er uiteraard op grote schaal in het leidingnet gemeten wordt op kwaliteit, weten we niet 100% realtime hoe het drinkwater zich gedraagt en welke kwaliteit er precies bij de klant wordt geleverd. Op basis van statistiek en ervaringsgegevens wordt er uiteraard met een vrij grote zekerheid van uit gegaan dat

een hoge drinkwater kwaliteit wordt geleverd, maar in de werkelijkheid is het waterleidingnetwerk nog steeds een zogenaamde 'black box'. De traditionele bemonsteringstechnieken en analysemethoden -gebaseerd op "kweekbare" micro-organismen- geven ons een onjuist beeld van de werkelijkheid. En hebben een vrij lange doorlooptijd. Tegen de tijd dat een correcte uitspraak gedaan kan worden over alle onderdelen van de waterkwaliteit is het water al lang en breed gedronken door de consument. Wanneer een incident ontdekt wordt, is noch de bron, noch de verspreiding onmiddellijk herleidbaar en wordt de consument mogelijk te lang blootgesteld.

Op het gebied van lekdetectie zijn wij op dit moment grotendeels overgeleverd aan de reactiesnelheid van onze klanten. Natuurlijk volgen wij drukverschillen in ons leidingnetwerk waaruit mogelijke lekken kunnen worden vastgesteld, maar in de realiteit is het toch hoofdzakelijk de klant die ons informeert.

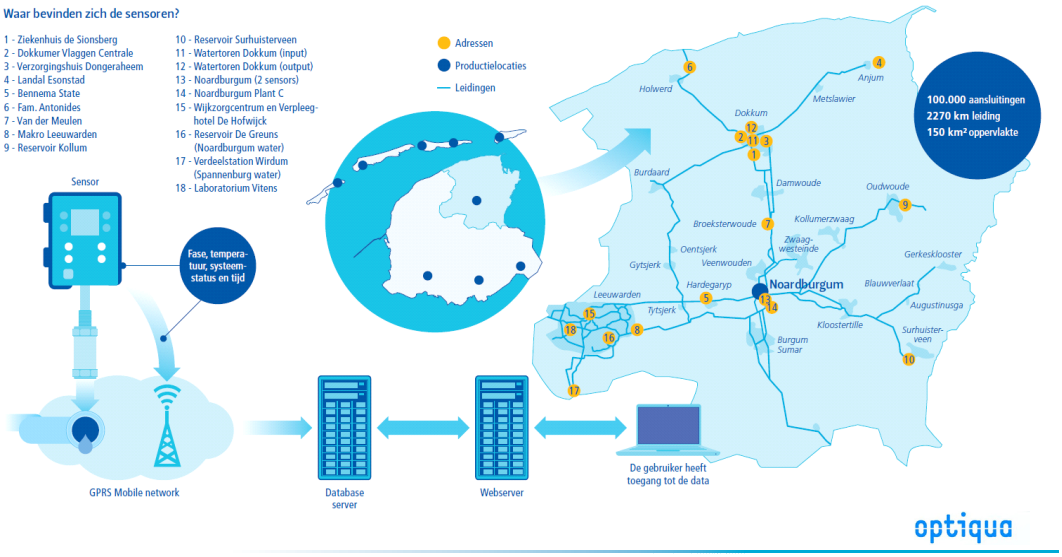
Ongeveer 150 jaar geleden is men in Nederland begonnen met de grootschalige aanleg van drinkwater infrastructuur. De aanpak voor onderhoud en het vaststellen van de technische staat is in de afgelopen jaren nauwelijks veranderd. Met oude (verouderde?) technieken worden sleuven gegraven, leidingen geïnspecteerd en zo nodig vervangen door er weer nieuwe leidingen in te leggen. Eerder dan te onderzoeken hoe wij nanotechnologie voor het uitvoeren van reparaties of snelle optische inspectie apparatuur voor het inspecteren van onze leidingen kunnen inzetten, houden wij stevig vast aan de aannemerij. Willen we met een druk op de knop weten wat de staat is van onze infrastructuur, dan kunnen we dat nu niet vertellen. In de wereld van vandaag waar snelle informatie een vereiste is, kunnen we niet langer meer volstaan met het vasthouden aan deze verouderde technieken en het schatten van kwaliteitsdata. Wij willen weten wat de waterkwaliteit en de conditie van onze infrastructuur is op elke locatie en tijdsonafhankelijk zodat wij in staat zijn deze informatie te gebruiken voor onze productieprocessen, onze distributieprocessen, onze investeringsbehoefte en de informatie & de dienstverle-ning aan onze klanten. Hierdoor zal onze operatie duurzamer worden en kan de bedrijfsvoering zowel kwantitatief als kwalitatief verbeterd worden. Tenslotte zijn wij als maatschappelijk bedrijf verplicht op 24/7 perfect zuiver drinkwater te leveren, nu, over twintig jaar, over vijftig jaar.

Sensoren gaan ons in de toekomst veel meer informatie verschaffen. Gigantische hoeveelheden data vragen om innovaties op IT gebied. Deze ontwikkeling gaat drinkwaterbedrijven helpen kosten en energie te besparen en zal bijdragen aan een betere dienstverlening naar de klant. Juist deze klant zal in de toekomst een belangrijkere rol gaan vervullen bij het verbeteren van onze bedrijfsvoering. Dichter bij de klant staan betekent ook goed luisteren naar wensen, juiste wijze van informatievoorziening en het signaleren van storingen. Onze klant is tenslotte onze belangrijkste sensor.

In het voorzieningsgebied van Noardburgum zijn diverse voorzieningen ingebouwd, waardoor het geschikt wordt voor het testen van technologie in een echte omgeving. Voorbeelden van die voorzieningen zijn het creëren van 6 bemeten gebieden (zgn. District Metered Area _ DMA's) in de stad Leeuwarden en het plaatsen van onder meer 45 waterkwaliteitsensoren door het hele voorzieningsgebied van Noardburgum heen. Dit gebied, genaamd de Vitens Innovation Playground (Proeftuin) betreft een zowel landelijke als stedelijk gebied van 600 km^2 oppervlakte, 100.000 aansluitingen en 2270 km leiding. Met flow- en drukmeters worden in eerste instantie automatisch lekken gedetecteerd. In tweede instantie wordt online het waterverbruik gevolgd waardoor er intelligenter om kan worden gegaan met het pompen van water naar deze gebieden en het aanvullen van de reinwaterkelders. Hiermee is het de bedoeling om op termijn energie te kunnen besparen.

Intelligente watervoorziening (smart grids) is opgebouwd in 4 werkpakketten: technologie van de sensoren, data-inzameling en communicatie, dataverwerking en analyse, controle en acties. Op het gebied van de sensoren moet in eerste instantie noodgedwongen een keuze worden gemaakt. De huidige kosten van een sensor is zodanig hoog dat niet alle ca. 50 parameters via sensoren gemeten kunnen worden.

Figuur 1 - Vitens Innovation Playground (VIP) Noardburgum, Friesland, The Netherlands.



Figuur 2 - Sensor Location & Data Transfer.

Hierdoor is er de noodzaak voor een generieke sensor welke aangeeft dat er iets aan de hand is, maar niet wat er aan de hand is. Er moet namelijk rekening worden gehouden met het feit dat alleen in het Vitens gebied al meer dan 47.000km aan leidingen liggen. De data-inzameling wordt, zelfs al in een relatief klein sensor netwerk, gecompliceerd door de enorme hoeveelheid data die gegenereerd wordt. De data-analyse houdt in dat de ingezamelde data zodanig verwerkt moeten worden dat ze ook daadwerkelijk bruikbaar zijn voor het nemen van beslissingen en acties. Om de laatste fase werkbaar te maken moeten we goede testprotocollen ontwikkelen.

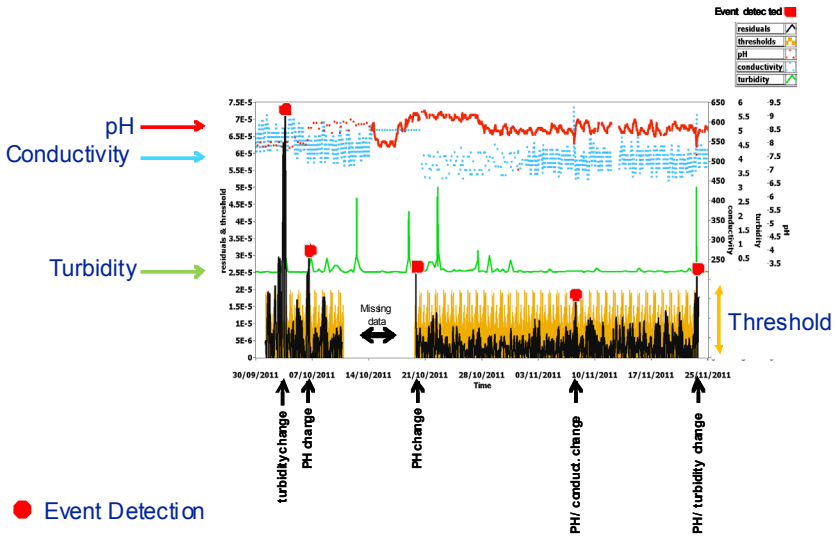
Op dit moment wordt ook gewerkt aan een project met het intelligent online monitoren van de waterkwaliteit. Dit doen wij samen met het bedrijf Optiqua (Eventlab). Het volle spectrum aan chemische verontreini¬gingen wordt online gemeten door middel van de brekingsindex. In eerder on¬der¬zoek in ons Laboratorium is aangetoond dat de brekingsindex verandert door vele stofjes o.a. NaCl, $NaNO_3$ (nitraten), Na_2SO_4 (sulfieten) pesticiden (aldicarb, azinphos- methyl, fenamiphos), turbiditeit (troebelheid), Cadmium Nitraat, Ureum en organische verontreinigingen (aspirine en MTBE).

Samen met het RIVM is destijds aangetoond dat de gevoeligheid van de Eventlab sensor voldeed aan de zogenaamde DAL, Drinking Water Alert Level. De metingen vinden online, continu en zonder hulpstoffen plaatst. Momenteel zijn we deze sensoren en informatie hiervan aan het koppelen aan de bedrijfsprocessen. Uiteindelijk kan dit leiden een signaal naar een procesoperator die vervolgens interventie in het proces kan plegen.

Tevens zijn wij een aantal andere projecten aan het doen met de real-time detectie van bacteriën.
Daarnaast zet Vitens ook in op een slimmer en efficiëntere zuivering, een voorbeeld hiervan is dat een zuiveringsstation bij elke zuiveringsstap is doorgemeten met diverse sensoren. Dit resulteerde in 5% minder gebruik van onthardingschemicaliën en 20% minder spoelwaterverlies.
In 2013 wordt onze proeftuin ook open gesteld voor andere bedrijven of onderzoeken met sensortechnologie.

Drinkwater en Energie

De drinkwatersector is ook een belangrijke speler voor andere sectoren zoals de energiesector en de bouw. Het toenemende besef dat water en energie besparing voor bedrijf en klant van groot belang zijn



Figuur 3 - "Event" detection in the VIP.

vraagt om transparantie, inzicht en het bieden van oplossingen. De lage kosten van drinkwater staan in schril contrast met de toenemende kosten van energie. Het energie verbruik in relatie tot water binnen de woonomgeving is enorm en heeft een groot besparingspotentieel bij huishoudens. Dit vraagt om integrale oplossingen, in samenwerking met waterschappen, gemeenten en andere bedrijven. Vraag is hoe wij als watersector in de komende jaren kunnen komen tot de beste oplossingen voor onze klanten en de maatschappij. Een uitdaging welke Vitens graag aangaat.

Vitens heeft een duurzaamheidstrategie bestaande uit drie pijlers: duurzaam water, verantwoord bedrijf en verbinding met de samenleving. Om de ambities in de eerste pijler te halen is energie van groot belang.

Gezamenlijk met de andere drinkwaterbedrijven heeft Vitens zich ten doel gesteld om in 2020, 20% energie reductie en 20% energie opwek te hebben gerealiseerd ten opzichte van 2010. De 2020 doelstelling is een inspanningverplichting aangegaan op initiatief van de overheid en VEWIN. Om deze ambitie te kunnen realiseren is Vitens overgegaan tot concrete maatregelen, projecten en jaarlijks te behalen targets.

Om klimaat neutraal te kunnen ondernemen kan Vitens zich niet beperken tot het uitvoeren van besparingsprojecten alleen. Bovendien wordt het reduceren van energiegebruik steeds kostbaarder en complexer naarmate de systemen al verder geoptimaliseerd zijn. We zullen moeten zoeken naar manieren waarop we duurzame energie kunnen opwekken als deel van ons proces. Ook economisch gezien is eigen opwek aantrekkelijk vanwege het feit dat het bedrijf op lange termijn onafhankelijk is van energieprijzen.

Ondanks dat de opwek van energie niet strikt genomen binnen de activiteiten van Vitens valt zijn de operationele kenmerken van Vitens er wel geschikt voor. Er is een groot eigen verbruik dat ook relatief voorspelbaar is. Vitens heeft meerdere fysieke locaties waarop productie (opwek energie) kunnen worden geplaatst en maatschappelijke rol om dit samen met aandeelhouders en partners na te streven. Het uitgangspunt is om niet direct te investeren in duurzame energie installaties maar in innovatieve samenwerking om duurzame energie te kunnen aanwenden in ons proces.

Wij kijken daarom naar opwek gekeken in de breedste zin van het woord. Hier worden kleinschalige opties als de Pomp als Turbine meegenomen maar ook grootschalige opwek zoals wind- en zonne-energie.

In het Pomp als Turbine pilot in Bemmel wordt gedurende 24 uur per dag een bassin gevuld met een debiet van 310 m^3/h bij een opvoerhoogte van 20 meter. De energie die hierbij verloren gaat kan (gedeeltelijk) door een turbine worden omgezet en terug geleverd naar het energienet of op eigen locatie worden gebruikt. Het opwekvermogen kan tot 13,5 kW gaan.

Vitens heeft meerdere NSAs (NoodStroom Aggregaten) die ook buiten noodgevallen kunnen worden ingezet voor de opwek van energie. Daarbij kunnen de aggregaten worden ingezet bij overschrijding van het gecontracteerd vermogen (piekscheren) of kan een bijdrage worden geleverd aan de stabiliteit van het Nederlandse elektriciteitsnet. Daarnaast is verduurzaming van de brandstof van de, nu nog, diesel gestookte aggregaten mogelijk en kan de stilstandverwarming naar beneden worden bijgesteld.

Binnen de winning en distributieactiviteiten is besparing mogelijk van energie. Een nulmeting op de conditie en het functioneren van de pompen wordt op dit moment uitgevoerd om het besparingspotentieel vast te kunnen stellen. De aanbevelingen zullen zowel de winvelden als de distributielocaties aangaan om de pompen te optimaliseren. Het verwachte besparingspotentieel hiervan is 5% van het totale verbruik bij winnen en zuiveren.

Zoals eerder aangegeven staan de drinkwaterkosten voor consumenten in schril contrast met de energiekosten. De grootste maatschappelijke bijdrage en energiewinst kunnen dan ook geboekt

worden als huishoudelijk energieverbruik gekoppeld aan watergebruik zoals douchen significant kan worden teruggebracht. 10% waterbesparing als gevolg van korter douchen, zal leiden tot een verlaging van de energierekening met zeker € 200/ jaar voor een jong gezin.

Vitens ziet het als haar ultieme uitdaging om onze klanten te helpen met verant-woord watergebruik en energiebesparing met financiële voordelen.

Drinkwater en Reststromen

Tenslotte is er een toenemend besef dat onze sector een rol moet spelen in de circulaire economie. Al jaren zorgen we binnen de sector voor een nette toepassing van de meeste van onze reststromen. Onze reststromen kunnen echter nog beter worden getransformeerd tot waardevolle toepassingen binnen de bouw, landbouw of zelfs de diervoedingsindustrie. Valorisatie van de reststromen gaat de komende jaren vragen om veel aandacht en samenwerking binnen de sector. Dit hoeft geen jaren te duren, een oproep voor een pragmatische aanpak en het bundelen van krachten. Late we hier in 2013 hard aan werken.

Jaarlijks produceert Vitens ca 20.000 ton kalkkorrels, 33.000 ton waterijzer en 7.500 ton aan filtermateriaal en overige materialen. Dat kost ons ongeveer 1,5 miljoen € per jaar. Vanaf 2012 zijn wij begonnen met het concreet vertalen van het begrip 'afval bestaat niet'. Dit doen we door onder andere de kalkkorrels te drogen en te verkopen als grondstof aan de glasindustrie, waar opnieuw verpakkingsglas van wordt gemaakt. Indien wij de kalkkorrels zouden enten op calciet in plaats van op granaat- of zilverzand worden de toepassingen vergroot omdat het eindproduct dan uit zuiver $CaCO_3$ zal bestaan.

Van de 33.000 ton waterijzer, voldoet vandaag slechts 44% aan de klantspecificatie. Door gerichte maatregelen moet het waterijzer uiteindelijk 100% voldoen aan de vereiste specificatie.

Bij onze drinkwaterproductie in Friesland komt op dit moment methaangas vrij. Dit gas heeft een equivalent van 23.000 ton CO_2 per jaar. Dat staat gelijk aan de gemiddelde uitstoot van 2500 huishoudens. In 2012 is begonnen met de bouw van een installatie om het methaangas af te vangen en om te zetten. Door middel van vacuümontgassing wordt het methaangas omgezet naar elektriciteit en op termijn wellicht ook naar groen gas. In de installatie zal een WKK (warmte kracht koppeling) het gas omzetten naar elektriciteit. De WKK zorgt voor een elektriciteitsvoorziening van maximaal 5Gwh. Dit is ongeveer 40% van de totale elektriciteitsvraag van Spannenburg. Bovendien zorgt de combinatie

Reststroom	Hoeveelheids tendens	Inzetbaarheids tendens	Huidige opbrengsten	Prijspotentie (mét effort)
IJzerslib	0	0	0	+
Kalkkorrels	0/+	++	0	++
Humuszuur	0	++	--	++
Biomassa	-	+	-	+
Filtergrind	0	+	0	0
Kalkslib	+	+	+	+

Verklaring:

Hoeveelheidstendens :	de naar verwachting vrij te komen hoeveelheid voor de komende jaren ten opzichte van de afgelopen jaren.
Inzetbaarheidstendens:	de mate waarop de markt/industrie in de toekomst gebruik kan maken van deze reststroom.
Huidige opbrengsten:	De huidige positieve of negatieve inkomsten door verkoop reststroom.
Prijspotentie:	De mate waarin een reststroom inkomsten kan genereren, mits er productverbetering plaats kan vinden (effort)

Figuur 4 - Tendensen.

van ontgassing en luchtfiltratie voor een synergie en verdere reductie van de energiekosten van ongeveer 3%. In elektriciteitskosten kan dit ons jaarlijks 400K€ schelen.

In onze locatie in Spannenburg produceren wij als gevolg van de noodzaak tot ontkleuring ca. 4100 m^3 humuszuren die naar de afvalverbranding wordt afgevoerd voor een jaarlijkse kostenpost van 450.000 €. Vanaf vorige week worden deze humuszuren toegepast als grondverbeteraar als alternatief voor kunstmest. Door dit grote volume in te dikken tot 810 m^3 door middel van een indikinstallatie met als resultaat 80% kosten reductie in de logistiek. Bijkomend voordeel is dat het restant aan zouten en water weer opnieuw gebruikt zal worden in het ontkleuringsproces. Het humuszuur zelf is van extreem hoge kwaliteit en wordt op HACCP-niveau geproduceerd. Vanaf 2013 wordt het humuszuur toegepast in landbouwgebieden waar ook onze winningen zijn gelegen, een prachtige bijdrage aan de bescherming van onze bronnen voor de lange termijn. Op deze wijze zal op termijn bijna 100% van het opgepompte water ook als 100% verwerkt worden: de afvalstromen die gepaard gaan met de zuivering zullen dienen als grondstoffen voor andere toepassingen of als energie. Het grote voordeel voor de afnemers is niet alleen een kwalitatief goede grondstof en het kunnen inpassen in hun duurzaamheiddoelstellingen, maar ook dat ze gegarandeerd zijn – anders dan bij grondstoffen afkomstig uit bedrijfsafvalinzameling – van een constante en gegarandeerde aanvoer. Financieel zal dit uiteindelijk leiden tot een positieve kasstroom. Maar het belangrijkste is dat Vitens heel bewust kiest om verder te gaan dan het zoeken van 'nuttige toepassingen' voor deze reststoffen maar als doelstelling heeft om iedere stroom te valoriseren als grondstof of als eindproduct. Hiermee gaat Vitens duidelijk een stap verder dan veel andere niet-commerciële bedrijven en instellingen.

Ook in aan drinkwater winning gerelateerde activiteiten kunnen we onze doelstellingen met betrekking tot reststromen waar maken. Op onze terreinen komt jaarlijks ca. 500T aan houtachtige biomassa en ca. 4000T aan maaisel vrij. Door de wijze van terreinbeheer, betreft het hier in de regel om biologische biomassa. Het is onze doelstelling om deze stromen niet alleen aan de compostering aan te bieden, maar te zoeken naar oplossingen die meer toegevoegde waarde bieden. Hoewel wij op de markt van biomassa altijd een kleine aanbieder zullen blijven, kunnen ook wij deze stroom valoriseren richting alternatieve verbrandingsinstallaties.

Samenvattend:

1. Intelligente watervoorziening: Alleen door intelligente watervoorziening kan de watersector slimmer omgaan met de infrastructurele uitdagingen;
2. Water & Energie: De klant en onze aandeelhouders verwachten van de watersector een daadkrachtig antwoord op de toekomstige energieschaarste en CO_2 problematiek. Slim omgaan met energie maakt financieel het verschil;
3. Reststromen: We kunnen een significante bijdrage leveren aan de circulaire economie door onze reststromen slim en waardevol in te zetten. Afval bestaat niet.

Leven in het distributienet voor drinkwater

Hans Vrouwenvelder
TU Delft
KAUST
Wetsus

Biologische stabiliteit

De World Health Organisation richtlijnen geven aan dat "water entering the drinking water distribution network system must be microbiologically safe and ideally should also be biological stable" (2006). Maar wat is biologische stabiliteit? Rittman en Snoeyink [1] waren de eersten die biologische stabiliteit definieerden: "Biological stability does not promote the growth of microorganisms during its distribution". Stabiliteit houdt in dat een eigenschap niet makkelijk te veranderen is. In essentie betekend dit dat de biologische stabiliteit van drinkwater tijdens distributie niet leidt tot een verandering in aantal en samenstelling van micro-organismen (figuur 1).

Biological stability:
no change in number of microorganisms and in microbial community composition

Figuur 1 - Essentie biologische stabiliteit van drinkwater tijdens distributie.

Problemen geassocieerd met biologische instabiliteit

Een aantal problemen die worden geassocieerd met biologisch instabiel water in drinkwater distributienetwerken zijn: overschrijding richtlijnen voor koloniegetallen, potentiele groei van opportunistische ziekteverwekkers (bijvoorbeeld *Legionella*), verandering van waterkarakteristieken (smaak, geur en kleur) die leiden tot klachten van klanten, corrosie en aanwezigheid van hogere organismen (Figuur 2).

Figuur 2 - Waterezeltje ook wel Waterpissebed "Assellus aquaticus", voor het eerst beschreven door Linnaeus (1758).

Strategieën voor realiseren van biologische stabiliteit

Twee strategieën zijn mogelijk voor het beheersen van nagroei tijdens distributie van drinkwater:

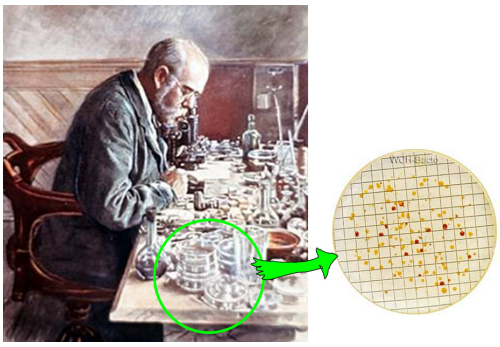
1. Beperken van de concentratie voedingsstoffen in het water tijdens distributie in goed onderhouden netwerken. Het gehalte aan biologisch afbreekbare stoffen wordt sterk beperkt door waterzuivering en gebruik van niet groeibevorderende materialen. Deze benadering wordt toegepast in Nederland en enkele andere Europese landen.
2. Handhaving restgehalte desinfectiemiddel in water tijdens distributie (chloor, monochloramine, chloordioxide).

Gebruik van desinfectiemiddelen heeft een scala aan nadelen: sommige bacteriën zijn resistent, er is een gezondheidsrisico verbonden aan desinfectie-nevenproducten en er is een negatieve perceptie van gebruikers voor de chloorsmaak. Desinfectiemiddelen kunnen organische moleculen oxideren waardoor de concentratie gemakkelijk biologisch afbreekbaar substraat toeneemt, wat een risico is voor verhoogde nagroei wanneer het restgehalte desinfectiemiddel niet gehandhaafd wordt in het netwerk. De toepassing van restgehalte desinfectiemiddel is duidelijk niet de gekozen strategie in Nederland om distributie van water na te streven.

Wat is gedaan tot op heden

Onafhankelijk van de strategie om biologische stabiliteit na te streven, zijn er geschikte methoden nodig om de biologische stabiliteit van drinkwater systemen te monitoren. Het veld van drinkwatermicrobiologie is lange tijd conservatief geweest. Een simpel voorbeeld is dat wereldwijd nog steeds cultivatie-gebaseerde methoden en richtlijnen gebruikt worden die door Robert Koch ongeveer 130 jaar geleden zijn voorgesteld (figuur 3). Het is algemeen bekend dat de volgens deze principes bepaalde koloniegetallen slechts een zeer kleine fractie is van het aantal bacteriën.

Biodegradeerbaar organisch materiaal wordt beschouwd als een belangrijke parameter voor biologische stabiliteit van drinkwater tijdens

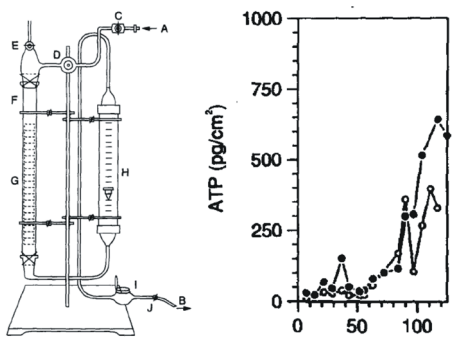


Figuur 3 - Robert Koch (1881), de vader van de huidige koloniegetal-gebaseerde cultivatie technieken.

distributie. Er zijn meerdere methoden ontwikkeld om de concentratie biologisch afbreekbaar organisch koolstof te bepalen. Van der Kooij ontwikkelde de easily Assimilable Organic Carbon (AOC) methode die gebaseerd is op de mate van groei van twee geselecteerde bacterie-reinculturen die toegevoegd worden aan een gepasteuriseerd watermonster [2]. De hoogte van het AOC gehalte van het water 'af pompstation" is gecorreleerd met de 50-percentielwaarde van koloniegetallen in het distributienet. Methoden zijn ook ontwikkeld op basis van de afname van het gehalte aan biodegradeerbaar opgelost organisch koolstof (BDOC) door autochtone bacteriën [3]. Meerdere variaties op de AOC en BDOC methode zijn ontwikkeld. Zo is er recent (2012) een snellere AOC methode voorgesteld (30 minuten) die toepasbaar zou zijn om vroegtijdig biofouling te signaleren van omgekeerde osmose membraanfiltratiesystemen (toegepast voor drinkwaterbereiding uit zeewater).

Ammonia en methaan zijn biologisch afbreekbare stoffen die niet gemeten worden met deze AOC en BDOC testen. Daarom werden methoden om de groeipotentie van water te bepalen ontwikkeld zoals bijvoorbeeld de biofilmmonitor waarmee de biofilmvormingssnelheid van het water bepaald kan worden (Figuur 4, [4]) en een AOC methode gebaseerd op flow cytometry waarmee de autochtone nagroei bepaald wordt [5].

In het algemeen zijn de methoden om biologische stabiliteit te bepalen gebaseerd op het meten van de mate van groei van micro-organismen in water of op oppervlakken in batch experimenten of



Figuur 4 - Biofilmmonitor bestaand uit een verticale glazen kolom die glazen ringen bevat (links) en biofilmvorming in de tijd op glazen ringen in de biofilmmonitor gevoed met drinkwater (rechts), [4].

doorstroomde lab-scale systemen. Deze methoden hebben een duidelijke waarde om de beperking van microbiële nagroei in het distributienet te karakteriseren.

Wat zijn de vragen?

De kernvragen zijn: wat is een microbiologisch goede kwaliteit drinkwater? Hoe kan een goede drinkwaterkwaliteit worden geproduceerd en gehandhaafd tijdens distributie in het netwerk? Wat zijn geschikte parameters om de waterkwaliteit en microbiologische processen te monitoren?

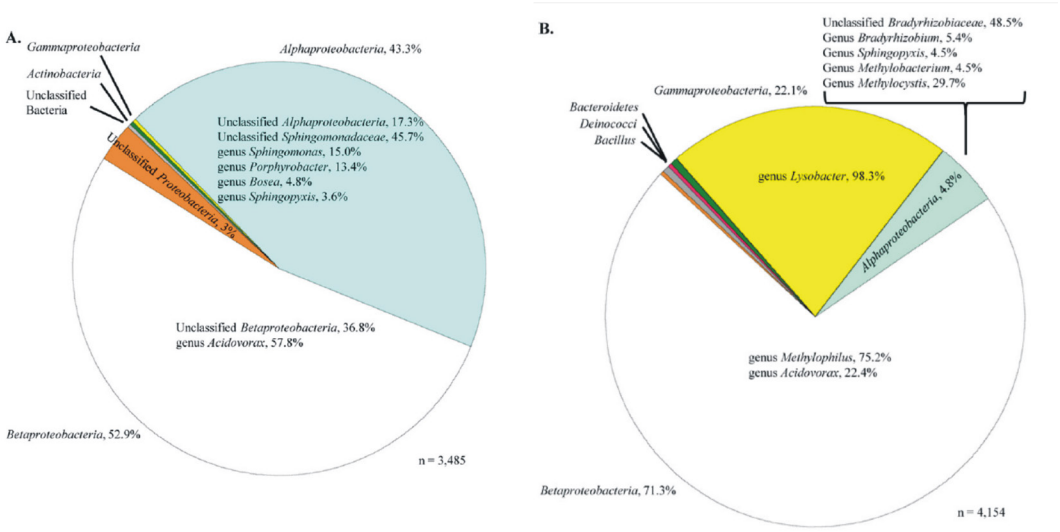
Het is duidelijk gebleken dat de twee strategieën om biologisch stabiel water te distribueren onvoldoende zijn, want nagroei wordt waargenomen in distributienetten met uitgebreide biologische voorzuivering en in netten met gebruik van residuele desinfectiemiddelen [6, 7].

Er is een behoefte om de microbiële processen te begrijpen, te beheersen en beter en sneller te meten. Een eerste stap is het bepalen wat precies gebeurt in het distributienet. Kennis op gebied van microbiële ecologie en processen in drinkwater-distributienetten ontbreekt of is er in zeer beperkte mate. Nieuwe methoden dienen zich aan of worden door snelle ontwikkelingen beter betaalbaar.

Mogelijkheden nieuwe methoden

Moleculaire methoden (bijvoorbeeld quantitative Polymerase Chain Reaction: qPCR) maken het mogelijk om veel gevoeliger ziekteverwekkers te detecteren. Nieuwe moleculaire technieken zoals 454 pyrosequencing maken het mogelijk om de microbiële communities te karakteriseren. Het is mogelijk om de samenstelling en functionaliteit van de microorganismen te bepalen: zoals welke micro-organismen zijn aanwezig (figuur 5), welke genen zijn actief en welke eiwitten worden geproduceerd.

Flow cytometry is een snelle, gevoelige en



Figuur 5 - Verschillen in bacteriële biofilm samenstelling in watermeter A (links) en B (rechts) uit hetzelfde drinkwaterdistributienet met residueel desinfectans [7].

accurate cultivatie-onafhankelijke methode om de bacteriologische kwaliteit en biologische stabiliteit van water te bepalen. Recent onderzoek van Prest [8] laat zien dat snelle detectie van verandering en karakterisering van bacteriële communities mogelijk is met flow cytometry.

Een aantal resultaten behaald met nieuwe methoden zullen gepresenteerd worden tijdens de vakantiecursus.

Het begrijpen van microbiële populaties en processen tijdens waterzuivering en drinkwater distributie maakt het mogelijk om (i) gericht te monitoren, (ii) een gefundeerde afweging te maken of beheersmaatregelen nodig zijn en (iii) effectieve beheersmaatregelen toe te passen.

Referenties

1. Rittmann, B.E., Snoeyink, V.L. Achieving biologically stable drinking water. Journal / American Water Works Association, Volume 76, Issue 10, October 1984: 106-114.
2. Van der Kooij, D., Visser, A., Hijnen, W.A.M. Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. Journal / American Water Works Association, Volume 74 1982: 540-545.
3. Servais, P., Billen, G., Hascoet, M.-C. Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. Water Research 21 (4), 1987: 445-450.
4. Van der Kooij, D., Veenendaal, H.R., Baars-Lorist, C., Van Der Klift, D.W., Drost, Y.C. Biofilm formation on surfaces of glass and teflon exposed to treated water. Water Research 29 (7), 1995: 1655-1662.
5. Hammes, F.A., Egli, T. New method for assimilable organic carbon determination using flow-cytometric enumeration and a natural microbial consortium as inoculum. Environmental Science and Technology 39 (9), 2005: 3289-3294.
6. Berry, D., Xi, C., Raskin, L. Microbial ecology of drinking water distribution systems. Current Opinion in Biotechnology 17 (3), 2006: 297-302.
7. Hong, P.-Y., Hwang, C., Ling, F., Andersen, G.L., LeChevallier, M.W., Liu, W.-T. Pyrosequencing analysis of bacterial biofilm communities in water meters of a drinking water distribution system. Applied and Environmental Microbiology 76 (16), 2010: 5631-5635.
8. Prest, E.I., Hammes, F., van Loosdrecht, M.C.M., Vrouwenvelder, J.S. Rapid characterization and change detection of bacterial communities in aquatic systems using a standardized simple flow cytometric method. Under review.

Drs. Koen de Leeuw

Recycling of Industrial Water: The journey of Pearl GTL

Koen de Leeuw
Shell P&T – EUHT

Introduction and Summary

Shell has built the largest Gas-to-Liquids plant in the world which commenced operation in 2010. The starting point for the design was based on Shell's first GTL plant which is in operating for a long time, located in Bintulu, Malaysia.
The design team worked for several years to include all learning from the Bintulu plant, new developments and to adapt the design to the local conditions. Especially the water systems in the new design have evolved significantly and state-of-the-art technology has been applied.
This document gives an overview of the main characteristics of the GTL process with emphasis on the water integration and describes some of the main challenges during design, construction and start-up of the plant.

From Fisher-Tropsch to GTL

In the 20's of last century the German scientists Franz Fisher and Hans Tropsch invented the basic catalytic process of converting carbon monoxide and hydrogen into long chain hydrocarbons. Over time many improvements have been made to the catalysts, reactors etc.
The precursor of the Fisher-Tropsch (FT) process is the generation of carbon monoxide which is produced by partial oxidation of methane with pure oxygen. The required oxygen is extracted from air in a cryogenic distillation unit. A treatment unit is used to extract methane from the off-shore produced gas. The gas needs to be free of any contamination that poses a risk to the FT catalyst. Once the long chain hydrocarbons are formed in the FT process, a small refinery containing a cracker unit produces various products, in this case base oils and fuels.
GTL products produced are well known for their purity, the oils and fuels are actually crystal clear and do not contain any aromatics or sulphur. The GTL fuels produced are blended into regular fuels to improve fuel quality which leads to improved emissions.
With the production of long chain hydrocarbons water is produced as a by-product. The oxygen that is used for the partial oxidation of methane to carbon monoxide will convert with hydrogen into water. From stochiometrics the water production is slightly higher than the hydrocarbon production and therefore, from our perspective, it may be seen as a synthetic water production plant.

Design Considerations for Qatar

One of the challenges in the design of a GTL complex, apart from the process chemistry and equipment, is to balance the heating and cooling requirements of the complex. A complex of this scale releases several gigaWatts of heat from the production process. The cooling demand is modest compared to the heat release. The design of the plant must therefore follow an integrated concept where process and utility requirements are balanced. This means that integration between heat released and cooling required shall be via steam and water systems in order to enable a cost efficient design. Within this integrated concept the synthetic water needs to be addressed.

Once Qatar was selected as the location to build a GTL plant, local conditions had to be taken into account. Qatar has an arid climate with maximum temperatures of 50 deg.C and a high solar intensity. Qatar had at the time the aspiration to become the GTL capital of the world, an ambition that has been reached, enabled by off-shore gas fields with world's largest reserves. In a wider perspective the water produced in GTL could be beneficial for the state of Qatar considering it continuous increasing need for water which is an enabler for economic growth in the emirate.

Qatar has adopted very strict environmental legislation, emissions to the atmosphere are allowed, comparable to the requirements in California, USA which are considered the most stringent in the world. This requirement has driven the design towards a very high energy efficiency concept with complex technical solutions to meet the legislative targets. Installation of DeNOx units on combustion equipment, a zero flaring philosophy and a high level of heat integration is resulting.

For cooling of the plant a predominantly air cooled concept has been adopted. This is driven by economical and operational considerations but also by the fact that water cooling would require a much higher water demand than the produced synthetic water. Consequently, additional water would be required, produced by desalination of sea water which in turn would require heat or power, both energy inefficient processes.

The strategy applied is therefore to use air cooling for the higher temperatures, water cooling for intermediate temperatures and chilling for the lowest temperature demands. Obviously chilling is an energy intensive way to produce cold and has therefore to be minimized. So the water cooling system should reach as low as possible temperatures to minimize chilling demands. On the other hand the lowest air cooling temperature is limited by the ambient conditions. The gap between air cooling and chilling is covered by water cooling, but this in turn is limited by the available synthetic water production.

The optimization is therefore done by heat integration within the processes, such that the air, chilling and water cooling duties match the constraints. For the Pearl GTL plant an additional dimension had to be considered which relates to the ambition of Qatar to benefit from the water production from the FT process. Consequently the design allows the production of clean water for export in excess water mode.

In addition the Qatar government does not allow discharge of water to the sea. This effectively means that all water produced in the GTL process has to be recovered, treated and either re-used or exported. Consequently a zero-liquid discharge concept is applied and a large water recycle in the plant results. This feature has a dramatic impact on the design since with the introduction of the recycle, the water work-up and treatment units become a regular process unit. The attention to the water treatment units in most plants is considered a necessity to meet legislative specs, this is still the case in the Pearl plant, the difference being that all other processes depend on it. Consequently the production capacity of the whole complex is directly linked to the design, operation and performance of the water treatment systems.

Water Management Scheme

Once the cooling demand was set by optimization of the system the task is to developed the process concept to upgrade the synthetic water produced in the FT process to make is suitable for reuse. The cooling optimization could be pushed to the point where more water was available than necessary for the water cooling demand, this excess water is in turn used to supply makeup water to the steam

system. In fact, in water excess mode more water is produced for export. By using this concept a suitable margin between production and demand is created in the water balance which is sufficient to satisfy the operational needs of the complex.
The synthetic water stream contains some traces of FT products and oxygenated hydrocarbons. In addition a number of inorganic trace contaminants are present that are formed as a by-product in the reaction.

The conceptual decision was taken to use biological treatment of the water stream, a similar approach as used in the Bintulu design that has shown its merits of the years. However the biodegradable content is high in the water stream, requiring a very large treatment section. Consequently a physical removal step is added upstream the biological treatment system which has several functionalities. Firstly deep cooling and phase separation of the water stream to remove most of the GLT products, this removes the level of GTL product to solubility levels as low as possible. Secondly the bulk removal of oxygenated hydrocarbons, this is done via distillation where the separated organic fraction is being reused in the complex. And thirdly the removal of inorganic impurities by steam stripping to reduce the inorganic load on the biotreater.
After this initial treatment the water is routed to the primary treatment systems where all other water streams from the complex are being collected as well. Standard oil separation is applied and sour streams are treated separately. The resulting stream is then routed to the biological treatment for deep removal of organics. The importance of deep removal is to be stressed here. In a zero-liquid discharge concept a lower conversion of organics would imply a recycle stream with these organics back to the biological treatment section. Recycles will increase the capital and operational cost of the plant and add complexity. So as a second conceptual decision, maximum removal of components at any treatment step is adopted. The objective being to improve economics and ease of operation. At the same time cascading of upsets from one unit to the next downstream unit is minimized which will support the stability of operation.
Downstream the biological treatment unit an Ultra Filtration (UF) unit is placed. The function being to remove solids and larger organics (if present). This unit then produces a stream that mainly contains ionic species. The use of other technologies to remove solids has been considered but the removal efficiency of UF membranes is considered superior as it is a robust physical barrier. Field experience from other operators has been gathered during the design phase to better understand the application range and limitations of this type of equipment. In addition this provided insight in the maintenance requirement and possible operational problems encountered.

In order to confirm the selected concept, a pilot test was conducted in the GTL plant in Bintulu that treated the effluent from the biotreater in order to collect data for the design of the unit. The objective of the test was to confirm the recovery and fouling of the UF and RO unit and extensive sampling and analysis of the water streams has taken place to detect trace level components. The membranes have been sent for autopsy to check integrity and to check the deposit composition. The pilot was carried out successfully, marginal fouling has been found and no show stoppers where identified in the autopsy.
Once the water is cleaned from solids, a Reverse Osmosis (RO) unit is used to polish the water quality to a high spec. In fact a dual RO step is included, this unit produces feed water for cooling towers to meet water cooling demands, while the excess amount of water is treated to a very low contaminant level, suitable for use in steam systems with minor treatment or export in excess water mode.
This way the synthetic water from the GTL process and all other site water streams are being collected, cleaned and reused. However the cooling tower system itself does generate a waste water stream by blow down from the units. For this function and dual membrane unit (UF/RO) is applied to treat the blow down water. The cleaned water in turn is recycled back to the cooling tower to be re-used.
This leaves the reject streams from the RO units which require treatment to comply with zero liquid discharge requirements. This stream is a relative concentrated brine stream that is routed to a zero-liquid discharge unit which evaporates the water to near the crystallization point. Then the stream is

fed to a crystallizer which in turn evaporates water to form crystals that are removed from the water stream. What is left is a clean water stream that is recycled back to the cooling towers again for reuse.
Zero-liquid discharge systems are not often applied in industrial plants. Their use is however quite widespread in areas with strict legislative requirements and/or limited water sources. Example are Orange County in Florida and the state of Arizona where quite a number of power plants are equipped with this technology.

Again, feedback has been sought from these operators to take their learning for operations and maintenance of these units. The experience has been used in the design of the Pearl water systems.
The composition of the feed stream to the zero liquid discharge unit has been a difficult subject to tackle. The main components are easily defined and will make up the majority of the composition but the smaller concentration components are difficult to define. For example corrosion products from the whole plant will enter the system and possibly end up in the zero liquid discharge unit. Then most of the chemicals in the plant will end up in the zero liquid discharge unit as well. Since contracts with chemical suppliers are made late in detailed engineering, the composition of all chemical concoctions are not known in the design phase.
Also the discussion with the authorities that need to grant waste permits are complicated by the fact that composition of the waste streams is not accurate at the time where the permits are requested. This requires a flexible approach from both the operator and the regulator and their cooperation is very important.

Challenges in Start-up and Operation

Once site activities start, the act of balancing water starts simultaneously. The Pearl site is very large, with several contractors working at the same time. Large amounts of water are required for the preparation of concrete and the curing of concrete. Later on the steel starts to come to the site when flushing and pressure testing requires even large amounts of water. Also testing of product tanks requires large amounts of water.
In line with local regulations, the discharge of water was not allowed which resulted in recycling of water during the construction and commissioning phase. Containerized treatment units have been used for this purpose. Quality control of the water has been a major task and control of the water inventory required a team of around 10 people to manage. Overall every drop of water in has been used at least six times once it entered the site in this phase of the project.
During the commission and start-up phase, the biotreater required special attention. This unit needed to be ready when the process complex was started. The ramp-up rate of the GLT complex determines the hydraulic and COD load on the biotreater and the growth capability of the biomass has to match this pattern.
Consequently the biotreater has been started on artificial feed and macro- and micro nutrients needed to be balanced in order keep the system healthy. At the same time the build-up of biomass in the system allowed early testing of the whole system including sludge treatment. It has been found that this early testing really paid off in terms of complex start-up and ramp-up times.
Apart from the internal complications to operate a unit in a closed loop mode at the time where construction and commissioning in other parts of the plant continued, it has been found that the logistics of chemicals, technical support and temporary equipment was very difficult. Careful forward planning in early days of the design is necessary to enable a smooth start-up.
The Zero Liquid Discharge unit was started early in stages to test the equipment. Sufficient water was available in the complex to run the evaporation units. In fact the amount of water to produce enough feed to the crystallizer unit is very high as the organic levels in the feed to the evaporator were quite low. The main complications have been found in rotating equipment. The unit operates with centrifuges to remove the crystals from the mother liquor. These centrifuges are sensitive and require a lot of operational attention. Also maintenance is required often and hence the maintenance department is to be involved early to keep things running smooth.

From an overall perspective the total water balance needs to be managed on a continuous basis. As the water to and from the system is dictated by the process operations, imbalance in demand and supply vary, leading to variations in the inventory of the complex. With this the composition of the streams requires careful monitoring and extensive sampling and analysis. A task that is easily under estimated.

The main complication for the water balance is to forecast the balance in early design phases. Decisions have to be made early to fix sizing parameter of equipment. It is found that there is only very limited data available from previous construction and commissioning experience. Quantitative data may be possible to generate but the qualitative data is very much a grey area. The message here is that this work is important and requires significant effort which will pay back at the end of the project curve where pressure to produce is very high.

The pilot testing of the membrane units is considered essential. It has determined the design parameters to be used (notably fluxes and cleaning cycles) and provided essential data for developing the design. The discussion on the cost of testing versus the benefits is a simple one in hindsight. The start-up of the membrane units was quick and although some initial problems have been found (and still being worked on), the benefit of test data saved a lot of time by getting good initial parameters for start-up. On the other hand, pilot testing is not the magic bullet to prevent all problems from happening, but is helps in risk reduction.

Another element that is to be considered is cycling of trace components. Nearly all chemicals that are introduced to the system will ultimately find its way to either the atmosphere (by evaporation) or to the waste streams (salt or sludge). However some components will concentrate in the system. For example recalcitrant components leaving the biotreater will accumulate. The experience is that there are only a very limited number of these components and these components can be addressed eventually but additional modifications are required in an operating plant. It is important to recognize these phenomena in the design phase already and carry out a sensitivity analysis to develop generic recovery plans in an early stage.

As an example the ingress of calcium and magnesium carbonates in the cooling tower system has been underestimated. The fine dust in Qatar does contain a high fraction of these components which are washed out the air in cooling towers. The components go to the membrane units and eventually find their way to the waste salt from the plant. This was not recognized during the design phase and luckily did not impact the actual operation of the plant but it is an important indicator that requires proper attention.

6. Concluding remarks

Design of integrated water treatment systems in a chemical complex is a difficult task as many uncertainties and unknowns exist. The additional dimension of zero liquid discharge significantly increases the complexity. Several barriers have been built in the design to prevent cascading of problems. Every unit operation is designed for maximum removal efficiency. All input data has been evaluated and sensitivities have been applied where the certainty or quality of data was found limited. Equipment has been tested and experience from others has been sought and implemented in the design.

Hence in summary the approach taken for the water integration of the Pearl GTL plant is to focus on continued de-risking of the technical design and its input parameters. It is believed that this approach, combined with endless effort from all people involved in the whole process has lead to the successful start-up of the complex.

Flash Presentaties Drinkwater

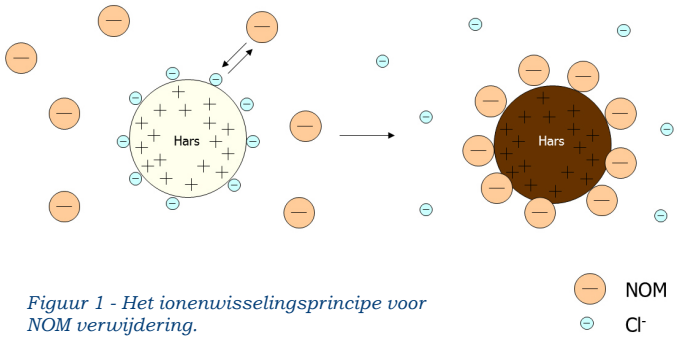
NOM in de waterzuivering

Anke Grefte
TU Delft

Introductie

Drinkwaterbehandeling bestaat uit verschillende stappen, afhankelijk van de kwaliteit van het ruw water. De aanwezigheid van natuurlijk organisch materiaal (NOM) kan problemen veroorzaken in de behandeling en in de distributie van drinkwater. NOM veroorzaakt een hoge coagulantdosering, hoge ozondosering en korte looptijden van actieve kool (GAC) filters. NOM kan een bron zijn voor nagroei in het distributiesysteem en kan de biologische stabiliteit van het drinkwater verminderen. Wanneer het ruw water hoge NOM concentraties bevat, dan moet dit in de drinkwaterzuivering worden verwijderd.

De zuiveringsprocessen die negatief worden beïnvloed door de NOM, zoals actieve koolfiltratie, verwijderen ook NOM. Echter, deze processen moeten worden geoptimaliseerd voor de verwijdering van andere stoffen dan NOM, zoals organische microverontreinigingen. NOM in water kan worden verwijderd door anionwisseling (IEX), omdat het grootste deel van NOM negatief geladen is. Bij anionwisseling wisselen negatief geladen chloride ionen op het hars met negatief geladen NOM, zie Figuur 1. IEX is een veelbelovende methode voor NOM verwijdering, omdat de contacttijden kort zijn en de looptijden van IEX kolommen op kunnen lopen tot enkele weken. IEX is relatief goedkoop, eenvoudig te bedienen en het kan uitgevoerd worden in een compacte installatie. De efficiëntie van NOM verwijdering door IEX is afhankelijk van o.a. NOM concentratie, NOM samenstelling, type IEX hars, contacttijd en de configuratie van de IEX installatie. IEX kan worden uitgevoerd als een gepakt bed of een gefluïdiseerd bed, zoals Magnetic IEX (MIEX), gefluïdiseerde IEX (FIX) of gesuspendeerd bed IEX (SIX). Wanneer het hars verzadigd is, dan wordt een 10% natriumchlorideoplossing gebruikt voor de regeneratie van het hars. Het restproduct van IEX



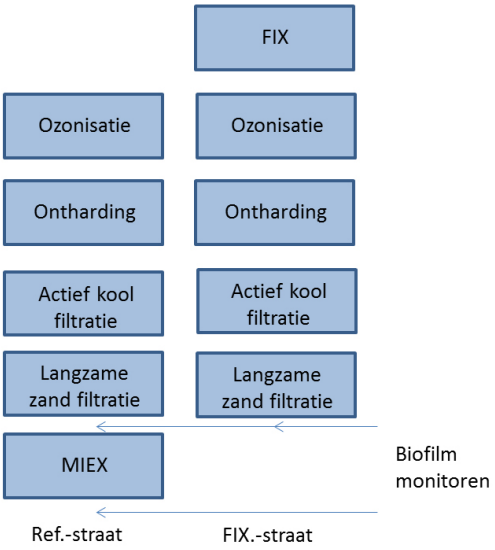
Figuur 1 - Het ionenwisselingsprincipe voor NOM verwijdering.

Figuur 2 - De FIX installatie gebruikt voor de onderzoeken in de proefinstallatie van WPK.

regeneratie bestaat uit water, zout (NaCl) en NOM, voornamelijk humuszuren. Het afval kan worden afgevoerd naar het riool of rechtstreeks naar de afvalwaterzuiveringsinstallatie. Echter, humuszuren zijn niet gemakkelijk biologisch afbreekbaar en niet wenselijk in het effluent van de behandeling van afvalwater. Daarnaast kan een hoge zoutconcentratie problemen geven in de afvalwaterzuivering. Om het afvalproduct te beperken kan door membraanfiltratie het zout gescheiden worden van de humuszuren. Zo kan het zout worden hergebruikt en voor de hoge concentratie humuszuren zijn onderzoeken gaande naar verwerking/afbraak of hergebruik van deze NOM.

Het doel van dit onderzoek is het verbeteren van de kwaliteit van het drinkwater, met inbegrip van biologische stabiliteit, door het toevoegen van IEX voor NOM verwijdering in de zuiveringsstraat. Verschillende posities van IEX in de zuiveringsstraat (IEX geplaatst voor coagulatie, voor ozonisatie of na langzame zandfiltratie) en twee IEX configuraties (MIEX En FIX) werden vergeleken op waterkwaliteit evenals op kosten. Ook is er een studie gedaan naar het effect van NOM verwijdering door IEX op ozonisatie.

Hiertoe werd de voorbehandelingsinstallatie op Loenderveen en productie-installatie Weesperkarspel (WPK) van Waternet, het watercyclusbedrijf van Amsterdam, gebruikt als "case study". De productie van WPK is ongeveer 30 Mm^3 water per jaar. Bij de voorbehandelingsinstallatie wordt oppervlaktewater uit de Bethune polder gezuiverd door coagulatie en sedimentatie, gevolgd door natuurlijke zelfreiniging in een meer en snelle zandfiltratie. De voorbehandelingsinstallatie verwijdert gedeeltelijk zwevende stoffen, fosfaat, zware metalen en pathogene micro-organismen. Het zet ammonium om in nitraat en vlakt piekbelastingen af. Het voorbehandelde water wordt verpompt naar de productie-installatie op WPK. Daar wordt het water behandeld door ozonisatie voor desinfectie, de hardheid wordt verlaagd door een onthardingsinstallatie, gevolgd door verwijdering van organische verbindingen in biologisch actief kool filtratie. Als laatste behandelingsstap gaat het water door langzame zandfilters voor de verwijdering van pathogene micro-organismen en ter verlaging van de AOC (assimileerbaar organisch koolstof) concentratie.

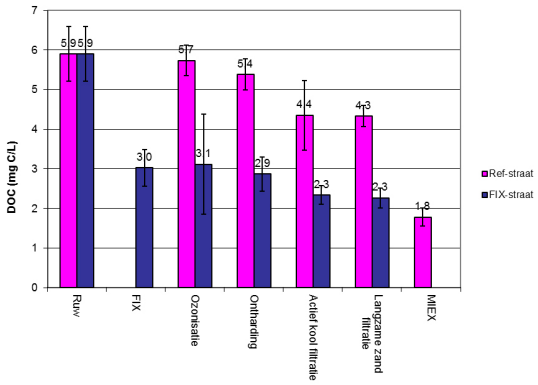


Figuur 3 - De zuiveringsstraten.

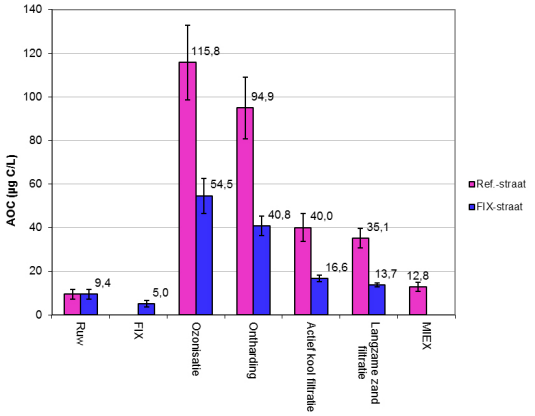
NOM verwijdering door IEX in de zuiveringsstraat

Experimenten zijn uitgevoerd in de proefinstallatie van WPK, eigendom en geëxploiteerd door Waternet. De proefinstallatie bestaat uit 2 zuiveringsstraten met dezelfde behandeling processen en met vergelijkbare contacttijden als in de "full-scale" zuiveringsinstallatie en op een schaal van ongeveer 1:200 ten opzichte van de "full-scale" zuiveringsinstallatie. Het maximale debiet in de proefinstallatie was 7 m^3/h per zuiveringsstraat. De proefinstallatie was uitgebreid met een MIEX installatie en een FIX installatie in een van de zuiveringsstraten. De MIEX installatie werd in een van de zuiveringsstraten na langzame zandfiltratie geplaatst. De FIX installatie, zie Figuur 2, werd gepositioneerd voor ozonisatie, zie Figuur 3. Drie FIX kolommen werden parallel aan elkaar plaatst met een debiet van 4 m^3/h per stuk en bevatten Lewatit VP OC 1071-type hars, een sterke basisch gel hars met een acryl (type 1) structuur. Het effluent van de 3 FIX kolommen werd gemengd. Hierdoor werd er continu water van dezelfde kwaliteit gebruikt voor de ozon experimenten.

In deze studie werd biologisch stabiel water gedefinieerd in termen van AOC, BVS (biofilmvormingssnelheid) en DOC. De DOC-concentratie na de zuiveringsstraat werd verlaagd van 4,3 naar 2,3 mg C/L, door de voorbehandeling met FIX. MIEX na langzame zandfiltratie verlaagde de DOC-concentratie van 4,3 tot 1,8 mg C/L, zie Figuur 4. De AOC-concentratie in het water voor ozonisatie was ongeveer 7 µg C/ L. Na FIX was de concentratie verlaagd tot ongeveer 3,5 mg C/L, een vermindering van 50%. Door de uitbreiding van de zuiveringsstraat met FIX kolommen voor ozonisatie, werd er minder AOC gevormd dan zonder FIX behandeling (54,5 µg C/L in plaats van 115,8 ug C/L), zie Figuur 5. Door de lagere AOC-concentratie na ozonisatie was ook de AOC-concentratie na langzame zandfiltratie afgenomen (14,3 ug C/L in plaats van 38,1 µg C/L). Door de uitbreiding van de zuiveringsstraat met MIEX aan het einde van de zuivering, werd de AOC concentratie verminderd van 38,1 tot 13,6 µg C/L. Verwijdering van ongeveer 50% van de DOC-concentratie voor ozonisatie of 58%



Figuur 4 - DOC waardes na elke zuiveringsstap.



Figuur 5 - AOC waardes na elke zuiveringsstap.

van de DOC-concentratie na langzame zandfiltratie resulteerde in gelijke AOC concentratie na de zuiveringsstraat. De BVS van het water na langzame zandfiltratie van de FIX-straat was 2,0 pg ATP/cm^2.dag; dit was een verbetering ten opzichte van de bestaande waarden van 6,6 pg ATP/cm^2.dag. Dus de biologische stabiliteit van het water na de zuivering, uitgedrukt in DOC, AOC en BVS, verbeterde door uitbreiding van de behandelingstrein met FIX. MIEX verbeterde de biologische stabiliteit, uitgedrukt in DOC en AOC, maar de resultaten voor BVS waren onbruikbaar doordat er veel ionenwisselingshars uit de MIEX proefinstallatie in het effluent terecht was gekomen.

Helaas waren de DOC en AOC waarden niet onder de beoogde concentratie van 10 µg C/L voor AOC en 1 mg C /L voor DOC, maar de proefinstallatie was niet zo effectief in DOC verwijdering als de "full-scale" installatie is. De verwachting is dat de beoogde waarden kunnen worden bereikt bij de uitvoering van FIX in de "full-scale" zuivering.

Om te bepalen welke positie voor IEX het goedkoopst zal zijn werden drie posities geselecteerd voor NOM verwijdering door IEX: (1) voor coagulatie, (2) voor ozonisatie en (3) na langzame zandfiltratie. Uitgangspunt was dat de DOC concentratie na de langzame zandfilters voor alle 3 posities 1 mg C/L moest zijn, waarbij ervanuit is gegaan dat navolgende zuiveringsstappen procentueel dezelfde hoeveelheid DOC verwijderen, ook als de DOC concentratie verlaagd is door voorzuivering met IEX.
Absoluut gezien moet er voor coagulatie het meest NOM verwijderd worden, namelijk van 9.0 mg C/L naar 3.5 mg C/L. Dit zorgt voor de hoogste verwerkingskosten voor het regeneraat en dat maakt dit de duurste optie, zie Tabel 1.

De toevoeging van een IEX installatie in de zuiveringsstraat beïnvloedt daaropvolgende zuiveringsprocessen. Het verwijderen van NOM voor coagulatie, zal de coagulantdosering verminderen. Momenteel verwijdert coagulatie 1,9 mg C/L, als IEX voor coagulatie wordt geplaatst hoeft er nog slechts

Tabel 1 - Kosten voor IEX voor 3 verschillende posities in de zuiveringsstraat.

Kosten (€/jaar)	**Voor coagulatie**	**Voor ozonisatie**	**Na langzame zandfiltratie**
Regeneraat transport	224 364	237 076	366 198
Regeneraat verwerking	451 642	312 044	164 104
Zout	68 688	72 576	112 104
Vaste kosten	1 224 000	1 244 000	1 224 000
Totaal	1 968 694	1 845 696	1 866 536
€/m^3	0.0656	0.0615	0.0622

Tabel 2 - Netto kosten voor het bouwen van IEX op verschillende posities in de zuiveringsstraat.

Kosten (€/m^3)	**Voor coagulatie**	**Voor ozonisatie**	**Na langzame zandfiltratie**
Kosten	0.0656	0.0615	0.0622
Besparingen:			
Coagulatie	0.0037	-	-
Ozonisatie	0.0040	0.0040	-
Actief kool filtratie	0.0089	0.0089	-
Netto kosten	0.0490	0.0486	0.0622

0,75 mg C/L verwijderd te worden. DOC verwijdering wordt verlaagd met 60%, uitgaande van een lineaire afhankelijkheid van de coagulantdosering en slibproductie, zal de hoeveelheid slib ook met 60% verminderen. Wanneer een lineair verband tussen ozondosering per DOC en desinfectiecapaciteit wordt aangenomen, kan de ozondosering worden verlaagd van 2,0 tot 0,75 mg/L. Momenteel is de contacttijd in de BAC filters 52 min, ongeveer 15 van de 26 filters worden per jaar geregenereerd. De looptijd van elk filter is ongeveer 1,7 jaar. Wanneer IEX voor BAC in de zuiveringsstraat wordt geplaatst, kan DOC verwijdering door BAC worden verminderd met 66%. Uitgaande van een verlenging in looptijd van 66%, hoeven slechts 9 kolommen per jaar geregenereerd te worden. Het vergelijken van de netto-kosten (tabel 2) toont aan dat IEX voor coagulatie en IEX voor ozonisatie de meest kosteneffectieve opties zijn als gevolg van de besparingen op coagulatie, ozonisatie en BAC. IEX na langzame zandfiltratie heeft geen invloed op andere zuiveringsprocessen en dus zijn de netto kosten het hoogst. De klant van Waternet betaalt 1,70 €/m^3 voor kraanwater. De totale kosten voor het bouwen van IEX voor ozonisatie zijn 0,0486 €/m^3 (zie tabel 2), dus de waterprijs voor de consument zal door het gebruik van IEX toenemen met 2,9%.

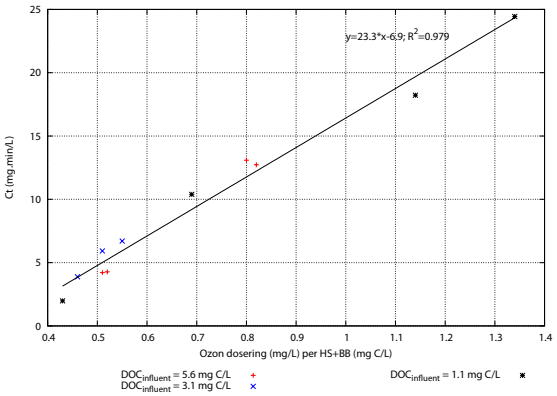
Het effect van NOM verwijdering door IEX op ozonisatie

De belangrijkste doelen van ozonisatie zijn desinfectie en oxidatie van organische stoffen. Er is al veel onderzoek gedaan naar het effect van NOM op ozonisatie voor verschillende bronnen en NOM samenstellingen. De belangrijkste conclusie uit deze onderzoeken was dat ozonisatie van NOM nog niet volledig begrepen wordt, vanwege de complexiteit van NOM en de ruimtelijke en temporele variaties van NOM in bronnen voor drinkwater. Wel is er aangetoond dat ozonisatie zorgt voor de opsplitsing van humuszuren in kleinere NOM verbindingen.

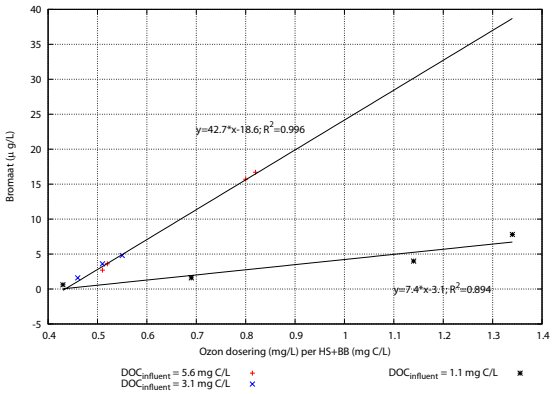
Tijdens ozonisatie wordt bromaat, een desinfectiebijproduct, gevormd. Omdat bromaat mogelijk kankerverwekkend is, zijn er wettelijke normen opgesteld die de aanwezigheid van bromaat in het drinkwater beperken. Deze normen zorgen voor een beperking van de ozondosering, waardoor ook de desinfectiecapaciteit beperkt is. Desinfectie door ozonisatie wordt bepaald door de ozonconcentratie in water en de contacttijd (Ct-waarde). Bromaatvorming tijdens ozonisatie is direct afhankelijk van de bromideconcentratie, ozonconcentratie, zuurgraad, alkaliniteit en de temperatuur van het water. Indirect hangt bromaatvorming af van de aanwezigheid van NOM, omdat dit de initiële ozonconcentratie vermindert. Als de DOC concentratie voor ozonisatie verlaagd wordt en de Ct waarde gelijk blijft dan blijft waarschijnlijk de vorming van bromaat gelijk wanneer de ozondosering in dezelfde mate wordt verminderd als de DOC concentratie. Echter, in de literatuur zijn verschillende bromaat productiesnelheden gevonden voor dezelfde DOC concentraties, maar voor verschillende geïsoleerde NOM componenten. Daarom lag de focus van dit onderzoek op de reactie van ozon met NOM voor drie watersoorten met verschillende DOC concentraties (DOC 5.6, 3.1 en 1.1 mg C/L) en NOM samenstellingen, verkregen na verschillende stadia van het IEX-proces. Twee ozon (O_3) concentraties werden toegepast voor water zonder FIX behandeling (DOC 5.6 mg C/L), namelijk 2.5 mg O_3 / L en 4.0 mg O_3 / L. Voor water soorten verkregen na FIX behandeling, werd de ozonconcentratie verlaagd. In totaal werden 12 combinaties van ozonconcentratie en DOC concentratie (of NOM samenstellingen) uitgevoerd. Humuszuren en afbraakproducten van humuszuren werden gemeten met de NOM karakteriseringsmethode LC-OCD.

De reactie van ozon op NOM verschilde per NOM samenstelling. Ozonisatie van water, bestaande uit hoofdzakelijk humuszuren, zorgde voor een toename van kleinere NOM fracties, door de afbraak van NOM met een hoger molecuulgewicht in NOM met een lager molecuulgewicht. Nadat FIX de humuszuren (deels) had verwijderd veroorzaakte ozonisatie een toename van NOM met een hoog molecuulgewicht en nam de hoeveelheid NOM met een laag molecuulgewicht af, wat niet volgens de verwachting was. Meer onderzoek is nodig om dit verschijnsel te verklaren.

Voor dezelfde ozondosering per DOC werd minder bromaat gevormd, werden lagere Ct waarden



Figuur 6 - Ozondosering per HS en BB component tegen de bepaalde Ct waardes.



Figuur 7 - Ozondosering per HS en BB component tegen de gevormde bromaat concentratie.

bereikt en was het ozon gebruik hoger voor water met NOM dat hoofdzakelijk uit humuszuren (HS) en afbraakproducten van humuszuren (building blocks (BB)) bestond, dan voor water waar 60% of 90% van de humuszuren en 25% of 80% van de afbraakproducten van humuszuren werden verwijderd.

Omdat HS en BB de belangrijkste NOM componenten zijn die reageren met ozon, werd er een lineair verband tussen ozondosering per de som van HS en BB concentratie en Ct (Figuur 6) of bromaat (Figuur 7) vorming waargenomen. FIX verwijderde bromide in de eerste 1.000 BV, dit verminderde de vorming van bromaat door ozonisatie meer dan wanneer alleen NOM werd verwijderd.

Conclusies

Uit dit onderzoek naar NOM in de zuivering en verwijdering van NOM door IEX kan worden geconcludeerd dat ionenwisseling een goede en kosteneffectieve manier is om NOM te verwijderen. Ionenwisseling verwijderde vooral de humuszuren wat een gunstig effect heeft op navolgende zuiveringsprocessen. Ook de biologische stabiliteit van het drinkwater werd verbeterd door het toepassen van ionenwisseling in de zuiveringsstraat. Het bleek dat voor de zuiveringslocaties Loenderveen en Weesperkarspel van Waternet, ionenwisseling het beste geplaatst kan worden voor ozonisatie. De kosten zijn hier het laagst en de verbetering van de waterkwaliteit aan het einde van de zuiveringsstraat is het hoogst.

Monitoring van het distributienet om afwijkingen te detecteren

Martijn Bakker
RHDHV
TU Delft

Inleiding: kwetsbaarheid van distributie netwerken

Het drinkwater wordt vanaf de waterzuiveringen naar de onze huizen en bedrijven verpompt via de distributie netwerken. Deze netwerken zijn zeer uitgebreide systemen: naast elke straat en naast veel wegen en door veel weilanden liggen leidingen waardoor het water stroomt. De leeftijd van deze leidingen is divers: in jonge steden of in nieuwe woonwijken zijn de leidingen nog vrij nieuw, maar in de oude stadcentra zijn de leidingen veel ouder, tot soms wel meer dan 100 jaar oud. Het (hoofd) leidingnetwerk in Nederland heeft een totale lengte van circa 120.000 km, ofwel 3 rondjes om de aarde.

Leidingbreuken in Nederland

Met een dergelijke uitgebreid leidingnet van variërende leeftijd, zou je veel storingen kunnen verwachten. En die verwachting klopt. In ons leidingnet treden gemiddeld 0,07-0,09 leidingbreuken per km per jaar op (Trietsch and Vreeburg (2005)). Voor heel Nederland komt dit overeen met 10.000 breuken per jaar, ofwel 28 breuken per jaar. Voor de kleinere waterleidingbedrijven in Nederland betekent dit gemiddeld 1 breuk per dag, terwijl het grootste waterleidingbedrijf gemiddeld 10 breuken per dag krijgt te verwerken. Omdat het grootste deel van het leidingnet bestaat uit leidingen met een relatief kleine diameter, treedt ook het grootste deel van de breuken op in deze kleinere leidingen. De overlast van deze breuken is relatief beperkt: bij een beperkt aantal consumenten komt er geen water uit de kraan, of is de druk lager dan normaal. Met enige regelmaat treden echter leidingbreuken op, waarvan de gevolgen aanzienlijk groter zijn.

Figuur 1 - Voorbeeld van een leidingbreuk.

Deze gevolgen hebben enerzijds betrekking op de waterlevering: een groot aantal consumenten krijgt gedurende meerdere uren geen water uit de kraan. Anderzijds kunnen dergelijke breuken soms aanzienlijke schade aan de omgeving toebrengen: het wegstromende water zet kelders of laaggelegen gebieden onder water, of ondermijnt en beschadigd het (verhard) oppervlak (wie kent er niet de vaak spectaculaire foto's van auto's of vrachtauto's die gedeeltelijk of geheel zijn verdwenen in een gat dat is ontstaan doordat het wegstromende drinkwater de ondergrond heeft meegevoerd). De schade van dergelijke incidenten is niet zelden 10 duizenden euro's tot soms meer dan 100 duizend euro.

Bruin water klachten in Nederland

De verkleuring van drinkwater die leidt tot zogenaamde "bruin water klachten", is een andere regelmatig optredende verstoring van de normale drinkwatervoorziening. Een groot deel van de klachten van consumenten of de waterlevering zijn gerelateerd aan de verkleuring van het water: Variërend van 34% in het Verenigd Koninkrijk (Vreeburg and Boxall (2007)) tot 75% bij een Australisch waterbedrijf (Kjellberg et al. (2009)).

Besmetting van het drinkwater

Een besmetting van het drinkwater kan ernstige gevolgen hebben voor de volksgezondheid. Een besmetting kan resulteren in ziektegevallen en in ernstige situaties zelfs dodelijke slachtoffers. Dergelijke ernstige gevallen komen gelukkig slechts sporadisch voor: In de afgelopen ruim 60 jaar zijn drie gevallen bekend van besmettingen van het drinkwater in Nederland met ziektegevallen tot gevolg (Smeets et al. (2009)). In alle drie gevallen werd de besmetting veroorzaakt doordat niet-drinkwater het distributienet werd ingepompt via een foutieve doorverbinding. Op basis van dit beperkte aantal gevallen zou besmetting via het distributienet van eens per 20 jaar voor heel Nederland verwacht mogen worden. Onderzoeken voor een aantal West-Europese landen (Risebro et al. (2005)) en in de Verenigde Staten (Craun et al. (2010)) laten zien dat het aantal incidenten in het buitenland weliswaar relatief iets hoger ligt, maar wel in dezelfde orde grootte: vertaald naar de Nederlandse bevolkingsomvang eens in de 17 jaar voor de West-Europese landen en eens in de 14 jaar voor de Verenigde Staten.

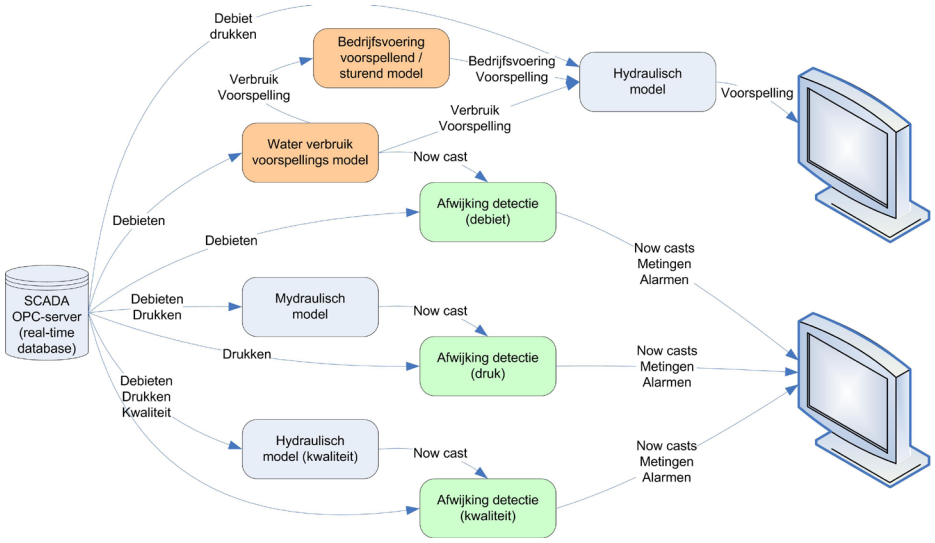
Terroristische aanslagen

De terroristische aanslagen op 11 september 2001 in New York hebben de wereld bewust gemaakt van de kwetsbaarheid voor terroristische aanslagen. Grote private en publieke bedrijven, waaronder de waterleidingbedrijven, zijn als reactie daarop gestart met het in kaart brengen van hun kwetsbaarheid en de mogelijkheden om zich hiertegen te beschermen. De Nederlands waterleidingbedrijven hebben maatregelen genomen om de bovengrondse assets (zuiveringen, pompstations, kantoren) beter te beschermen door het aanbrengen hekken, verbeterde sloten, installeren inbraakbeveiliging systemen, et cetera. De beveiliging van de ondergrondse assets is nog niet opgelost. Doordat de uitgestrektheid van het leidingnet, bovendien veelal in openbare ruimte, is fysieke beveiliging onmogelijk. Voor de beveiliging met technische maatregelen (door het plaatsen van sensoren en installeren van detectiealgoritmen) is tot op heden geen praktische oplossing gevonden.

Maar hoe groot is het gevaar van terroristische aanslagen op onze leidinginfrastructuur? De Nederlandse watersector is tot heden niet opgeschrikt door een aanslag. Wereldwijd zijn wel enkele gevallen bekend (waarvoor, gezien de ernst en de aard van de gevallen, de term moedwillige besmetting beter op zijn plaats is dan de term terroristische aanslag). Gemiddeld vindt circa één moedwillige besmetting van het drinkwater per jaar op de hele wereld plaats. Vertaald naar de Nederlandse bevolkingsomvang zou dit overeen komen met één moedwillige besmetting per 400 jaar.

Monitoren van het distributienet

Uit bovenstaande blijkt dat het drinkwater distributienet kwetsbaar is voor verstoringen. Dit kunnen spontane verstoringen zijn tengevolge van de veroudering van het leidingnet, verstoringen als gevolg van onbedoeld menselijk handelen (graafwerkzaamheden, aanleggen van kruisverbindingen), en verstoringen als gevolg van bedoeld menselijk handelen (moedwillige besmetting



Figuur 2 - Modules van de Distributie Monitor.

van het drinkwater). Deze kwetsbaarheid is voor een consortium bestaande uit TU Delft, RIVM, 4 waterleidingbedrijven en 2 marktpartijen aanleiding geweest om een onderzoeksproject op te starten, waarvoor een Innowator subsidie is verkregen. Eén van de doelen van dit consortium is het ontwikkelen van modellen om verstoringen in de dagelijkse bedrijfsvoering zo vroeg mogelijk te ontdekken. Door vroegtijdige ontdekking kan het waterleidingbedrijf direct beginnen met het treffen van mitigerende maatregelen, waardoor zij de gevolgen voor het publiek en eventuele schade aan de omgeving kan minimaliseren. Het consortium heeft ervoor gekozen om zich te richten op "normale" veel voorkomende verstoringen, zoals leidingbreuken en bruin water gebeurtenissen.

De redenen hiervoor zijn de volgende:

- Voor detectie van dit soort verstoringen zijn goede sensoren beschikbaar;
- Omdat deze gebeurtenissen vaker voorkomen, kan het te ontwikkelen model direct in praktijk getest en eventueel verbeterd worden.

Aan de hand van het project zullen de deelnemende waterleidingbedrijven ervaring kunnen opdoen met monitoring van het distributienet. Deze ervaring zal in een eventueel vervolg project gebruikt kunnen worden voor het uitbreiden van de bewakingsfunctionaliteit. Bij deze eventuele uitbreiding zal ook bewaakt worden op veel minder vaak voorkomende, maar potentieel gevaarlijker afwijkingen zoals onbedoelde of bedoelde besmetting van het drinkwater.

Te ontwikkelen monitoringssysteem

Om afwijkingen snel te detecteren wordt een monitoringssysteem ontwikkeld voor distributienetwerken, genaamde de "Distributie Monitor". Deze monitor bewaakt water kwantiteit en in beperkte mate water kwaliteit. De Distributie Monitor bestaat uit de volgende elementen:

1. Een netwerk van debiet-, druk- en kwaliteitssensoren;
2. Een real-time draaiend hydraulisch model met kwaliteitsmodule;
3. Een algoritme voor detectie van afwijkingen;
4. Een voorspellingsmodel voor de drinkwatervraag en bedrijfsvoering.

De Distributie Monitor wordt beschikbaar gemaakt voor de operators op het centrale bedrijfsvoeringcentrum of voor de medewerkers die verantwoordelijk zijn voor storingen in het distributienetwerk. Het functioneel ontwerp van de Distributie Monitor is weergegeven in Figuur 2.

1. Een netwerk van debiet-, druk- en kwaliteitssensoren

In het distributienet moeten druk-, debiet- en (eventueel) kwaliteitsensoren aanwezig zijn; zonder deze sensoren kan de Distributie Monitor niet functioneren. De metingen moeten real-time beschikbaar zijn, om ook real-time afwijkingen te kunnen detecteren. In de meeste distributienetwerken zijn standaard al een aantal druk- en debietmetingen beschikbaar, die nodig zijn voor de besturing van de pompen en regelkleppen. In de huidige praktijk hebben de meeste Nederlandse waterleidingbedrijven geen kwaliteitsensoren in het distributienet geïnstalleerd. Om afwijkingen in de waterkwaliteit in het distributienet te kunnen detecteren, zullen deze wel geïnstalleerd moeten worden. In een eerste installatie van de Distributie Monitor zal gebruik gemaakt worden van standaard sensoren voor geleidbaarheid, temperatuur en troebelheid.

De fijnmazigheid van het sensornetwerk bepaalt de nauwkeurigheid waarmee het distributienetwerk gemonitord kan worden. Wanneer weinig sensoren aanwezig zijn, kunnen alleen zeer grote gebeurtenissen (zoals de breuk van een grote transportleiding) gedetecteerd worden; kleinschaliger gebeurtenissen zullen onopgemerkt blijven. Naarmate méér sensoren geplaatst worden, kunnen ook kleinschaliger gebeurtenissen gedetecteerd worden. Voor het functioneel ontwerp van de Distributie Monitor maakt dit echter niet uit.

2. Een real-time draaiend hydraulisch model met kwaliteitsmodule

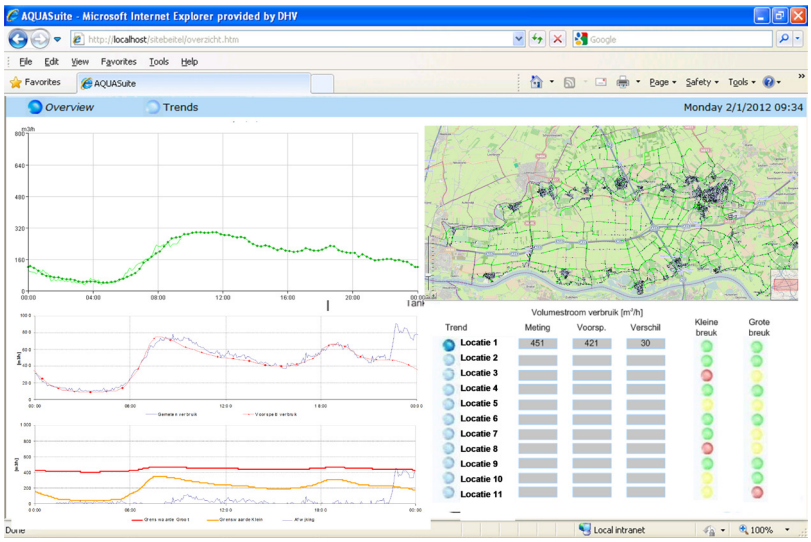
De real-time metingen van debiet en druk op de pompstations of andere druk / debiet regelende locaties zullen gebruikt worden als inputs voor het real-time draaiend hydraulisch model. Machell et al. (2010) hebben de voordelen en praktische aandachtspunten van een real-time draaiend hydraulisch model beschreven. Aan het hydraulisch model zal een waterkwaliteitsmodule gekoppeld worden (EPANET-MSX), waarmee waterkwaliteitsberekeningen worden gedaan. Met het model zal voor elke gemeten waarde van druk, debiet en waterkwaliteit een voorspelde waarde gegenereerd worden. Deze zogenaamde "now-cast" voor druk en debiet wordt berekend door elke 5 minuten een statische berekening te doen. De "now-cast" voor de waterkwaliteiten wordt gebaseerd op de uitkomst van de hydraulische berekening, waarbij de berekende waterkwaliteiten van de vorige tijdstap gebruikt worden als startwaarden bij de berekening.

3. Een algoritme voor detectie van afwijkingen

De gemeten en voorspelde ("now-cast") waarden van debiet, druk en kwaliteit worden gebruikt als inputs voor het algoritme voor detectie van afwijkingen. Voor het detecteren van leidingbreuken of gebeurtenissen waarbij niet-drinkwater het leidingnet wordt ingepompt, wordt het voorspelde en het gemeten drinkwaterverbruik vergeleken (beschreven in Bakker et al. (2012)). Voor het bepalen van de locatie van de leidingbreuk worden metingen en voorspellingen van druk en debiet in een leidingnetmodel geëvalueerd. Op basis van iteratieve berekeningen kan hiermee de meest waarschijnlijke locatie afgeleid worden. Voor het detecteren van afwijkingen in de waterkwaliteit wordt gebruik gemaakt van de CANARY software (Fisher (2010)).

4. Een voorspellingsmodel voor de drinkwatervraag en bedrijfsvoering

Op basis van de real-time gemeten debieten wordt het netto waterverbruik in elk verbruiksgebied bepaald. Dit verbruik is input voor het watervraag voorspellingsmodel. De voorspelde vraag alsmede actuele reservoirniveaus vormen vervolgens de input voor het bedrijfsvoering voorspellingsmodel. Dit model bepaalt de bedrijfsvoering van het systeem (productie debiet, pompdebiet / druk, regelklep instellingen) op basis van het voorspelde verbruik. De uitkomsten van dit model kunnen ook gebruikt worden om de infrastructuur direct aan te sturen, door de setpoints terug te sturen naar de lokale besturing. De voorspellingen van zowel de drinkwatervraag als de bedrijfsvoering worden doorgerekend met een hydraulisch model. Hiermee worden voorspellingen gegenereerd voor alle debieten, drukken en reservoir niveaus voor de komende 48 uur.



Figuur 3 - De user interface van de Distributie Monitor.

User interface

Het user interface van de Distributie Monitor zal bestaan uit webpagina's, waarin een overzicht geboden wordt van voorspelde en gemeten waarden en trends, en alarmeringen bij (te) grote afwijking tussen voorspelling en meting. De gebruiker krijgt hiermee inzicht in actuele afwijkingen, en in de verwachte bedrijfsvoering voor de komende 48 uur. De interface bevat niet alle geavanceerde functionaliteit die in moderne hydraulische modellen beschikbaar zijn. De resultaten zijn hierdoor makkelijker toegankelijk en begrijpelijk voor medewerkers die niet dagelijks met hydraulische modellen werken. Een voorbeeld van het user interface is weergegeven in Figuur 3.

Resultaten

De modules worden momenteel ontwikkeld en getest. Volgens de huidige planning zal een prototype in het najaar van 2013 geïmplementeerd worden. Op dit moment kunnen daarom nog geen ervaringen en resultaten van de Distributie Monitor getoond worden.

Conclusie

De te ontwikkelen Distributie Monitor ondersteunt waterleidingbedrijven bij het sneller ontdekken van afwijkingen in het distributienet. Hierdoor kunnen de bedrijven sneller reageren op afwijkingen, waardoor de overlast voor verbruikers verminderd kan worden en schade aan de omgeving beperkt kan worden. De Distributie Monitor wordt daarmee een belangrijke nieuwe functionaliteit voor de bewaking van distributiesystemen.

Referenties

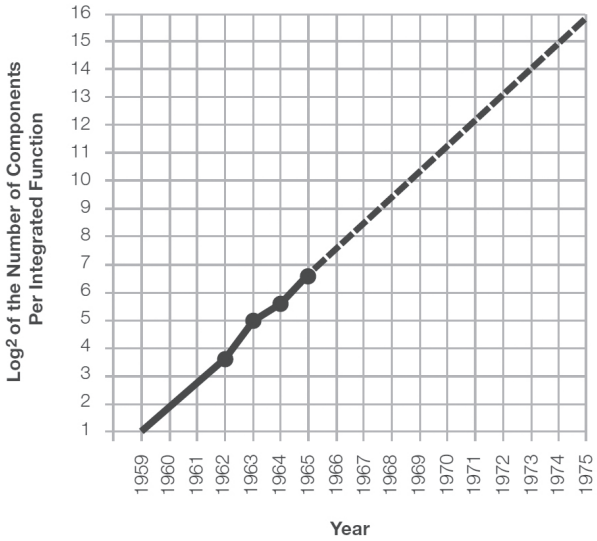
1. Bakker, M., Vreeburg, J.H.G., Van de Roer, M., and Sperber, V.(2012). "Detecting pipe bursts by monitoring water demand", Proceedings Waterloss Europe 2012 Conference, Ferrara, Italy.
2. Craun, G.F., Brunkard, J.M., Yoder, J.S., Roberts, V.A., Carpenter, J., Wade, T., Calderon, R.L., Roberts, J.M., Beach, M.J., and Roy, S.L. (2010). "Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006". Clinical Microbiology Reviews. 23 (3): 507-528.
3. Fisher, S. (2010). "Free software tool to monitor water supply". Pollution Engineering. 42 (8).
4. Kjellberg, S., Jayaratne, A., Cadan, E., Sukumaran, N., Vreeburg, J., and Verberk, J. (2009). "The resuspension potential method: Yarra Valley water's novel approach to routine mains cleaning". Water Science and Technology: Water Supply. 9 (5): 549-556.
5. Machell, J., Mounce, S.R., and Boxall, J.B. (2010). "Online modelling of water distribution systems:

A UK case study". Drinking Water Engineering and Science. 3 (1): 21-27.

6. Risebro, H., De Francia Doria, M., Yip, H., and Hunter, P.R. 2005. Intestinal illness through drinking water in Europe. In: Report of the Microrisk Project to the European Commission (contract EVK1-CT-2002-00123).
7. Smeets, P.W.M.H., Medema, G.J., and Van Dijk, J.C. (2009). "The Dutch secret: How to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands". Drinking Water Engineering and Science. 2 (1): 1-14.
8. Trietsch, E.A., and Vreeburg, J.H.G. (2005). "Reliability of valves and section isolation". Water Science and Technology: Water Supply. 5 (2): 47-51.
9. Vreeburg, J.H.G., and Boxall, D.J.B. (2007). "Discolouration in potable water distribution systems: A review". Water Research. 41 (3): 519-529.

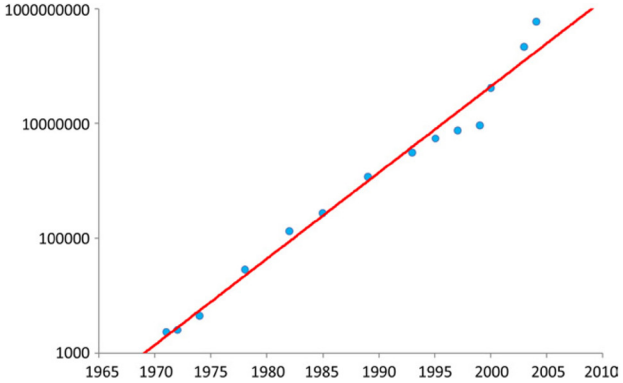
Data + modellen = dynamische informatie (=sexy)

In 1965 voorspelde pionier Gordon Moore dat het aantal componenten, transistoren, op een geïntegreerd circuit, een computerchip jaarlijks zou verdubbelen, zie Figuur 1.



Figuur 1 - Voorspelling aantal transistoren op een chip in 1965 (Moore, 1965).

Zijn voorspelling is zeer houdbaar gebleken, het aantal transistoren op een chip is sindsdien jaarlijks met een factor 1,58 gegroeid (Robison, 2012), zie Figuur 2.



Figuur 2 - Analyse aantal transistoren op een chip 1970-2010 (Robison, 2012).

Ignaz Worm
PWN
TU Delft

Omdat de ontwikkeling van chips gepaard is gegaan met beheersbare kosten is de totale rekenkracht van computers op de wereld explosief gegroeid tot 6 x 10^{12} MIPS (millions instructions per second) in 2007 (Hilbert and López, 2011). In 1986 zat het grootste deel van deze rekenkracht in calculators, in 2000 in PC's. Zeven jaar later hadden game consoles en mobiele telefoons beide al meer rekenkracht dan PC's in 2000. De totale hoeveelheid opgeslagen niet volatiele digitale data groeide tot 295 exabyte, dus 295 x 10^9 gigabyte in 2007 (Hilbert and López, 2011). Uitgedrukt in CD-ROMs in een hoesje, een stapel van 42m bij 42m met de hoogte waarvan Felix Baumgarter op 14 oktober 2012 naar de aarde sprong, 39 km.

Figuur 3 - Felix Baumgarter sprong op 14 oktober 2012 van 39 km hoogte naar de aarde (foto www.redbullstratos.com).

De rol van ICT en datastromen in ons dagelijks leven mag duidelijk zijn. Als de datasets zo groot zijn dat de gebruikelijke software om datasets in te lezen, op te slaan, te beheren en analyseren ze niet kan bevatten, spreken we van 'big data'. Strategie consultant McKinsey beschrijft big data als de nieuwe uitdaging in innovatie, competitie en productiviteit (Manyika et al., 2011). Kunnen we daar in de drinkwatersector iets mee? Ik denk van wel, alhoewel de schaal zal passen bij wie we zijn en wat we doen. PWN slaat jaarlijks 15 gigabyte aan procesdata op en beheert 3000 gigabyte aan klantgerelateerde data. We zullen door het koppelen van interne en externe databronnen, veelal gekoppeld aan een geografische locatie, en virtuele data gegenereerd met modellen, meer en meer informatie genereren die voor een individu van waarde is. Dat individu kan een klant zijn, een manager, een technoloog, een bedrijfsvoerder, een storingsmonteur, enz.

Hierna een terugblik op de afgelopen jaren, de integratie van procesmodellen met geëmuleerde procesautomatisering, het komende jaar, de human sensor, en de komende jaren, een breder onderzoek om van data informatie te maken.

Integratie procesmodellen geëmuleerde procesautomatisering software

Drinkwaterbedrijven zijn overgegaan op volautomatische bedrijfsvoering om een hogere en constantere waterkwaliteit te bereiken, minder afhankelijk te zijn van menselijke beperkingen (zoals de maximale werkduur en persoonlijke voorkeuren in de bedrijfsvoering), een hogere leveringszekerheid en lagere kosten. Als bedrijfsvoerders door de toegenomen afstand tot het zuiveringsproces niet meer adequaat kunnen handelen tijdens calamiteiten kan dat leiden tot verstoring of onderbreking van de drinkwaterlevering. Bovendien kan de procesautomatisering (PA) zelf falen. In de afgelopen jaren zijn emulatie platforms van PA-systemen geïntroduceerd in de drinkwatersector. Op deze platforms kan software worden uitgewisseld tussen een PLC (programmable logic controller) in de zuivering en een virtuele controller op een PC, vice versa, zonder iets te wijzigen in de software, zie Figuur 4.

Dit systeem is waarheidsgetrouw in bediening en gedrag van de software, maar er is een belangrijk verschil met de werkelijkheid, het gedrag van het proces ontbreekt. Door een hydraulisch model en een waterkwaliteitsmodel te koppelen aan het geëmuleerde PA-systeem wordt dit ondervangen, zie Figuur 5.

Er zijn drie toepassingen verkend van dit systeem, i) technologen de mogelijkheid bieden regelingen te ontwerpen en te evalueren, ii) het trainen van bedrijfsvoerders in een nagenoeg waarheidsgetrouwe 'human-in-the-loop' simulator, en iii) het functioneel testen van PA-software (Worm, 2012).

De overdracht van kennis in een simulator is bij PWN bepaald in de Waterspot simulator met vier testgroepen. Drie daarvan, ervaren bedrijfsvoerders (EB), minder ervaren bedrijfsvoerders (MEB) en

Figuur 4 - Emulatie van procesautomatisering software. Een PC gaat zich gedragen als één of meerdere virtuele procescontrollers (PLC's).

Figuur 5 - Door een procesmodel te koppelen wordt een nog meer waarheidsgetrouwe simulator gerealiseerd.

leken (L60x) trainden met een versnelde simulatie, de vierde groep, leken, trainde op normale snelheid (L1x). De trainees leerde hoe ze de waterkwaliteit van het effluent van de ontharding reactoren konden regelen. Tijdens het testen van de overdracht van de kennis, wanneer ze geconfronteerd werden met andere procesverstoringen dan tijdens de training, presteerde L60x significant slechter dan de bedrijfsvoerders (EB en MEB). Er werd geen onderscheid gemeten tussen de prestaties van de EB en de MEB en L60x presteerde beter dan L1x. Deze resultaten lijken het idee te bevestigen dat het leren regelen van een langzaam en complex proces kan verbeteren door op een herkenbare manier te trainen met versnelde simulatie.

Met de ontwerpmethode voor regelingen voor drinkwaterzuiveringen (Van Schagen et al., 2010) is een nieuwe regeling voor de pelletontharders op PWN zuivering Wim Mensink ontworpen. Een Stimela waterkwaliteitsmodel is opgesteld en gevalideerd. Met dit procesmodel zijn de effecten van de bestaande regeling van de ontharding vergeleken met een nieuwe regeling en werd het effect van een lagere toevoer van RO-water onderzocht. Aangetoond kon worden dat door de nieuwe regeling de capaciteit van de zuivering vergroot kon worden, en dat het gebruik van energie en chemicaliën verminderd kon worden. Tegelijkertijd kon de totale hardheid van het drinkwater dichter bij de gewenste waarde gebracht worden.

Tenslotte is de toegevoegde waarde onderzocht van proces simulatie modellen in de 'factory acceptance test' (FAT) van PA software. Twee test teams testten hetzelfde stuk aangepaste software. Eén team gebruikte hiervoor een testsysteem dat bestond uit een emulatie van de software geïntegreerd met een proces simulatie model, het AVC systeem, zoals te zien in Figuur 5. Het andere team gebruikte hetzelfde systeem met in plaats van het proces simulatie model, basale parameter relaties, het VC systeem. Elk team speurde één (verschillende) fout op van de dertien fouten die voor het experiment in de software waren gestopt, de meeste fouten waren tijdens de

unit test door het ontwerpteam gevonden. Tijdens de functionele test vond het AVC team drie fouten in de 78 geteste items, het VC team vier. Maar het AVC team beoordeelde 1% van de test items 'niet van toepassing', het VC team 17%, een indicatie dat met AVC meer getest kan worden. Met AVC kunnen niet overtuigend meer fouten worden gevonden dan met VC. Niet het proces gedrag is relevant voor de FAT van PA software, maar het over- of onderschrijden van proces grenzen.

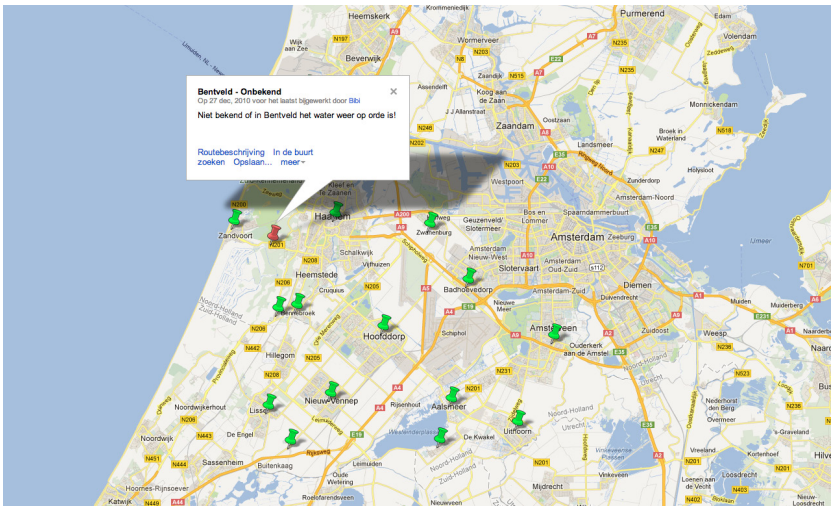
Human sensor

Besmettingen in het distributienet, grote lekken, kleine lekken... veroorzakers van ondermaatse leveringsminuten zijn het! En als ze optreden duurt het soms dagen voordat de bron gevonden is, zoals in 2009 in Rijsenhout toen een boer regenwater in het net pompte. Acht dagen zaten er tussen de eerste melding en het bepalen van de vermoedelijke locatie. Niet voor niets richten leveranciers en onderzoekers zich op het ontwikkelen van sensoren die in het distributienet geplaatst kunnen worden. Sensoren die lage concentraties moeten detecteren. Die weinig onderhoud mogen vergen en waarvan de data ontsluiting niet te veel mag kosten. Van deze sensoren zijn er heel veel nodig om een dekkend systeem te hebben. Is dat mogelijk? Het is moeilijk dit goed voor elkaar te krijgen … en vooral duur…

De uitval van Hoofddorp tijdens de Kerst van 2010 heeft ons geleerd dat onze eigen klant ook sensoren zijn. Binnen een uur circuleerde een kaartje op internet waar de klachten over waterdruk te zien waren, zie Figuur 6. En neemt het aantal telefoontjes naar het klant contact centrum niet toe als er een lek of besmetting is?

Doelstelling van dit project is om klacht-data, tweets en gemiste telefonische oproepen (allemaal geografisch gelabeld en voorzien van tijdstip) te gebruiken om de locatie van een probleem in het distributienet te bepalen. Het presenteren van deze informatie op een kaartje is al waardevol voor klanten, bedrijfsvoerders en storingsmonteurs, maar in de human sensor wordt de klachtdata ook gebruikt als input voor een leidingnetmodel met 'backtrace (terugreken)' functie.

De ingrediënten zijn grotendeels beproefd en beschikbaar, de combinatie is vernieuwend en kent een zeer gunstige verhouding tussen investering en opbrengst. Vermoedelijk om die reden is dit idee door experts van het Koninklijk Nederlands Waternetwerk overtuigend gekozen als 'het beste IT-idee in de watersector 2012'. PWN, Vitens en Brabant water dragen bij aan de ontwikkeling van dit concept.



Figuur 6 - Een klant van PWN publiceerde een overzicht van tweets over de onderbreking van de levering vanuit pompstation Hoofddorp.

Systeemanalyse drinkwaterprijs en risico

De huidige benchmark wordt door aandeelhouders vooral gebruikt om druk te zetten op beheersing van kosten, en minder op het verbeteren van de volksgezondheid of het vergroten van het klantvertrouwen. Het is dan ook goed nieuws dat de VEWIN zich heeft zich voorgenomen een verbeterde benchmark te ontwikkelen met de TU Delft. Want er lijkt ruimte om waterkwaliteit, leveringszekerheid en kosten weer meer in verband te zien. Eén methode om deze systeemanalyse te doen is het kwantitatief koppelen van de drinkwaterprijs aan het gewenste risico niveau. Maar een laag risiconiveau alleen is geen garantie voor klantvertrouwen, daar is ook een optimaal klantcontact voor nodig. Het is een uitdaging dat optimale klantcontact te uniformeren vanwege efficiëntie, maar tegelijk voldoende specifiek te maken om zo veel mogelijk aan te sluiten op individuele wensen. In meer technische termen is het boeiend te onderzoeken hoe we de klant 'in-the-loop' van de bedrijfsprocessen kunnen brengen om zo het drinkwatersysteem te optimaliseren.

Ik verwacht dat de invulling van optimaal de komende jaren zal veranderen. Door het steeds verder dalen van de detectiegrenzen van waterkwaliteitmetingen wordt het uitgangspunt 'we verwijderen tot onder de detectiegrens' te kostbaar. Voor waterkwaliteit groeien we naar een nieuwe definitie toe, bijvoorbeeld 'de waterkwaliteit staat boven elke verdenking'. Zolang zich geen nieuwe bedreigende stoffen aandienen lijkt het daarmee verantwoord het streven naar een steeds betere drinkwaterkwaliteit af te remmen. Op het gebied van leveringszekerheid, of preciezer beschikbaarheid, lijkt het er op dat we minder storingen hebben dan de klant accepteert. Uit klantonderzoek bij PWN blijkt dat één storing per jaar die 4 tot 6 minuten duurt zonder meer geaccepteerd wordt (Sijpersma, 2012), maar ook bij meer en langere storingen is de klant niet bereid meer geld te betalen voor zijn water. Is het niet optimaal om wat meer storingen te hebben en daardoor meer klantcontacten en zo de kans het klantvertrouwen te vergroten?

Voor een kwantitatieve systeemanalyse met de klant 'in-the-loop' is het integreren van interne en externe databronnen en virtuele data van modellen een geweldige uitdaging met grote potentie. En dan nu net als Felix Baumgarter weer landen op aarde.

Referenties

1. Hilbert, M., López, P., 2011. The world's technological capacity to store, communicate, and compute information. Science 332(6025), 60-65.
2. Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., Hung Byers, A., 2011. Big data: the next frontier for innovation, competition, and productivity. Rapport: Seoul, San Francisco, London, Washington.
3. Moore, G.E., 1965. Cramming more components onto integrated circuits. Electronics 38(8), 114–117.
4. Robison, R.A., 2012. Moore's Law: Predictor and Driver of the Silicon Era. World Neurosurgery 78(5), 399-403.
5. Sijpersma, R., 2012. Goed drinkwater, tegen elke prijs? Rapport: Velserbroek.
6. Van Schagen, K.M., Rietveld, L.C., Veersma, A., Babuska, R., 2010. Control-design methodology for drinking-water treatment processes. Water Science and Technology: Water Supply 10(2), 121-127.
7. Worm, G.I.M., 2012. Integration of process models of drinking water treatment plants and emulated process automation software, PhD thesis, Delft University of Technology. Water Management Academic Press: Delft.

Cake layers and long filtration times protect ceramic micro-filtration membranes for fouling

Peter Lu
TU Delft

Introduction

The objective of this research was to decrease membrane fouling of a ceramic microfiltration system and at the same time increase the recovery. A conventional operation in micro- and ultrafiltration is an in-line coagulation and a frequent hydraulic backwash. The idea about these frequent backwashes is to limit the accumulation of fouling on the membrane. But the cake layer of iron or alum flocks can also protect the membrane for pore blocking and a frequent backwash can expose the membrane for particles that cause pore blocking. The frequent backwash is also using a lot of permeate. In this way the net flux is lower than the actual flux and the recovery can be as low as 60 to 70%. In this research it was hypothesized that this cake layer worked as a membrane protecting layer and was accumulating on the top of membrane by long filtration backwash intervals (>6 hours). Also a layer of powdered activated carbon was put on the membrane at the start of a filtration cycle (pre-coat) and combined with an iron coagulation.

Numerous research show that coagulation was one of efficient pre-treatment for low pressure membrane. Coagulation has two positive contribution aspects for the downstream membrane filtration. 1. Remove some part of dissolved compounds which low pressure membrane can't remove by itself. 2. Decreasing membrane fouling by aggregating the small particles into big particles to avoid membrane pore blocking. Coagulation effectively removes hydrophobic organics and high molecular weight of hydrophobic compounds.

The main membrane fouling related particle after coagulation pre-treatment colloids with the size between 100kDa and 1um. The particles which are larger than 1um after coagulation were not contributing to the hydraulic irreversible fouling of the membrane. Oppositely, the "large" flocks formed during coagulation were decreasing membrane fouling.

Nevertheless, all positive effects of coagulation were investigated under operating conditions with frequently back wash. The possible positive effect of a cake layer in the long filtration intervals still a question need to be answered. The long filtration intervals could lead to thicker cake layer, which could reinforce

the neutral hydrophilic colloids removal. The long filtration intervals could also increase membrane permeability recovery during an hydraulic backwash. However, the membrane cake layer fouling can also increase the trans membrane pressure because of the resistance in the cake layer itself.

In this research, the membrane filtration was carried out to investigate the combination of cake layer and membrane, instead of only the membrane. The coagulation was optimized with the focus of limiting cake layer resistance and enhance the cake layer protection effect. Also the combination with a powdered activated carbon (PAC) pre-coat layer was tested. The PAC-precoat has a multiple purpose: It protects the membrane for fouling but also organic substances like DOC and organic micropollutants are removed.

Material and method

Canal water (Schie canal, Delft, The Netherlands) was used as the feed water in this research. To make the same water quality in each experiment, 1000L canal water was stored and used during the experiment. Under-pressure membrane filtration was used at a constant flux (60 l/(m^2.h)) . Kubota ceramic membranes with 0,1 micron pore size were used. Proper coagulation/flocculation (fast mixing slow mixing) was used prior to the membranes. The flocks were not removed before membrane filtration. The coagulation-unit was composed of coagulant injection point part, static mixing part, tubing fast coagulation part and tubing flocculation part (Fig 1.). $FeCl_3 \bullet 6H_2O$ was used as coagulant with 8mg/l Fe^{3+} concentration in the coagulation process. The PAC was pre-coated on the surface of membrane before filtration test. A flocks cake-layer was accululating on the PAC-precoat layer during the filtration process.

Results and discussions

Coagulation conditions are affecting the hydraulic cake layer resistance. From coagulation theory we distinguish different coagulation zones which are depending on pH and coagulant dose. The hydraulic cake layer made in the sweep coagulation zone (pH=4) has the lowest cake layer resitance (figure 2). The TMP reached -0.6 bar after 15 hours membrane

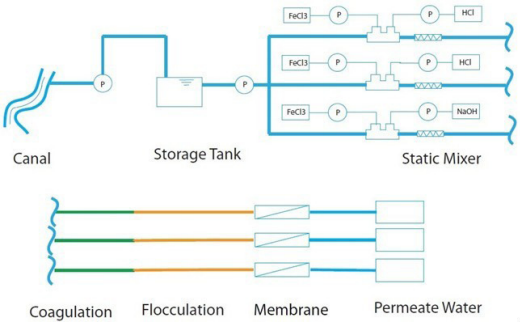


Figure 1 - Experimental setup.

filtration. The cake layer made in the adsorption destabilization zone (pH=8) has probably also an open structure which resulted in a TMP of -0.6 bar after 11 hours. The most dence cake layer occurred in the restabilization coagulation zone (pH=6). The TMP reached -0.6 bar already after 4 hours. With the same canal water quality, the same membrane materials, the same coagulant, the difference in performance was notable. In the sweep coagulation zone, the hydraulic cake layer help ceramic micro membrane filtrated about four times more canal water than with the cake layer protection from restabilization zone.

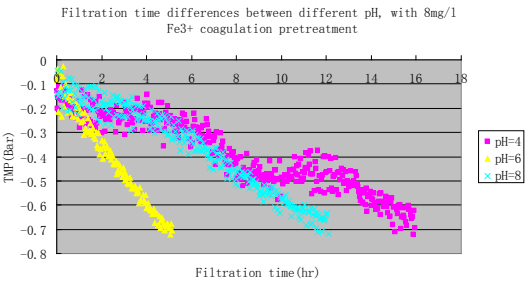


Figure 2 - Different membrane fouling performance in different coagulation mechanism conditions.

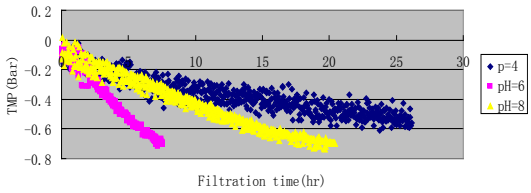


Figure 3 - Filtration time differences at different pH, with PAC precoating and 8mg/l Fe-coagulant dose.

With a PAC pre-coating combined with iron coagulation the total resistance increase was even less than with only iron coagulation (figure 3). The resistance increase in the combined cake layer was in a similar way influenced by coagulation mechanism conditions. The TMP reached -0.6 bar after 25 hours, 15 hours and 5 hours, within restabilization coagulation zone (pH 4), sweep coagulation zone(pH 8), and adsorption destabilization zone (pH 6).

The PAC was pre-coated on the top of the membrane at the start of a filtration cycle. This pre-coated PAC layer combined with Fe-coagulant dose had the best performance with respect to increase in cake layer resistance. During the first three hours the TMP-increase was showing some charactewristics of pore blocking: a fast increase of the TMP. After 3 hours the resistance increase was relatively slow at pH 4 and 6 indicating that only cake filtration occurred.

DOC was removed by coagulation and by the PAC-layer. The removal by the coagulation was constant during the experiment. The PAC was saturated rather fast: the additional DOC removal is only limited after three hours of filtration (see figure 4).

In figure 5 the influence of the different process conditions on the maximum filtration time is summarized.

PAC is widely used in full scale plants while continuously dosed to an underpressure microfiltration system. In our research PAC was used as a precoating layer. These two different dosing operations were compared in one experiment (figure 7). In both cases the same amount of PAC was used. In the case of a pre-coat the amount for 6 hours was precoated on the membrane at the start of the filtration cycle. In the case of the continuous dosing the PAC was dosed at the same place as the iron coagulant. The iron dose was 8 mg/l.

It is clear that the pre-coat is protecting the membrane for foulants because the backwash after 6 hours is almost 100% effective while the backwash of the continuous mode is nopt effective at all. The TMP is not recovering in the continuous mode.

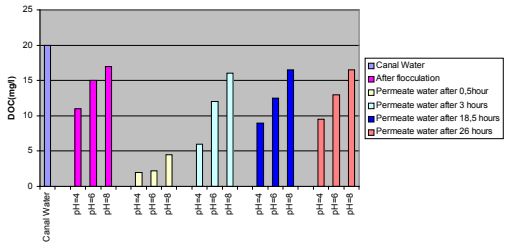


Figure 4 - DOC concentration during the different treatment areas and process time, with 20mg/l PAC precoating and 8m/l Fe^{3+} coagulation-flocculation pretreatment.

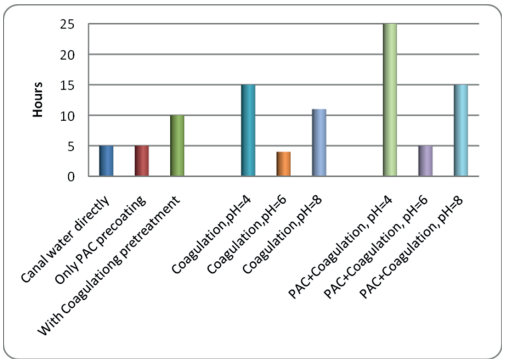


Figure 5 - Filtration time until the TMP reached -0.6 bar with different operation conditions.

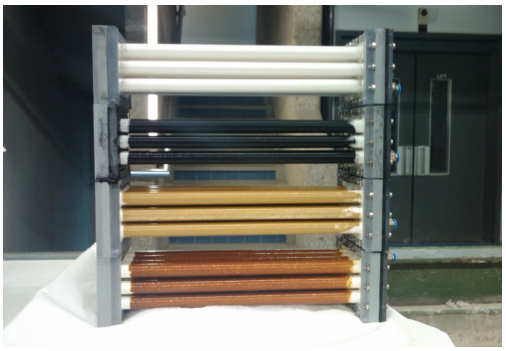


Figure 6 - Blank membrane, precoated PAC membrane, fouled membrane without coagulation pretreatment, Fe-coagulation cake layer. (From the top).

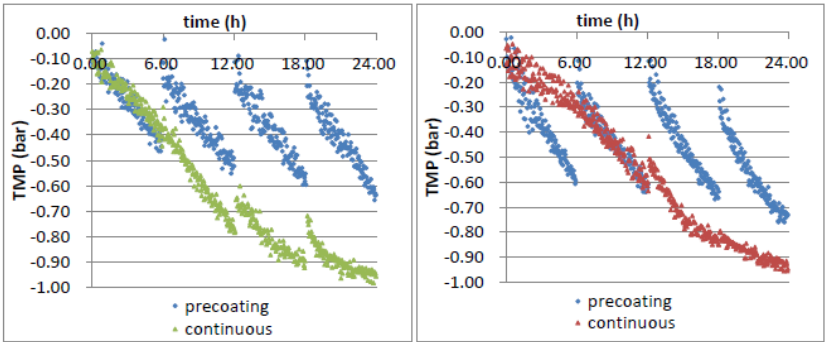
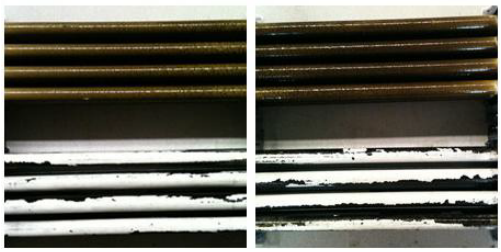


Figure 7 - Filtration/backwash cycles comparing PAC precoating and PAC continuously dosing.

According to the above figures, it is observed that precoating PAC operation got a stable TMP increasing every membrane filtration cycle. There is no hydraulicaly irreversibable fouling observed. The cake layer formed with continuously dosing of the PAC was difficult to backwash. This layer resulted in a continuous TMP increasing and very large hydraulically irreversible fouling. The explanation is that the mixed layer of PAC/ironhydroxide/foulants is attached stronger to the membrane wall than the PAC layer in the case of a precoat. The pictures after backwashing show that in the case of a precoat the membrane is much cleaner than in the case of the continuous dosing (figure 8). The combined PAC/coagulant/foulants layer is a slimy layer on the membrane which is not coming of during a hydraulic backwash.



Backwash after 18 hours Backwash after 24 hours

Figure 8 - Membrane surfaces after a hydraulic backwash. PAC precoating dosing (below) and PAC continuously dosing (top).

Conclusion

- By controlling the coagulation conditions the filtration time can be extended to 15 hours (pH4) and 12 hours (pH8)
- Coagulation zones highly determine cake layer resistance. At pH 6 the cake layer is very dense. Whereas at pH 4 and pH 8 results in permeable cake layers.
- If a precoat of PAC is used the same mechanisms occur.
- The advantage of a PAC-precoat is a more effective hydraulic backwash.
- The combined PAC/coagulant/foulants layer is a slimy layer on the membrane which is not coming of during a hydraulic backwash.

Water research for the world

Introduction

Let's start with the United Nations Millennium Development Goals Report 2012. Remember the target? Halve, by 2015, the proportion of the population without sustainable access to safe drinking water and basic sanitation. Thanks to China and India the world has met the drinking water target in 2010, but the work is not done yet. The poorest lag behind, especially in Sub-Saharan Africa (Figure 1). Over 40 per cent of all people without improved drinking water live in sub-Saharan Africa. The gap between urban and rural areas still remains wide, with the number of people in rural areas without an improved water source *five times greater* than in urban areas. Rural-urban disparities in access to sanitation are even more pronounced than for access to drinking water. The number of people forced to resort to open defecation remains a widespread health hazard and a global scandal. Nearly 60 per cent of those practicing open defecation live in India.

In sub-Saharan Africa, 75 per cent of the households have to collect water from some distance. The time and energy devoted to this manner of water collection is considerable. For 25 sub-Saharan countries combined, it is estimated that 26 million hours are spend per day, which equals the working hours of the lifetimes of 300 people. An important note: water *quality* is not accounted for in United Nations report – so results may well be overestimated. But isn't that what it's all about? Providing *improved* water sources, not just any source.

Water is no mobile phone

In the landscape of technology development there is only very little attention for the poorest of the world, while the challenges are the greatest. Contamination of surface water bodies are extreme, caused by unregulated activities upstream. Groundwater

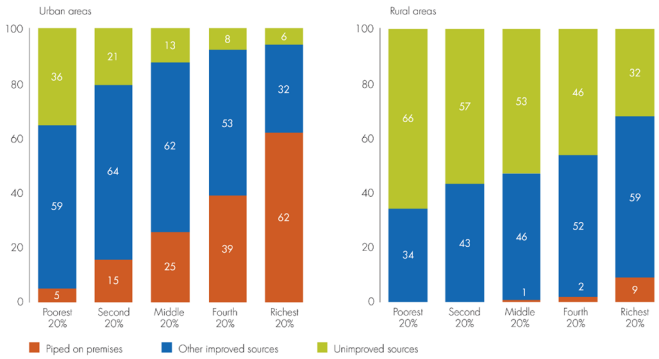


Figure 1 - Drinking water coverage by wealth quintiles, urban and rural residence, in sub-Saharan Africa (UN, 2012).

Doris van Halem
TU Delft

Juan Pablo Gutierrez Marin
Universidad del Valle
TU Delft

Mohammad Moshiur Rahman
University of Dhaka
TU Delft

is threatened by sea water intrusion, making it brackish and unhealthy to drink. People are more and more moving to densely populated megacities, where water supply does not reach the peri-urban areas. Safe water is not a mobile phone and it is not a gadget. It takes more maintenance than electricity only; it takes *on-site* knowledge, (water) quality control and long-term commitment.

But can't Africa's "mobile decade" perhaps help the rural poor towards reaching the target to safe water and basic sanitation? Examples have already illustrated mobile phone use for monitoring water points and latrines in the slums in Kenya (Majidata, 2012), or providing information about water quality in arsenic-contaminated areas in Bangladesh (trial of Grameenphone), or for the payment of water bills across Kenya, Tanzania, Uganda and Zambia (Oxford University). Many water service providers are unable to meet the needs of a rapidly growing population as they remain trapped in a vicious cycle of poor operational performance and low cost recovery (Global Water Forum, 2012). Since 2009 at least a dozen water service providers in East Africa have launched a 'mobile money' bill payment service with global mobile network operators, such as Safaricom/Vodacom and Airtel.

Figure 2 - How can the poorest benefit from Africa's "mobile decade"? (The Economist, November 2012).

The Economists (November 2012; Figure 2) questions how useful mobile phone can be to someone living on less than $2.50 a day, the World Bank's standard benchmark of poverty. Researchers in Kenya found that people will skip a meal so that they can keep their phone in credit. So although smart phones improve the quality of lives of the poor undeniably - by connecting people and access to information – it does not necessarily improve health standards.

Water research for the world

The initiative Water Research for the World is oriented towards solving global water challenges with enthusiastic TU Delft BSc and MSc students, and involving PhD students from low- and middle income countries. This way, knowledge is gained of water challenges *that matter*, by increasing generic fundamental understanding, but also by solving relevant water problems for the country of origin. So, who better to fill a few pages in this Vakantiecursus book than the PhD students themselves? In the following paragraphs two PhD research projects are introduced, jointly initiated by Delft University of Technology with a university in Colombia (Universidad del Valle) and in Bangladesh (University of Dhaka). Both projects commenced in 2011 and are executed partially in the Netherlands and partially in the country of origin.

Coca-Cola rivers in Colombia

In rural and some urban areas of Colombia safe drinking water supply is threatened by water quality problems in surface water, i.e., approximately 80% of the water supply in Colombia depends on surface water. Progressive deterioration of the surface water is mainly caused by the fast urbanization, in combination with the lack of integration between water management and spatial planning, inappropriate land use, poor protection of the river basins, discharges from domestic and industrial wastewater treatment plants, mining, deforestation processes and improper management.

Cauca river

As a result, river waters show a dramatic increase of particulate matter. The Cauca river water in Colombia can be characterized as highly

turbid (up to 10,000 NTU; Montoya et al., 2011), especially in the beginning of the raining season (Figure 3). Erosion is considered the main contributor to turbidity, which is accelerated by human activities that alter soil vegetation coverage (e.g., deforestation, vegetation burning, inadequate agricultural techniques, extensive livestock).

Additionally, Cauca river water was found to be contaminated by heavy metals, such as mercury and lead, mainly due to mining activities. The CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – Regional Corporation of the Valle del Cauca) has developed a monitoring campaign since 1980 with 19 monitoring sampling points along the Cauca river. Several quality parameters are analyzed in the water, including heavy metals such as cyanide, copper, zinc, chrome, nickel, lead and mercury. The data show a progressive increment in lead and mercury concentrations from less than 60 µg/L in 2006 to 318 µg/L in 2009 for lead, and from less than 0.3 µg/L in 2006 to less than 5 µg/L in 2009 for mercury (CVC, 2011). This behavior is expected, considering that the development plan for Cauca's department is incorporated in the "Encouragement of productive development" program, which supports mining projects identified under the Mining-Environmental Plan of Cauca. Such programs embrace actions aimed at the exploration, exploitation, adjustment, and construction of infrastructure at the indigenous territories in the department (UPME, 2006). This situation, in addition to the industries and to the leachate discharges, promotes the water contamination with mercury and lead, which has been reported in water/sediment and fish studies.

River bank filtration

In a preliminary assessment river bank filtration (RBF) has been selected as an attractive communal alternative for the removal of extreme turbidity from surface water in Colombia. Also, it is expected that suspended solids act as the primary transport mechanism for heavy metals like mercury and lead (Bourg et al., 1989; Zhu et al., 2005; Miretzky et al., 2005). For over 100 years, RBF has been used in Europe to supply water to public and industrial level, using as sources of rivers like the Rhine, Elbe, Seine and Danube. Although RBF has proven to be effective in Europe and U.S., no experiences in Latin-American communities exist. Main differences to be considered are:

- environmental conditions;
- poor river basin management;
- socio-cultural perceptions and attitudes;
- high turbidity levels as a result of erosion.

Figure 3 - Cauca river valley in Colombia.

An Indian study showed the potential of RBF for the removal of highly turbid waters, as Thakur and Ojha (2010) obtained turbidity removal between 99 and 99.9% without any problems of obstruction in the bed with river water containing 2,500 NTU. Although RBF has shown to be a suitable technology, with relatively low-cost investment, operation and maintenance, it is crucial to investigate the long-term effects on porous media clogging by highly turbid waters. The PhD research of Juan Pablo Gutierrez Marin focuses on (i) characterization of sediments in the Cauca river (Figure 4); (ii) sediment transport during RBF; and (iii) co-removal of heavy metals. The ultimate objective is to understand the fate of sediments and heavy metals during soil passage *and* develop an appropriate (community) technology for implementation along the river Cauca in Colombia.

Reactive transport modeling in Bangladesh

Subsurface arsenic removal (SAR) is a technology where oxic and anoxic -or even anaerobic- conditions are intermittently applied to the aquifer material around the well by injecting aerated water into the subsurface (van Halem et al., 2010). Oxidation and adsorption of Fe(II) are dominant processes, but other (trace) compounds can be subsequently bound to the precipitated iron hydroxide surfaces as well. More water with reduced iron/arsenic concentrations can be abstracted (volume V) than is being injected (volume Vi), i.e., this volumetric ratio (V/Vi) determines the efficiency of the system. A pilot study was executed in the Comilla district (Bangladesh), specifically selected for its low phosphate concentrations, to study the removal of arsenic (269 µg/L) from groundwater.

Field experiments in Comilla

Three exploratory experiments were carried out to determine the effect of operational parameters on subsurface arsenic removal (Figure 5). In experiment 1, it was shown that Fe and As removal in the subsurface during SAR operation increases with injection volume: larger volumes of injection water result in a higher extraction efficiency than smaller volumes of injection water. In experiment 2 the multiple consecutive injection extraction cycles resulted higher extraction efficiency by providing more freshly precipitated HFO (hydrous ferric oxides) sorption sites for better removal of arsenic in the subsurface. In experiment 3, increased contact time between the oxidized zone and reduced native groundwater during extraction process resulted in better arsenic removal. The results of all three exploratory experiments need to be confirmed by additional experiments. In order to determine the potential reason behind such inefficiencies for arsenic removal, sorption behavior of arsenic on HFO, extent of arsenic and other element sorption on HFO, and most importantly dominant chemical reactions and processes occurring during SAR operation it is necessary to develop a reactive transport model (RTM). Also in an ideal setting, arsenic concentrations are measured continuously in the extracted water and a new volume of aerated water is injected when the concentration surpasses

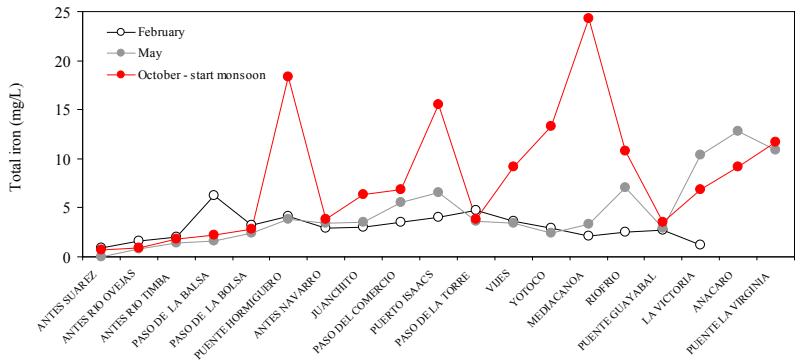


Figure 4 - Seasonal variations in total iron concentrations in the Cauca river at nineteen sampling points of CVC.

Figure 5 - Field study with subsurface arsenic removal in Comilla, Bangladesh.

the drinking water standard. In reality this is, of course, not possible. A more realistic scenario is to consume a pre-set volume after which the injection tank is refilled, water is aerated and re-injected. Determination of this pre-set volume to be used for consumption requires further experiments and reactive transport modeling.

Phreeqc modeling

In this study, a reactive transport model (RTM) is being developed by PhD researcher Mohammad Moshiur Rahman to simulate the SAR field results using PHREEQC (Parkhurst and Appelo, 1999. The RTM consists of a 1-D radial flow setting which is able to simulate subsequent SAR cycles. The model consists of equilibrium based reactions for the speciation of all major cations and anions, as well as kinetically simulated oxidation/dissolution reactions, surface complexation reactions, and cation exchange processes. The model simulates the simultaneous precipitation of Fe-hydroxides, SOM oxidation (soil organic matter), and the dissolution of carbonates (calcite). Sorption of dissolved Fe(II), arsenic, bicarbonate and other complexes on the Fe-hydroxide precipitates and the subsequent desorption during extraction phase, is also part of the simulations (Figure 6). The kinetic expressions used for the simulation of oxidation and dissolution reactions will possibly be able to determine reaction parameters. These expressions with calibrated parameters can then subsequently be used for prediction purposes and scenario modeling. The general objective of this RTM is to understand dominant processes potential to be taking place

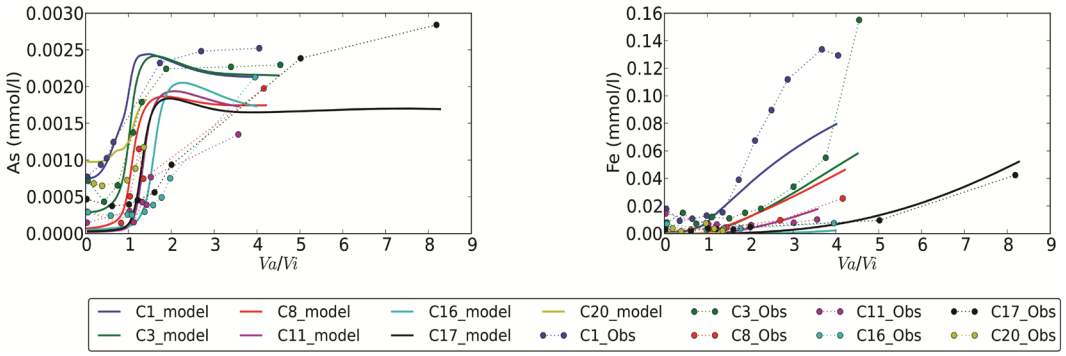


Figure 6 - Observed and model output for arsenic and iron during extraction phases of cycle 1, 3, 8, 11, 16, 17, and 20.

in the presently studied aquifer, as well as their quantification based on equilibrium based speciation reaction and kinetic rate expressions. Another important objective of this RTM is the determination of a pre-set volume to be used for consumption by the local people.

Concluding remarks

Access to safe drinking water sources is still a worldwide challenge, mainly affecting the poorest. The Netherlands is famous for its (drinking) water expertise and many in the water sector are involved in international initiatives. The aim is to link this expertise to academic education (capacity building) and water research (knowledge generation) in developing countries. We invite you to join the Water Research for the World initiative. With your company you can adopt a technology, research theme or even a PhD researcher; this will generate knowledgeable partners around the world. You can also think big, but start small through crowd sponsoring. Everyone donates a little and together we do a lot. For more information visit www.sanitaryengineering.tudelft.nl.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the support of LASPAU for the scholarship of Juan Pablo Gutierrez Marin and are grateful for the financial support of the Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO) in the integrated programme of WOTRO Science for Global Development.

References

1. Bourg A.C.M, D. Darmendrail and J. Ricour (1989) Geochemical filtration of riverbank and migration of heavy metals between the Deûle River and the Ansereuilles alluvion-chalk aquifer (Nord, France). Geoderma 44: 229–244.
2. CVC (2011) Water quality parameters monitored by the CVC from 2006 to 2009. CVC – Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
3. Majidata (2012) Kenyan online water and sanitation database on urban low income areas http://majidata.go.ke.
4. Miretzky P., M.C. Bisinoti and W.F. Jardim (2005) Sorption of mercury (II) in Amazon soils from column studies. Chemosphere 60:1583-1589.
5. Montoya, C., D. Loaiza, P. Torres, C. H. Cruz and J. C. Escobar (2011) Effect of increase of raw water turbidity on efficiency of conventional drinking water treatment processes. Revista EIA 16, 137-148.
6. Parkhurst D.L. and C.A.J. Appelo (1999) User's guide to phreeqc (version 2) a computer program for speciation, batchreaction, one-dimentional transport, and inverse geochemical calculations. Water-Resources Inverstigation Report 99-4259, US Geological Survey.
7. Thakur A.K. and C.S. Ojha. (2010). Variation of turbidity during subsurface abstraction of river water: A case study. International Journal of Sediment Research 25:355-365.
8. The Economists (2012) Kenya's mobile telephones: vital for the poor. http://www.economist.com/news/middle-east-and-africa.
9. United Nations (2012) The Millennium Development Goals Report 2012. http://www.un.org/en/development/desa/publications/mdg-report-2012.html.
10. UPME, Unidad de Planeación Minero Energética. (2006) Colombia país minero: plan nacional para el desarrollo minero, visión al año 2019. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía: p.p. 125.
11. van Halem, D., Olivero, S., de Vet, W.W.J.M., Verberk, J.Q.J.C., Amy, G.L., van Dijk, J.C. (2010) Subsurface iron and arsenic removal for shallow tube well drinking water in rural Bangladesh. Water Research 44: 5761-5769.
12. Zhu G., Q. Chi, B. Qin and W. Wang. (2005) Heavy-metal contents in suspended solids of Meiliang Bay, Taihu Lake and its environmental significances. Journal of Environmental Sciences 17(4): 672–675.

Solar driven desalination project in Indonesia

Reinoud Feenstra
Elemental Water Makers

Introduction

In today's society, there are still hundreds of millions of people lacking access to safe drinking water. The majority of these people live in rural and arid areas. In many of these places desalination could be an option to provide access to safe drinking water.

Desalination can be realized using thermal methods or membrane separation technology. One of the most energy efficient technologies to desalinate water is reverse osmosis (RO). RO is the desalination technique with the largest installed capacity worldwide. The main reason behind this is the lower specific energy consumption for the process, compared to other desalination techniques.

Traditionally, fossil energy is used to power RO desalination. However, fossil energy sources are becoming increasingly scarce and the costs are increasing. Additionally, the use of fossil energy sources contributes highly to carbon-dioxide emission. A combination between desalination and renewable energy sources such as wind and solar energy, is therefore the next step in desalination technology.

This solution is especially attractive for remote areas with limited access to an electricity grid or fossil fuels. The Sanitary Engineering section of the TU Delft focusses with several projects on the combination between desalination and renewable energy sources. Due to a good cooperation with the Technical University ITB in Bandung, Indonesia a project was formulated to focus on brackish water desalination using the most suitable local renewable energy source available. Also, in this specific project it was demanded to have a continuously operating desalination process despite the fluctuating characteristics of the available renewable energy sources.

Research

The research project consisted of three objectives. First of all an innovative concept for brackish groundwater desalination powered only by renewable energy sources with continuous operating reverse osmosis had to be designed. Once a suitable design had been realized there was the possibility to actually implement and test the system in reality. The third objective was the evaluation of the implemented system based on obtained experience and operational measurements.

A concept study was performed in order to develop the innovative system. Multiple alternative energy buffers providing continuous and autonomous operation were analyzed. A final concept

Figuur 1 - Bali test location.

Figuur 2 - Students next to the PV solar panels.

was chosen considering the concept's energy requirements, innovativeness, costs and time required to build and test a pilot plant in Indonesia. In order to enable this choice also local wind and solar studies for the Indonesian islands, Java and Bali, were performed. From this study it became clear that solar energy would be the most suitable renewable energy source to use.

In cooperation with the Technical University ITB a proper test location was found on the most southern part of Bali. This location provided the required saline groundwater, suitable test area and ample solar energy available. Within 3 months after the start of the project, having performed the concept study, engineering the final system and having arranged all matters around travel and transportation, it was time to head to Indonesia. In a 6 month period between May and November 2011 the pilot plant was constructed and eventually also extensively testing was performed. The actual behavior of the system was monitored by measuring the flows and pressures at different locations in the system, the salinity and temperature of the feed and produced water flow and the available solar irradiance.

Indonesian experience

Being responsible for the construction and implementation of a desalination plant far abroad was a great experience. Many challenges were met, from financial issues regarding corrupt customs and technical issues like unexpected rupture of deep well pipelines, towards measurement noise in the sensors by fluctuations in the net power frequency. Also the cooperation with the local people could be challenging. Cultural differences could lead to misunderstanding in doing business and extra delays. And of course, having access to only limited means, one has to rely on its creativity to overcome the hurdles that arise. In the end it was managed to construct the system and test the performance of an autonomous operating system for a complete month.

Results, conclusions and recommendations

The pilot project was a success after resolving the challenges and obtaining the test results. From the more than 60 million data points collected it could be concluded that the system was able to continuously desalinate the brackish water to drinking water standards using only fluctuating solar energy. The system is able to continuously purify an average amount of 2176 liter per day of brackish groundwater. This was done with an average feed water salinity expressed in TDS of 8800 ppm to drinking water quality with an average permeate TDS of 280 ppm, using only the solar energy available during the test month in October 2011.

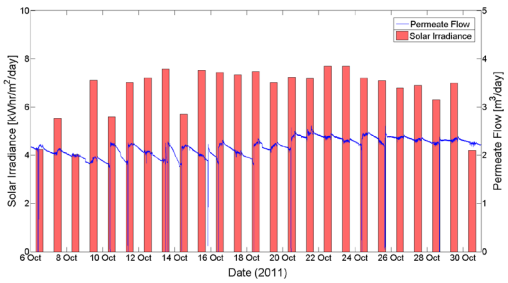
The pressure at the inlet of the reverse osmosis membranes had an average value of 10.2 bar. The system proved to be able to function autonomous, as automatic restarts were observed.
An economic analysis of the system was performed leading to a freshwater price of 2.68 € per m^3 including capital, operational, and interest cost.

Figuur 3 - Monitoring set-up obtaining the measurements signals inside the test housing.

Figuur 4 - Group picture together with the local employees in front of the test housing.

This water price is very competitive with existing renewable energy driven desalination systems. The specific energy consumption of the installed system is calculated at 1.24 kWh/m^3.

There are system improvements regarding the pre-filtration, which can be made. For future implementation it is recommended to perform similar pilot project for the implementation of wind energy and using the system for seawater desalination.



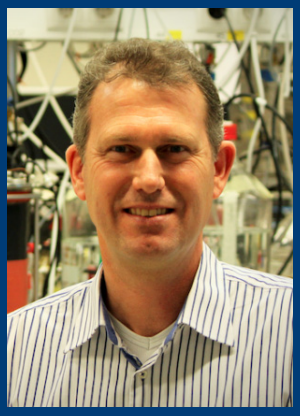
Figuur 5 - Daily solar irradiance and produced water flow.

So in general in can be stated that for remote areas which have difficulty getting access to safe drinking water, the designed desalination plant offers a solution that provides safe and affordable drinking water produced by renewable energy sources. Unlike current alternatives for remote areas, it is driven by renewable energy only, functions autonomous without the need of an electricity grid, operates continuous & stationary maximizing the lifetime of the desalination components, is self-regulating excluding the need for complex operating and works very energy efficient, all leading to an affordable water price.

Afvalwater

Prof.dr.ir. Mike Jetten

Application of "Impossible" microbes in wastewater treatment



Radboud University Nijmegen
TU Delft

Introduction

Microbiology is the science that studies very small organisms, generally 0.1 to 10 micrometers in size, and only visible using a microscope. Although small in size, they are with many, and it is estimated that the Earth is inhabited by 10^{30} prokaryotes constituting about half the biomass on our planet. Currently about thirty thousand different microbial species are in culture. Molecular studies indicate that this only represents a tiny fraction of all microbes, and thus the biodiversity of micro-organism is largely unexplored. Nevertheless without these small creatures life on Earth would not be possible. Microbial life arose some 4 billion years ago on our planet. The first two billion years all microbes were anaerobes, living without oxygen. After the cyanobacteria evolved and started oxygenic photosynthesis, the concentration of oxygen in our atmosphere slowly rose to the current 20%. Microbes continue to be the driving force of all biogeochemical cycles, and they still produce substantial amounts of oxygen and fix about 70% of all nitrogen. Microbes are the greatest biochemist, capable of catalyzing the most difficult reactions. They are able to inhabit the most extreme environments from pH 0 to 12 and from -2 to 120°C. Many plants and animals live in symbiosis with microbes. In contrast to common believe, only a minor fraction of microbes are pathogenic. Most bacteria are harmless, and many of them can be applied to our benefit. Large scale application of microbes includes waste water treatment, alcoholic fermentation, and antibiotic production.

My life with anaerobic microbes

I was trained as an anaerobic microbiologist at Wageningen University while studying the acetic acid metabolism of *Methanosaeta*, the most important methanogen in anaerobic UASB reactor systems (Jetten et al 1991). Realizing that molecular biology would have a large impact on microbiology, I did a post doc at MIT the genetically engineer *Corynebacteria* for the industrial production of amino acids at very large scale. In 1994, I returned to the Netherlands with a fellowship of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences to study the amazing anaerobic ammonium oxidizing (anammox) bacteria that had just been discovered in pilot wastewater treatment plant of Gist Brocades. Combing applied and fundamental science, we were able to develop new bioreactors to cultivate the very slowly growing anammox bacteria to sufficient quantities that physiological and molecular studies could be performed. Based on the batch test

with suspended biomass we could determine the kinetic parameters that were necessary for design of full scale plants by Paques BV in Balk. The development of partial nitrification in the SHARON process by van Loosdrecht and colleagues gave a further boost to the rapid implementation of the anammox process in the Dokhaven treatment plant. After we developed protocols for physical separation of anammox cells, we could identify their molecular identity as planctomycetes and show that they use carbon dioxide as carbon source (Strous et al Nature 1999).

Microbiology research at Radboud University Nijmegen

In December 2000, I was very fortunate to start my own research group at Radboud University Nijmegen. Several of my co-workers were able to join me, and the complementary expertise of the Delft and Nijmegen groups was instrumental to continue my research on anammox and even expand our endeavors to anaerobic methane oxidation. Because many of our colleagues had tried to enrich nitrate/nitrite-dependent anaerobic methane (N-DAMO) oxidizing microbes without success, they were being called "impossible" microbes (Strous and Jetten, 2004). The N-DAMO and anammox processes refer to the following catabolic reactions:

$$3\ CH_4 + 8\ NO_2^- + 8\ H^+ \rightarrow 3\ CO_2 + 4\ N_2 + 10\ H_2O \quad (\Delta G_0' = -673\ kJ\ mol^{-1}\ CH_4) \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2\ H_2O \quad (\Delta G_0' = -358\ kJ\ mol^{-1}\ NH_4^+) \quad \text{(Eq. 2)}$$

From a biochemical point of view both ammonium and methane are relatively difficult to activate. Furthermore, the enrichment or detection of organisms capable of anaerobic growth on ammonium or methane was unsuccessful for a long time. This made many microbiologists assume that ammonium and methane were inert under anoxic conditions. However this notion has now changed and presently many research groups are studying these microbial processes. Since the microbes responsible for these processes grow very slowly, special continuous reactor systems with very efficient biomass retention have to be employed. The dedicated infrastructure of the new Huygens Building in Nijmegen was instrumental to set up our reactor laboratory (Figure 1). This laboratory currently harbors more than 32 of such continuous bioreactors that are home to several unique bacteria. In addition to the special reactors, the use of a medium sustaining autotrophic growth on carbon dioxide, ammonium (or methane in case of N-DAMO), and nitrite, were necessary for successful enrichment of the anammox and N-DAMO bacteria (Raghoebarsing et al. Nature 2006). At the moment several different strains of anammox bacteria from various sources have been enriched in Nijmegen. The enrichment cultures and purified anammox cells enabled the molecular identification, insight in their physiology (Strous et al. Nature 1999), the identification of the unique anammox ladderane lipids (Damste et al. Nature 2002), their unique cell biology (van Niftrik and Jetten 2012), the purification of key enzymes (Kartal et al Nature 2011), and the assembly of the almost complete genome of the anammox bacterium *Kuenenia stuttgartiensis* (Strous et al. Nature 2006).

Figure 1 - Example of a continuous reactor system used to cultivate the anammox or N DAMO bacteria in the Huygens Building Radboud University Nijmegen.

The anammox bacteria comprise a coherent cluster within the prokaryotes, and form a separate order named Brocadiales. Using oligonucleotide probes based on anammox 16S ribosomal RNA gene sequences, very accurate nutrient profiles, ladderane biomarkers and ^{15}N activity tests, anammox bacteria were detected in various marine ecosystems such as the suboxic zone of the Black Sea, the oxygen minimum zones off the coast in Namibia and Peru, and the Arabian Sea (Kuypers et al. Nature 2003, PNAS 2005; Jensen et al 2011). Current estimates indicate that every one out of two nitrogen molecules in our atmosphere has been produced by anammox bacteria.

The discovery of N-DAMO is even more recent. In 2006, the enrichment of a microbial community dominated by bacteria belonging to the NC10 phylum was published (Raghoebarsing et al Nature 2006). The culture was started with sediment of the Twente kanaal, and after 18 months of dedicated enrichment it was able to oxidize methane in the absence of oxygen, while nitrite and to a lesser extend nitrate were used as electron acceptor. A survey of related 16S ribosomal RNA gene sequences in the databases indicated that these NC10 bacteria are widespread in fresh water ecosystems containing elevated amounts of aliphatic hydrocarbons.

In the next section I will highlight recent findings on the microbiology of N-DAMO and anammox bacteria with respect to their application in wastewater treatment.

Microbiology of N-DAMO and anammox bacteria

Nitrite-dependent anaerobic methane and ammonium oxidation have two properties in common: slow growth and mutualism. N-DAMO is mediated by a complex microbial community dominated by bacteria of the NC10 phylum (about 80%) and Archaea (20%) distantly related to marine counterparts suspected of reverse methanogenesis. The precise role of the Archaea in N-DAMO is not known, but they may be involved in nitrate reduction (Hu et al 2011). Anammox bacteria always depend on a nearby source of nitrite, although they are capable of reducing nitrate to nitrite (and ammonia) in the presence of a suitable organic substrate such as formate or acetate (Strous et al nature 2006; Kartal et al. Nature 2011). In oxygen-limited bioreactors, clusters of anammox bacteria are often found in close proximity to clusters of aerobic ammonium-oxidizing bacteria that convert ammonium to nitrite (Sliekers et al 2003). Similar co-localization has recently been observed in marine snow particles of the Namibian Oxygen Minimum zone. Furthermore, it was recently demonstrated that both aerobic ammonium-oxidizing bacteria and crenarchaea contribute equally to nitrite supply for anammox bacteria in the Black Sea and the Peruvian OMZ (Lam et al. 2009). Recently, Yan et al were able to mimick an OMZ on laboratory scale in an oxygen limited bioreactor where archaea oxidized ammonium to nitrite and marine anammox bacteria consumed to produced nitrite with the remainder of the nammnium (Yan et al 2012). Alternatively, conversion of nitrate to nitrite in processes like denitrification or dissimilatory nitrate reduction could be a source of nitrite for anammox (Strous et al Nature 2006). In addition to nitrite, anammox bacteria are also capable to use nitrate, Fe(III) and Mn(IV) as electron acceptor provided that a suitable electron such as formate, acetate or propionate is present (Strous et al. Nature 2006; van de Vossenberg et al 2012). This versatility in combination with their kinetic properties may explain the success of the anammox bacteria to inhabit many oxygen limited ecosystems, and to contribute significantly to the dinitrogen gas production on Earth. The doubling time of anammox bacteria in the laboratory was 7 days under optimum conditions and 2 to 3 weeks on average (Kartal et al 2011). The biomass yield of anammox bacteria is 0.07 mol C fixed/mol NH_4^+ oxidized (Table 1) and is consistent with the free-energy change (Eq. 2). This means that the low growth rate of anammox bacteria is not caused by inefficient energy conservation but most likely by a very low substrate conversion rate (Table 1). Anammox bacteria seem well suited to convert their substrates ammonium and nitrite (Table 1). Several of the anammox representatives, can even out compete heterotrophic denitrifiers in enrichment cultures supplied with propionate, ammonium and nitrite. Anammox bacteria are reversibly inhibited

Table 1 - Microbial properties of anammox and N-DAMO microbes.

Property	Anammox Bacteria	N-DAMO Bacteria	Unit
E-donor	NH_4^+, Formate, Fe(II), acetate, propionate	CH_4	
E-acceptor	NO_2^-, NO_3^-, Fe(III), Mn(IV)	NO_2^-	
Apparent K_s	NH_4^+ <5	CH_4 <1	µM
Apparent K_s	NO_2^- <5	NO_2^- 50-100	µM
V_{max}	60	5	nmol min^{-1} protein mg^{-1}
K_i (O_2)	<1	<4	µM
Yield	0.07	n.d.	C mol/mol NH_4^+
Growth rate (Td)	11	14	Days
Affiliation	Planctomycetales	NC10 phylum	
Lipids	Ladderane		
ether and esters	Me omedga		
Cell structure	Organelle	Polygonal	
Cell size	1 x 2	0.2 x 0.8	µm
Genome	4.1	2.5	Mb
Intermediates	NO, NH_2OH, N_2H_4	NO, O_2	
End products	N_2, NH_4^+	N_2	
CO_2 fixation	Acetyl-CoA pathway	Ribulose bisphosphate carboxylase	
Distribution	Marine and fresh water	Fresh water	
Application	High strength wastewater	Post denitrification	

by low levels (<1 µM) of oxygen and irreversibly inhibited by high nitrite (>10 mM) concentrations. One final interesting feature conserved among all anammox bacteria so far is the production of the rocket fuel, hydrazine.

From the recent enrichment of the N-DAMO community, a specific activity was estimated at 5 nmol per min per mg protein, and the doubling time is estimated at at least two weeks. The apparent K_s value for methane is very low (about 1 µM), but the apparent K_s estimated (50-100 µM) for nitrite is relatively high (Raghoebarsing et al. Nature 2006). Ten procent air saturation is already detrimental for the nitrite conversion (Luesken et al 2012). After the consortia of N-DAMO exposed for more than a year to high nitrite concentration, the Archaea disappeared from the culture, and the NC10 bacteria were alone able to convert methane and nitrite in the expected stoichiometry (Ettwig et al 2008). These cultures were used to extract DNA, and in a metagenomic approach the genome of the responsible bacteria could be assembled (Ettwig et al 2010).

Mechanism of N-DAMO and anammox

The biochemistry of anammox has been elucidated by enzyme purification, and genome sequencing (Strous et al. Nature 2006; Kartal et al Nature 2011). The anammox pathway was established using ^{15}N-labeling experiments, which showed that hydrazine and nitric oxide were important intermediates. Hydrazine is produced by the condensation of NO and ammonium by an enzyme complex called hydrazine synthase (hzsABC), The hydrazine is oxidized to dinitrogen gas by a hydrazine dehydrogenase (HDH). The HDH of several anammox bacteria was purified, and used to

raise polyclonal antibodies. These HDH antibodies were used to demonstrate that this cytochrome c protein is exclusively located inside a membrane-bounded organelle (the anammoxosome) that made up more than 50% of the cell volume (van Niftrik and Jetten 2012). It further appeared that this dedicated intracytoplasmic compartment was surrounded by a membrane containing unique ladderane lipids (Damste et al. 2002) that were composed of 3 to 5 linearly concatenated cyclobutane rings. Ladderane lipids are now regularly used as biomarkers for anaerobic ammonium oxidation in the environment. The ladderane lipids and also hopanoids of anammox are severely depleted in ^{13}C, consistent with the use of the acetyl-CoA pathway for CO_2 fixation. Indeed based on the genome assembly, all genes for the carbon monoxide dehydrogenase / acetyl-CoA synthase complex could be identified together with several genes encoding proteins involved in tetrahydrofolate dependent C_1 metabolism.

Although little is known about the biochemistry of N-DAMO, we recently were able to assemble the genome (Ettwig et al 2010). Surprisingly, the genome encoded the canonical aerobic pathway for methane oxidation (pmoCAB). The denitrification pathway consisted of cd1 nitrite reductase, and two very atypical NO reductase (nod1 and nod2), but an obvious nitrous oxide reductase missing. Based on the nod1 and nod2 genes, we predicted that they may function as a nitric oxide dismutase (NOD),

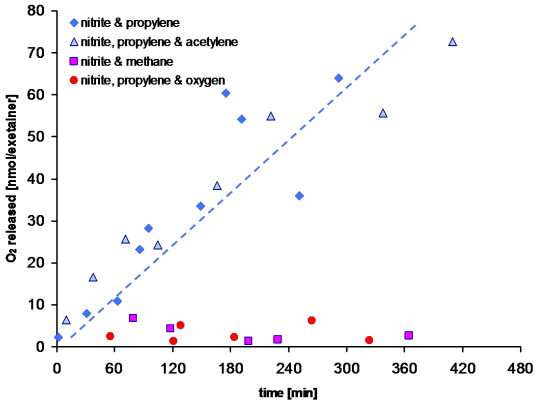


Figure 2 - Oxygen production by Methylomirabilis oxyfera cell suspension (modified after Ettwig et al Nature 2010).

converting 2 molecules of NO in to N_2 and O_2 (Figure 2). Using ^{15}N and ^{18}O isotope experiments, indeed oxygen production could be demonstrated (Ettwig et al Nature 2010). On this basis we named the bacteria *Methylomirabils oxyfera* (oxygen producing miracle bacteria). Antibodies were raised against the nirS and pmoB proteins, and used to show that proteins were located the polygonal shaped *M. oxyfera* cells (Wu et al 2012).

Application

The introduction of anammox to nitrogen removal would lead to a reduction of operational costs of up to 90% and substantially reduce CO_2 emission during wastewater treatment. Therefore it is not surprising that soon after successful pilot plant studies, five full scale anammox reactors were constructed, and many more are commissioned. Evaluation of full scale anammox systems showed that high rate N-removal is feasible for relatively warm wastewaters with high concentration of ammonium. The challenge will be to adapt the process to lower temperatures and lower concentrations of ammonium to make implementation into municipal waste treatment possible. The potential of N-DAMO for post denitrification has been reported and discussed (Islas-Lima et al. 2004), as methane would constitute an inexpensive energy source, often produced on-site, for wastewater denitrification. In the last years, our group has demonstrated that anaerobic methanotrophic bacteria are widespread in wastewater treatment plants. Indeed, a molecular survey showed the presence of *M. oxyfera* cells in 9 out of 10 treatments systems tested (Luesken et al AMB 2011) and *M. oxyfera* could be readily enriched from one of these systems. In such systems *M. oxyfera* cells would need to be able to cope with fluctuating conditions, and compete with other microbes for methane and nitrite. So far we could show that 2% O_2 did not influence the expression of the methane-oxidation pathway significantly, but the nitrate and nitrite reductase gene clusters were down regulated, and nitrite conversion was severely impaired (Luesken et al 2012). Interestingly one of the putative NOD genes was highly up regulated. Experiments at lower O_2 concentrations and fluctuating conditions need to be done to discover

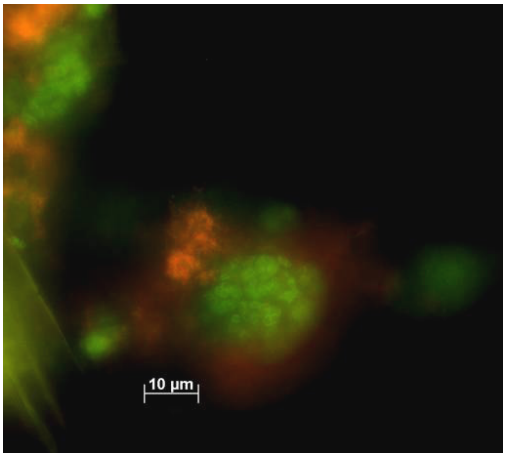


Figure 3 - FISH micrograph of anammox (red) and M. oxyfera (green) co cultures that can remove ammonium, methane and nitrite form wastewater.

the operational limits and regulation of metabolism in *M. oxyfera*. In principle, *M. oxyfera* bacteria in co-culture with anammox (Figure 3) would be ideally suited for application in oxygen limited wastewater treatment for the simultaneous removal of methane, ammonium and nitrate (Luesken et al AEM 2011). Such a system would offer many advantages over current practice, including lower costs, lower production of biomass, lower energy consumption and greenhouse gas (e.g. CO_2, CH_4, N_2O) emission and a much smaller resource foot-print.

Conclusions

Our studies showed that the microbial world still harbors many secrets, and that its diversity is largely unexplored. The newly discovered anaerobic microorganism can be implemented in novel more sustainable wastewater treatment systems.

Acknowledgments

The research on anammox, N-DAMO and other topics over the years was financially supported by the Foundation for Applied Sciences (STW), the Foundation of Applied Water Research (STOWA), the Spinozapremie of the Netherlands Organisation for Earth and Life Sciences (NWO-ALW), the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW), the Darwin Center for Biogeology, an advance grant of the European Research Council, Waterboard Hollandse Delta, and Paques BV. I gratefully acknowledge the contributions of many coworkers and students. Finally I would like to thank the many (inter)national colleagues who contributed their complementary expertise to our joint collaborations.

References

1. Damsté JSS, Strous M, Rijpstra WI, et al (2002) Linearly concatenated cyclobutane lipids form a dense bacterial membrane. Nature. 419(6908):708-12.
2. Ettwig KF, Shima S, van de Pas-Schoonen KT, et al (2008) Denitrifying bacteria anaerobically oxidize methane in the absence of Archaea. Environmental Microbiology 10(11): 3164-3173.
3. Ettwig KF, Butler MK, Le Paslier D, et al (2010) Nitrite-driven anaerobic methane oxidation by oxygenic bacteria. Nature 464: 543-548.
4. Hu S; Zeng RJ Keller J et al (2011) Effect of nitrate and nitrite on the selection of microorganisms in the denitrifying anaerobic methane oxidation process. Environ. Microbiol Reports 3(3): 315-319.
5. Islas-Lima S, Thalasso F, Gomez-Hernandez J. (2004) Evidence of anoxic methane oxidation coupled to denitrification. Water Res. 38(1): 13-16.
6. Jensen M, Lam P, Jetten MSM, Revsbech N, Kuypers M (2011) Nitrogen cycle in the Arabian sea. Nature ISME Journal 5(10):1660-1670.
7. Jetten, MSM, Stams, AJM and Zehnder, AJB (1992) Methanogenesis from Acetate - a Comparison of the Acetate Metabolism in Methanothrix soehngenii and Methanosarcina Spp. FEMS Microbiology Reviews 88(3-4): 181-197.
8. Kartal B, Maalcke WJ, de Almeida NM, et al (2011) Molecular mechanism of anaerobic ammonium oxidation. Nature. 479(7371): 127-131.
9. Kuypers MMM, Lavik G, Woebken D, et al (2005) Massive nitrogen loss from the Benguela upwelling system through anaerobic ammonium oxidation. Proc Natl Acad Sci 102:6478-6483.
10. Kuypers MMM, Sliekers AO, Lavik G, et al (2003) Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. Nature 422:608-611.
11. Lam P, Lavik G, Jensen MM, et al (2009) Revising the nitrogen cycle in the Peruvian oxygen minimum zone. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 106(12): 4752-4757.

12. Luesken FA, van Alen TA, van der Biezen E, et al (2011) Diversity and enrichment of nitrite-dependent anaerobic methane oxidizing bacteria from wastewater sludge. Appl Microbiol Biotechnol. 92(4): 845-854.
13. Luesken FA, Sánchez J, van Alen TA, et al (2011) Simultaneous nitrite-dependent anaerobic methane and ammonium oxidation processes. Appl Environ Microbiol 77(19):6802-6807.
14. Luesken FA, WU ML, Francoijs KJ, et al (2012) Effect of oxygen on the anaerobic methanotroph 'Candidatus Methylomirabilis oxyfera': kinetic and transcriptional analysis. Environ Microbiol 14: 1024-1034.
15. Raghoebarsing AA, Pol A, van de Pas-Schoonen KT et al (2006) A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification. Nature 440:918-921.
16. Sliekers AO, Third K, Abma W, Kuenen JG, Jetten MSM (2003) CANON and anammox in a gas-lift reactor. FEMS Microbiol Lett 218: 339-344.
17. Strous M, Fuerst JA, Kramer EH, et al (1999) Missing lithotroph identified as new planctomycete. Nature 400:446-449.
18. Strous M, Jetten MSM (2004). Anaerobic oxidation of methane and ammonium. Ann Rev Microbiol 58:99-117.
19. Strous, M., E. Pelletier, S. Mangenot et al (2006) Deciphering the evolution and metabolism of an anammox bacterium from a community genome. Nature 440:790-794.
20. van Niftrik LAMP, Jetten MSM. (2012). Anaerobic Ammonium-Oxidizing Bacteria: Unique Microorganisms with Exceptional Properties. Microbiol. Mol. Biol. Rev, 76(3):585. DOI: 10.1128/MMBR.05025-11.
21. Vossenberg van de J, Woebken D, Maalcke WJ, et al Jetten MSM (2012). The metagenome of the marine anammox bacterium "Candidatus Scalindua profunda" illustrates the versatility of this globally important nitrogen cycle bacterium. Environ Microbiol, DOI: 10.1111/j.1462-2920.2012.02774.x.
22. Yan, J, Haaijer SCM, Op den Camp HJM, et al (2012) Mimicking the oxygen minimum zones: stimulating interaction of aerobic archaeal and anaerobic bacterial ammonia oxidizers in a laboratory-scale model system. Environ. Microbiol. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2012.02894x.
23. Wu et al 2012 Wu ML, van Alen TA, et al (2012) Co-localization of particulate methane monooxygenase and cd(1) nitrite reductase in the denitrifying methanotroph 'Candidatus Methylomirabilis oxyfera' FEMS Microbiol Lett. doi: 10.1111/j.1574-6968.2012.02615.x.

Het waterschap anno 2013: van lijderschap naar leiderschap

Renze van Houten
Waterschap Aa en Maas

De maatschappij wordt vloeibaar

Onze samenleving transformeert in een onbegrensde netwerksamenleving. Aan deze transformatie liggen een aantal wezenlijke en met elkaar verbonden ontwikkelingen ten grondslag, die onomkeerbaar, en tegelijkertijd onzeker in hun afloop zijn:

Deze ontwikkelingen leiden tot een aantal eminente maatschappelijke en politiek-bestuurlijke dilemma's en hebben ingrijpende gevolgen voor publieke domeinen en instituties, en voor de positie van politiek in en ten aanzien van die publieke instituties.

Het lijkt er echter op dat de bestaande politieke instituties de rooksignalen van de genoemde maatschappelijke ontwikkelingen niet lijken op te vangen. Veel politieke instituties zijn nog steeds gebaseerd op de fundamenten van de theorie van de Duitse socioloog Max Weber. Zo ook de waterschappen. De hiërarchische ordening in het politieke systeem met zijn gelaagde structuur gaat volgens Weber uit van een zestal basisprincipes van de bureaucratie:

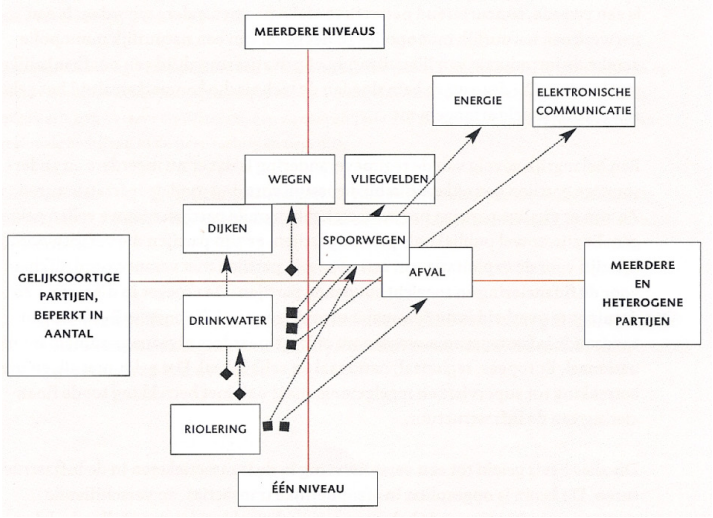
- er is sprake van een formele hiërarchische structuur. Elk niveau stuurt een niveau daaronder aan, en wordt bestuurd door het niveau daarboven. De structuur is de basis van centrale planning en gecentraliseerde besluitvorming;
- er wordt gemanaged op basis van regels, wat het mogelijk maakt dat op hoger niveau genomen besluiten consistent kunnen worden doorvertaald naar alle lagere niveaus;
- het werk wordt gedaan door specialisten. Medewerkers zijn georganiseerd in eenheden die gebaseerd zijn rond het type werk dat ze doen of de vaardigheden die zij hebben (specialisatie);
- de missie van de organisatie is naar 'boven' (de staat of het bestuur als instituut dienen) of naar 'binnen' (de organisatie dienen) gericht. Niet naar 'buiten';
- alle medewerkers en – belangrijker – alle klanten worden gelijk behandeld. Er wordt geen rekening gehouden met individuele verschillen;
- werknemers worden aangenomen op basis van hun technische kwalificaties, en worden in grote mate beschermd tegen ontslag;

Deze constatering laat pijnlijk duidelijk zien dat in deze tijd de gespecialiseerde en bureaucratische overheid moet veranderen. Dat er een heel andere, veel flexibelere overheid nodig is. De vraag is wat dit betekent dit voor de waterschappen.

De infrastructuur ligt in de schijnwerpers

De genoemde maatschappelijke ontwikkelingen leiden – onder andere – tot een grote politieke aandacht voor de infrastructuur. Voorzieningen als drinkwater, mobiliteit, telecommunicatie, riolering, en energie zijn van levensbelang voor het functioneren van de hedendaagse samenleving. Zonder deze infrastructuren zou elke moderne samenleving instorten. De slagvaardigheid en de kwaliteit van onze samenleving worden sterk beïnvloed door de doelmatigheid, kwaliteit en universaliteit van deze voorzieningen: ze vertegenwoordigen een groot *maatschappelijk* belang. Vanwege hun kernfunctie, hun structuur en de eis van gegarandeerde beschikbaarheid, heeft de overheid zich op een andere manier beziggehouden met deze openbare voorzieningen dan met de overige sectoren van economische bedrijvigheid. Immers, naast een *maatschappelijk* belang vertegenwoordigen zij ook een *publiek* belang (WRR, 2000). De overheid heeft deze infrastructuren daarom niet onvoorwaardelijk aan de markt overgelaten. Toch is er iets aan het veranderen.

Zo'n twintig jaar geleden is een verandering ingezet die nog steeds gaande is in vrijwel alle Nederlandse infrastructuren (telecommunicatie, gas, elektriciteit, spoorwegen, afvalverwerking etc.). Het kan in grote lijnen worden omschreven als een overgang van een publieke monopolie op het eigendom en beheer van deze infrastructuren en dienstverlening, naar een nieuwe situatie waarin meerdere publieke en private partijen het eigendom en de verantwoordelijkheid voor beheer delen op grond van uiteenlopende institutionele arrangementen. Dit wordt veroorzaakt door het grensoverschrijdend karakter dat deze infrastructuren – vooral telecommunicatie en energie – hebben gekregen. Hierdoor zijn zij buiten de directie politieke macht gaan vallen. Daarbij is een belangrijke doelstelling van de verandering de introductie van een zekere mate van marktwerking, als middel om de efficiëntie te verhogen en om klantgerichtheid en keuzemogelijkheden voor de klanten te bevorderen. Deze ontwikkeling is schematisch weergegeven in figuur 1.1. Op de x-as staat het aantal en de heterogeniteit van de betrokken partijen uitgezet, op de y-as het aantal betrokken bestuurlijke niveaus. Figuur 1.1 laat zien dat de afgelopen jaren voor veel infrastructuren een verschuiving heeft plaatsgevonden van een situatie waar de infrastructuur bij enkele gelijksoortige partijen in eigendom was en onder verantwoordelijkheid van één bestuurlijk niveau werd beheerd, naar een situatie waarbij meerdere en heterogene partijen en meerdere bestuurlijke niveaus het eigendom en beheer delen. Er vindt sterke keten- en netwerkvorming plaats.



Figuur 1 - Relatieve positie van infrastructuren in Nederland. (Bron: WRR, 2008).

Maar wat is marktwerking nu precies? Marktwerking wil zeggen dat er een marktmechanisme werkzaam is dat tot doel heeft vraag en aanbod met elkaar in evenwicht te brengen via de corrigerende (disciplinerende) rol van afnemer. Om dit te verwezenlijken moet aan een drietal voorwaarden worden voldaan: aan de aanbodzijde moeten voldoende producenten zijn en aan de vraagzijde voldoende afnemers; de producenten moeten vrij en onmiddellijk kunnen toe- of uitreden, zonder hoge kosten; er is volledige transparantie over de prijs/kwaliteitverhouding van een product of dienst. In de praktijk zal lang niet altijd aan alle drie voorwaarden worden voldaan.
Om marktwerking bij infrastructurele voorzieningen te bevorderen kunnen vijf verschillende vormen worden onderscheiden (WRR, 2008):

- **liberalisering:** monopolie doorbroken, toelaten meerdere (publieke) aanbieders in een sector;
- **privatisering:** beheer en eigendom wordt overgedragen aan de private sector;
- **ontvlechting:** scheiden van taken/functies in aparte units, bv. levering en netwerkbeheer;
- **commercialisering:** publieke taak volgens commerciële management principes publiek uitvoeren;
- **internationalisering:** zowel fysiek als qua governance grensoverschrijdend (wetgeving etc.)

In de waterketen is de regimeverandering nog op komst. In het Bestuursakkoord Waterketen is afgesproken dat – gegeven de fysieke verwevenheid van drinkwaterwinning, riolering en afvalwaterzuivering – drinkwaterbedrijven, gemeenten en waterschappen permanente samenwerking in de waterketen realiseren. Zij beheren de waterketen als ware er sprake van één systeem en één verantwoordelijke partij. Impliciet is aangenomen dat de efficiëntie de komende tien jaar met 10-20% kan (lees: moet) worden verbeterd. Maatstafconcurrentie door benchmarking wordt hierbij als belangrijk – en minimaal – hulpmiddel gezien. De dreigende taal uit 'Den Haag' is niet zonder reden: sinds 1997 wordt gestuurd op verbetering van doelmatigheid in de waterketen. Tot nu toe, volgens het Rijk, zonder het gewenste resultaat waardoor de vrijblijvendheid door het Rijk wordt weggenomen. Dit noodzaakt tot verandering en vernieuwing van de waterketen. Maar in welke richting?

Marktdruk neemt toe

Naast deze dreigende taal uit 'Den Haag' worden de waterschappen geconfronteerd met een oprukkende markt die zich razendsnel ontwikkelt. De laatste jaren zijn in Europa kapitaalkrachtige bedrijven ontstaan die zonder twijfel uitvoerende taken van drinkwaterbedrijven, gemeenten, en de waterschappen kunnen overnemen. Voorbeelden hiervan zijn de inmiddels beursgenoteerde internationale conglomeraten Veolia, het iets kleinere Gas de France - SUEZ, en SAUR (Societe d'Amenagement Urbain et Rural).

Omgevingsanalyse: drijvende krachten voor de toekomst, en scenario's

Maar hoe vertalen we nu deze maatschappelijke ontwikkelingen naar een goede strategie? Om een ander pad met een bredere context en andere spelers te verkennen kunnen via een grondige omgevingsanalyse strategische keuzemogelijkheden en hun consequenties in kaart worden gebracht. Recent zijn daartoe voor de waterketen van de waterschappen enkele brede omgevingsanalyses uitgevoerd. Hierbij is de DEPEST- of DESTEP-methode gebruikt om de drijvende krachten voor de toekomst te bepalen. De verkregen scenario's zijn beschreven in de Voorstudie Afvalwaterketen 2030.

Naar een nieuwe strategische visie op de waterketen van de waterschappen

De afgelopen jaren hebben de waterschappen hard gewerkt aan een nieuwe strategische visie op hun organisaties en de inhoud van hun werk. Deze visie is verwoord in de Voorstudie Afvalwaterketen 2030, de Routekaart Afvalwaterketen 2030, en de RWZI 2030. De toekomstige waterketenorganisatie wordt daarin omschreven als een onderneming met overheidstaken, die al het afvalwater van gemeenten en bedrijven zuivert. Zij heeft de regie en het beheer en onderhoud van de gehele afvalwaterketen, en ontzorgt gemeenten/burgers en bedrijven. De focus van de bedrijfsactiviteiten ligt op kwaliteit, betrouwbaarheid en duurzaamheid. Uiteraard is er een nauwe relatie met de klanten. Het werk doet zij vanuit decentrale locaties en een klein centraal kantoor. Er is een minimale staf en maximale uitvoering. Circa 25% - 40% van de inkomsten

worden vanuit de markt gegenereerd. De rest wordt als heffing geïnd bij burgers en bedrijven. Op innovatiegebied is zij een snelle volger.

De visie is verbijzonderd naar een aantal aspecten. Deze zijn hieronder beschreven.

1. Een waterketenorganisatie zuivert op een efficiënte manier water ten behoeve van volksgezondheid en waterkwaliteit.
De aard van de taken van de waterketenorganisatie – zorgdragen voor de volksgezondheid en waterkwaliteit door goede sanitatie – maakt dat deze als publiek belang worden aangemerkt. Afvalwaterstromen worden omgezet in schoon water, energie en grondstoffen. De wettelijke taken (zorgplicht) zijn (inhoudelijk) ongewijzigd ten opzichte van de huidige situatie. Wel zijn bestuurlijke veranderingen opgetreden waardoor de rol van toezichthouder niet noodzakelijkerwijs bij de waterschappen ligt.

2. Een waterketenorganisatie levert integrale oplossingen passend binnen het natuurlijk systeem en de openbare ruimte.
Bij het inrichten, vernieuwen en beheren van de waterketen wordt integraal gekeken en worden integrale oplossingen aangeboden. Dit betekent dat ook expliciet wordt gekeken naar de inrichting van de (bebouwde en onbebouwde) openbare ruimte. Organisaties kiezen ruimtelijke oplossingen die optimaal passen binnen het natuurlijk systeem en de inrichting van de bebouwde omgeving. De oplossingen zullen bij stedelijke vernieuwingsprojecten anders zijn dan bij nieuwbouw projecten of bij dorpen in het landelijk gebied. Er wordt altijd rekening gehouden met de mogelijkheden van het landschap. Vernieuwings- en uitbreidingsplannen rondom onderdelen van de waterketen worden afgestemd op bouw- en vernieuwingsprojecten.

3. Een waterketenorganisatie werkt vraaggestuurd en levert een grote diversiteit aan diensten en voorzieningen.
De waterketenorganisatie levert commerciële diensten aan specifieke consumenten (wijken) of bedrijven (bedrijfsterreinen) tot achter de voordeur. De waterketenorganisatie is in staat om voor bedrijven of bedrijfsterreinen een gesloten afvalkringloop in te richten en te beheren. Het spreekt voor zich dat klanten hiervoor zelf betalen. Het leveren van maatwerk resulteert in diversiteit in ketens. De inrichting van de keten in de vorm van rioleringstelsels en zuiveringsinstallaties verschilt ook sterk per regio. Dit betekent dat er kansen zijn voor verschillend gevormde waterketenorganisaties.

4. Een waterketenorganisatie richt zich primair op productie van grondstoffen, energie en water met een economische waarde.
Naast de wettelijke taken ten aanzien van volksgezondheid en waterkwaliteit (zorgplicht) produceert de waterketenorganisatie met behulp van moderne technologie grondstoffen en restenergie uit afval(water)stromen.

5. Een waterketenorganisatie heeft gedifferentieerde tarieven voor bedrijven.
Waterketenorganisaties berekenen prijzen (tarieven) voor de verwerking van afvalwaterstromen van bedrijven, die gerelateerd zijn aan werkelijk te maken kosten. Voor huishoudens wordt nog steeds met één tarief gewerkt. Om het werken met gedifferentieerde tarieven te realiseren heeft Brussel passende Europese regelgeving ontwikkeld.

6. Een waterketenorganisatie werkt transparant en doelmatig.
Klanten, partners en overheden wordt inzicht gegeven in besluiten en motieven, in prestaties en producten, en in kosten en tariefopbouw, er wordt één integrale afvalwaternota per klant verstuurd.
De organisatie streeft naar de laagste maatschappelijke kosten voor de gehele waterketen bij een hoge kwaliteit dienstverlening.

De zes onderdelen van de visie worden hierna kort toegelicht en in hun maatschappelijke context gezet.

Ad 1.
In de visie is nadrukkelijk gekozen voor het publiek belang: de volksgezondheid. Hoewel dit een politieke keuze is, valt hier wel iets voor te zeggen. Allereerst vanwege de intrinsieke waarde van het belang zelf.

Ondanks alle progressie in de medische wereld, is de levensverwachting de afgelopen eeuw het sterkst gestegen door een goede drinkwatervoorziening en goede sanitatie. Analoog aan de drinkwatersector, dient de afvalwaterketen daarom als publiek belang te worden aangemerkt. Daarnaast wordt sanitatie inmiddels als vanzelfsprekend gezien: een dissatisfier. Het boeit weinigen, totdat het niet meer functioneert. Daarmee bestaat het risico dat alleen het korte termijn belang van kostenefficiency wordt gediend, en niet het lange termijn belang van volksgezondheid en waterkwaliteit. Om dit te voorkomen dient de waterketen als publiek belang te worden bestempeld.
Aan de andere kant kan worden gesteld dat de *uitvoering* van de waterketentaak – zeker het deel van de waterschappen – relatief eenvoudig op afstand van de overheid kan worden gezet. De taken, doelen en prestatie-eisen kunnen goed worden omschreven en in regelgeving of vergunningen worden vastgelegd. Het publiek belang van volksgezondheid wordt dan voldoende geborgd. Internationaal bestaan hiervan voldoende voorbeelden.

Ad 2.
De waterketen maakt onderdeel uit van de openbare ruimte (hemelwater/riolering) en het natuurlijk systeem (lozing op oppervlaktewater). Een integrale afweging van belangen is daarom erg belangrijk. Dat dit niet altijd goed gaat heeft enkele jaren geleden de Raad voor Verkeer en Waterstaat nog eens aangetoond. In haar advies wordt nadrukkelijk gepleit voor het in evenwicht brengen van de belangen van de infrastructuur en de leefomgeving omdat dit anders tot vertraging van werkzaamheden en hoge kosten leidt. De visie dient op deze bevindingen aan te sluiten.

Ad 3.
Naast de wettelijk bepaalde taken, wil de waterketenorganisatie burgerparticipatie bevorderen door commerciële diensten aan specifieke consumenten aan te bieden. Een goed voorbeeld is de energieproductie en beoogde levering aan consumenten (Energiefabriek, 2010). Dit heeft een groot voordeel. Er ontstaat een directe betrokkenheid met de burger. Deze betrokkenheid is essentieel om legitimiteit en het maatschappelijk draagvlak van het waterschap te borgen. Dit is in lijn met de eerder beschreven maatschappelijke ontwikkeling dat politieke instituties niet meer als vanzelfsprekend worden gezien, en klanten niet meer gelijk willen worden behandeld, maar afhankelijk van hun klantbehoefte. Een flexibeler overheid dus.

Ad 4.
Uit het oogpunt van duurzaamheid wordt niet meer gesproken over afvalwaterzuivering, maar grondstoffenproductie. Dit sluit aan bij reeds in gang gezette ontwikkelingen als energieproductie (Energiefabriek, 2010) en grondstofterugwinning (Grondstoffenfabriek, 2012). Onlangs is voor de waterketen een toekomstverkenning voor de technologieontwikkeling uitgevoerd (RWZI 2030). Kernelement daarbij is de omvorming van de waterzuiveringsinstallatie naar een nutriënten-, energie- en waterfabriek. Het concept staat inmiddels bekend onder het begrip 'NEWater'.

Ad 5.
Dit onderdeel van de visie sluit aan bij de verdere commercialisering van de waterketentaken. Een transparant en gedifferentieerde tarief maakt het mogelijk dat er enige mate van marktwerking kan ontstaat, zeker voor de bedrijven. Er wordt betaald naar belang en geleverde dienst.

Ad 6.
Dit onderdeel van de visie komt voort uit de keuze voor de waardestrategie *productleiderschap*. De kwaliteit van dienstverlening is hoog en betrouwbaar. Deze hoge kwaliteit wordt geleverd tegen een redelijke prijs en een aanzienlijke klantgerichtheid.

Strategie: de tastbare weg van nu naar straks

Welke acties moet waterschap Aa en Maas nu in gang zetten of voortzetten om het gewenste toekomstbeeld te bereiken? Op basis van een analyse van ontwikkelingen in andere infrastructuren kan worden afgeleid dat een bepaalde volgorde in de strategie noodzakelijk is. Er dient achtereenvolgens aandacht te worden gegeven aan de operationele dimensie, de financiële dimensie en de institutionele

dimensie. Een andere volgorde leidt veelal tot vertraging of mislukking van de strategie (WRR, 2008). Allereerst gaan de waterschappen hun visie op de waterketen bespreken met de gemeenten om te komen tot een gezamenlijke visie. Belangrijk is of dezelfde kernelementen uit de visie door de gemeenten worden gedeeld. Eind 2012 dient een *gezamenlijke* visie op de waterketen voor de komende jaren te zijn gerealiseerd.

Operationele dimensie

Als vervolg op deze gezamenlijke visie bouwt het waterschap haar relatie met gemeenten uit, onder andere door beheer en onderhoud verder op elkaar af te stemmen. Op deze wijze kan waardevolle kennis van de waterketen tussen waterschap en gemeenten worden uitgewisseld. Bovendien kunnen gemeenten onderling kennis uitwisselen. Op dit moment hebben vooral kleine(re) gemeenten te kampen met een te kort aan technisch personeel (vooral rioleurs). De grote gemeenten kunnen de kleinere gemeenten helpen. Verder kunnen innovaties in de waterketen gezamenlijk worden gerealiseerd. Ook kan het waterschap gemeenten ontzorgen op het gebied van gegevensbeheer, prestatiemetingen en onderlinge benchmarks.

De samenwerking met gemeenten kan verder vormgegeven worden door waterschapmedewerkers bij ketenpartners in te zetten. In het kader van het Brabant Traineeprogramma is de afgelopen twee jaar met succes geëxperimenteerd met deze formule, maar na het succes van deze uitwisseling van trainees tussen waterschap, provincie en 13 gemeenten kan de uitwisseling ook voor eigen medewerkers mogelijk worden gemaakt. De gemeente Helmond heeft daarvoor al concrete belangstelling getoond. De eerste ronde van het Brabant Traineeprogramma liep van 1 september 2008 tot 1 maart 2010. De tweede ronde wordt momenteel opgezet. Ook is de mogelijkheid van uitwisseling van eigen medewerkers wordt onderzocht en benut.

Naast eerdergenoemde organisatorische en personele maatregelen gaan de waterschappen technologische innovaties inzetten om grondstoffen uit afvalwater terug te winnen en zo concreet inhoud te geven aan het begrip duurzaamheid/ Grondstoffenfabriek. Op deze wijze willen de waterschappen de hele keten van afvalwaterzuivering en slibverwerking zo goedkoop en milieuvriendelijk mogelijk inrichten.

Verder wordt gewerkt aan de 'Energiefabriek'. Door afvalwater als energiebron te gebruiken kan het waterschap in haar energiebehoefte niet alleen zelfvoorzienend worden, maar uiteindelijk ook als energieleverancier gaan optreden. Dit biedt een uitgelezen kans om meer betrokkenheid van consumenten bij de waterschapstaken te verkrijgen. Om de potentiële betrokkenheid te verkennen zijn inmiddels diverse 'klantarena's' gehouden waarbij met consumenten is gediscussieerd over de positie van het waterschap als energieleverancier, ook ten opzichte van energiebedrijven. Het wordt volstrekt logisch gevonden dat – wanneer mogelijk – de waterschappen energie gaan produceren. De burger heeft kennelijk geen boodschap aan zorgplicht, wettelijke taken of institutionele belangen. Uit de gesprekken blijkt verder dat het imago van de waterschappen weliswaar 'stoffig', 'oubollig' en 'ambtelijk' wordt gevonden, maar tegelijkertijd zeer degelijk en betrouwbaar. Veel betrouwbaarder dan de geliberaliseerde energiebedrijven. Consumenten blijken daarmee graag bereid 'waterschapenergie' af te nemen.

Financiële dimensie

Uiteraard wordt gewerkt aan verdere verhoging van efficiëntie in de afvalwaterkeren. Waterschap Aa en Maas heeft al enkele jaren het laagste tarief voor de verontreinigingsheffing van Nederland. Dat willen we graag zo houden. Begin 2010 is een plan opgesteld om te komen tot vergaande automatisering van de zuiveringen. Dit moet leiden tot volledig locatieonafhankelijke procesbewaking en –sturing, waardoor personeel flexibeler en efficiënter kan worden ingezet.

Bovendien kan in de waterketen nog veel worden verbeterd. Begin 2010 zijn met alle betrokken gemeenten optimalisatiestudies voor het afvalwater-systeem (OAS) uitgevoerd. Doel van deze studies is een vergaande (kosten)optimalisatie van de gehele waterketen te bereiken. Dit onderwerp sluit goed aan bij de gewenst intensieve financiële samenwerking met gemeenten.

De behoefte aan deze intensieve vorm van samenwerking is inmiddels door verschillende gemeenten uitgesproken. In de loop van 2012 dient de samenwerking te leiden tot een gezamenlijk meerjarig investeringsprogramma voor de waterketen.

Institutionele dimensie

Tenslotte kan Waterschap Aa en Maas het rioolbeheer voor de gemeenten verzorgen en zo uitgroeien tot een maatschappelijke onderneming die verantwoordelijk is voor de regie en het beheer en onderhoud van de gehele waterketen in Noordoost Brabant. Dit ligt overigens politiek uiterst gevoelig. Het is dus de vraag of voldoende strategische ruimte bestaat om deze strategie tot uitvoer te brengen. Landelijke discussie over het overnemen van rioolbeheer door derden heeft in 2004 geleid tot een defensief rapport van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG, 2004). In dit rapport is in duidelijke bewoordingen aangegeven dat de gemeenten zeggenschap over het rioleringsbeheer willen houden. Ook een recent voorstel van de Unie van Waterschappen (UvW, 2009) werd in eerste instantie met argwaan door de gemeenten ontvangen. Het merkwaardige is dat de gemeenten geen enkele moeite hebben met het uitbesteden van de overige infrastructuur zoals gas, water, elektriciteit en afvalverwerking. Overigens is op dit vlak wel enige beweging, getuige de oprichting van Aquario Water Management B.V. door Wetterskip Fryslân en Vitens NV. Aquario verzorgt het rioolbeheer van zes gemeenten. Daarom dient het waterschap de komende bestuursperiode – 2009-2012 – behoedzaam de strategische ruimte zowel bij haar eigen bestuur als bij de gemeenten te onderzoeken en te creëren. Op weg naar een waterketenorganisatie …

Nereda®: Voorbeeld van succesvolle innovatie?

Helle van der Roest
RHDHV

Met de succesvolle ontwikkeling en introductie van de Nereda® korrelslibtechnologie ligt de wereld aan onze voeten!? Was het maar zo eenvoudig! Het omzetten van duurzame zuiveringsprestaties in klinkende munt vraagt binnen en buiten onze landsgrenzen om nieuwe vormen van samenwerking. Vormen waarin niet alleen (nieuwe) technologische innovaties voorop staan, maar waarin ook wordt geëxperimenteerd met andere rollen, verantwoordelijkheden en risico's. Nereda® biedt een platform waarop deze experimenten kunnen plaatsvinden; een plezierige uitdaging.

Inleiding

Met de opening van 's werelds eerste huishoudelijke Nereda® praktijkinstallatie te Epe op 8 mei 2012 door ZKH Prins Willem Alexander is een belangrijke mijlpaal geslagen. Nu "het eerste schaap over de dam is" lijkt er voor de aërobe korrelslibtechnologie geen einde te komen aan de binnen- en buitenlandse interesse. De technologie waarmee afvalwater duurzamer en compacter gezuiverd kan worden tegen aanmerkelijk lagere investeringen en operationele kosten. De technologie die de belofte inhoudt om binnen nu en 10 jaar de wereldstandaard te zijn voor afvalwaterzuivering.

De Nederlandse watersector heeft gezamenlijk de ontwikkeling van de Nereda® technologie ter hand genomen. In deze bijdrage zal echter niet alleen aandacht worden besteed aan de indrukwekkende prestaties van de technologie, maar ook worden ingegaan op de leerpunten uit het ontwikkeltraject. Deze punten hebben in principe een veel breder toepassingsbereik. Ze kunnen worden toegepast om de internationaal erkende positie van de Nederlandse watersector in de toekomst te blijven handhaven en te versterken.

Voorbeeld van een succesvolle innovatie?

In 1999 spraken Mark van Loosdrecht (TUD) en Helle van der Roest (Royal HaskoningDHV) over aëroob korrelslib. Sinds 1993 werden de fundamentele principes al door Janneke Beun en Merle de Kreuk onderzocht. De toepassing op praktijkschaal leek op basis van eerste berekeningen interessant. Een STOWA deskstudie leverde de bevestiging en tegelijkertijd konden op de TUD de eerste aërobe korrels met afvalwater uit de praktijk worden geproduceerd. Tien jaar nadat de TUD begon met wetenschappelijk onderzoek werd in 2003 op de rwzi Ede het

Nereda®: Voorbeeld van succesvolle innovatie?

Figuur 1 - EBEA-prijsuitreiking op 3 juni 2008 in Brussel (European Business Award for the Environment) v.l.n.r. Merle de Kreuk – TUD, Andreas Giesen en Helle van der Roest – Royal HaskoningDHV, Jacques Leenen – STOWA en Douwe Jan Tilkema – Waterschap Vallei & Veluwe.

eerste STOWA pilotonderzoek gestart. Twee jaar later werd een belangrijke technologische doorbraak bereikt; het GSBR (Granular Sludge BioReactor) systeem werd vanaf dat moment Nereda® genoemd. De "waternimf" kon in 2005 ook haar eerste ("Vernufteling") prijs in ontvangst nemen en in de jaren daarna zouden vele andere (internationale) prijzen (zie figuur 1) volgen. De potentie van de Nereda® technologie was menigeen inmiddels duidelijk geworden, maar er moesten nieuwe wegen worden gezocht om het succes te verzilveren. Wegen die de watersector meer zouden opleveren dan menig prachtige technologische vinding in het verleden. Zou Nereda® het voorbeeld van een succesvolle innovatie kunnen worden?

In dit kader kwamen Royal HaskoningDHV, TUD, STOWA, STW, VEMW, NWP en het ministerie van EZ eind 2005 bijeen; men besefte dat een bijzondere strategie moest worden gevolgd om de innovatie te kunnen ontwikkelen tot een succesvol product voor de internationale watermarkt (zie figuur 2). Deze strategie gaat uit van een snelle technologische ontwikkeling en de gelijktijdige realisatie van praktijkreferenties om buitenlandse concurrentie voor te blijven. Het bezit van patenten alleen is veruit onvoldoende om een voorsprong te behouden. Het gaat vooral ook om het verkrijgen van applicatiekennis, waarbij fundamentele kennis goed wordt vertaald naar praktijktoepassingen, en vice versa. De Nederlandse watersector en landelijke overheid voelden zich uitgedaagd om deze strategie gezamenlijk op te pakken. Vijf waterbeheerders (HHR, WSHD, WR&IJ, WVV en WBL) bleken bereid om samen met STOWA, TUD en Royal HaskoningDHV het Nationaal Nereda® Onderzoeksprogramma (NNOP)

Figuur 2 - Startdocument uit 16 november 2005 – het spinnenweb staat symbool voor de nieuwe manier van samenwerking.

te starten. Begin 2007 wordt de NNOP overeenkomst getekend, waarin onder meer gedefinieerde projecten, geheimhouding en kennisoverdracht, financiering en aansprakelijkheid zijn omschreven. De "gouden driehoek" tussen overheid, wetenschap en bedrijfsleven heeft daar letterlijk vorm gekregen. De bereidheid van de NNOP partijen om met respect voor elkaars rollen en verantwoordelijkheden een dergelijke overeenkomst aan te gaan, bleek uiteindelijk van doorslaggevende betekenis. Het getuigde van moed en ondernemersschap om aan het begin van een onzeker traject te spreken over de verdeling van risico's én opbrengsten. De samenwerking schiep een sfeer van vertrouwen die nodig was om de hobbels met elkaar te nemen.

Samen hobbels nemen

Nog voor de ondertekening van de NNOP overeenkomst was al sprake van een eerste Nereda® praktijkinstallatie: die voor de rwzi Zuidland. Om de risico's van een snelle marktintroductie af te dekken, zou een garantiefonds worden ingesteld. Voor Zuidland kwam dit fonds te laat, waardoor het bestuur van WSHD zich genoodzaakt zag van het project af te zien. Begrijpelijkerwijs kon men vanuit haar rol als waterbeheerder de risico's niet afwentelen op de belastingbetaler. Dit besluit wierp de "ontwikkeling" van de Nereda® technologie met meer dan een jaar terug en de NNOP partners realiseerden zich dat een andere weg moest worden bewandeld. Het waterschap Vallei & Veluwe ("WVV") stelde zich vervolgens kandidaat voor de eerste huishoudelijke Nereda® praktijkinstallatie in Epe. Samen met Royal HaskoningDHV moest een nieuwe manier van samenwerking en contractvorming tot stand worden gebracht om de risico's te kunnen beperken en beheersen.

Na ruim een jaar intensieve gesprekken kozen WVV en Royal HaskoningDHV voor een UAVgc-contract, waarin naast de snelle realisatie van de Nereda® installatie, integraal ook de opleiding van WVV medewerkers en het beheer & onderhoud werden geregeld. Met Royal HaskoningDHV als hoofdaannemer is conform Europese richtlijnen, de aanbestedingsplicht doorgelegd naar marktpartijen. Met deze nieuwe PPS vorm zijn door partijen uitstekende ervaringen opgedaan. Een korte bouwtijd, hoge kwaliteit en significant lagere kosten zijn het resultaat. De rwzi Epe vergde een investering die significant lager ligt dan een conventionele zuivering. Daarenboven zijn scherpe garantie eisen voor onder meer effluentkwaliteit, slibverwerking en chemicaliën- en energieverbruik ruimschoots gehaald. Bovendien zijn er mogelijkheden met betrekking tot verdergaande ontwikkelingen naar voren gekomen, die de potentie van de technologie alleen maar vergroten. Het succes van Epe is echter ook gerelateerd aan een aantal belangrijke andere aspecten.

Ofschoon structureel wetenschappelijke ondersteuning in Nederland moeilijk bleek te organiseren, is door toegewijde TUD medewerkers fundamentele kennis op het vlak van de Nereda® technologie verder uitgebreid. Door de gelijktijdige uitvoering van fundamenteel en applicatie onderzoek en nieuwe inzichten te koppelen aan de praktijk, dagen universiteit, bedrijfsleven en overheid elkaar voortdurend uit om over eigen grenzen te kijken. Juist op de grensvlakken ontstonden nieuwe inzichten, die tot het succes van de Nereda® technologie hebben geleid. Deze benadering wijkt sterk af van de inzichten die vroeger werden gevolgd. Daar werd uitgegaan van een gefaseerde uitvoering van fundamenteel, applicatie onderzoek en praktijkproject.

Naast deze belangrijke constatering is het voor de Nereda® ontwikkeling cruciaal gebleken over een vangnet te beschikken in geval van onvoldoende functioneren van de technologie in de praktijk. De opschaling met een factor 3000 van pilot naar praktijkschaal op Epe ging met onzekerheden gepaard.. Het vangnet is organisatorisch binnen de NNOP samenwerking tot stand gebracht en financieel ondersteund door onder meer AgentschapNL. Hiermee is een verdere Nereda® ontwikkeling op de rwzi Epe mogelijk gemaakt, waarvan nieuwe installaties nu al direct profiteren. Hiermee is ook de (internationale) concurrentiepositie van de technologie verder versterkt.

Revolving Fund

De ontwikkeling van de Nereda® technologie is uniek voor de Nederlandse watersector en is mede mogelijk gemaakt doordat alle partijen bereid waren gezamenlijk te investeren en risico's te delen. In

Figuur 3 – Ondertekening 27 maart 2012 Nereda® contracten revolving fund (v.l.n.r. Han de Winde – TUD, Jacques Leenen – STOWA, Eppo Bruins – STW en Eric Zandbergen – Royal HaskoningDHV).

het vertrouwen dat de potenties van de technologie zouden worden waargemaakt, is vijf jaar geleden de afspraak gemaakt dat bij succes ook opbrengsten zouden worden gedeeld. Op 27 maart 2012 zijn tussen STOWA en Royal HaskoningDHV enerzijds en tussen STW-TUD en Royal HaskoningDHV anderzijds contracten ondertekend, die de afdracht regelen van een deel van de royalty's die door Royal HaskoningDHV worden ontvangen bij de realisatie van huishoudelijke (in buitenland) en industriële (wereldwijd) Nereda® installaties (zie figuur 3).

Een dergelijke afdracht van gelden is uniek in het 40 jarig bestaan van de STOWA. Normalerwijs wordt de afspraak gemaakt dat inkomsten die voortkomen uit door STOWA gefinancierd onderzoek, toevloeien naar de eigenaar van de ontwikkelde technologie. Daar staat tegenover dat door deze partij geen royalty's voor toepassing hiervan aan de Nederlandse waterbeheerders in rekening mogen worden gebracht. Hiervan is bij de ontwikkeling van de Nereda® technologie afgeweken door het besef dat het terugvloeien van innovatiegelden naar de gehele Nederlandse watersector noodzakelijk is, om innovatieprocessen ook in de toekomst te kunnen waarborgen. De ondertekening van beide contracten kenmerkt het begin van een nieuw tijdperk, waarin de intensieve samenwerking binnen de Nederlandse watersector zal leiden tot innovaties, waarmee het internationale aanzien van Nederland op het topgebied water kan worden behouden c.q. versterkt. Het is nu aan diezelfde watersector om de enorme potenties van de Nereda® technologie daadwerkelijk tot nieuwe wereldstandaard voor afvalwaterzuivering te verheffen en haar inspanningen te verzilveren. Na Kennis en Kunde is het nu hoog tijd voor de Kassa. Aan de potenties van de technologie zal het niet liggen!

Het eerste schaap over de dam

Na een uitgebreid en intensief onderzoekstraject op pilotschaal (2005 – 2010) waren de verwachtingen rondom de nieuwe Nereda® technologie hooggespannen. Dat met de Nereda® technologie ten opzichte van een traditionele actiefslibinstallatie minder ruimte en significant minder investeringen nodig zijn, was al duidelijk. Met de realisatie van de rwzi Epe moesten ook de verwachtingen en geclaimde potenties op het gebied van duurzaamheid en effluentkwaliteit waar worden gemaakt.

De Nereda® installatie Epe is ontworpen voor 53.500 v.e (à 150 gTZV) en een maximale hydraulische belasting van 1.500 m^3/h, waarbij gegarandeerde effluenteisen voor stikstof en fosfaat zijn geformuleerd van 5 - 8 mgN/l en 0,3 – 0,5 mgP/l voor respectievelijk zomer- en winterperiode. Naast scherpe garantie eisen t.a.v. slibverwerking en kosten, is tevens een eis gesteld aan het totale energieverbruik van de rwzi, te weten 22,7 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar). Figuur 4 geeft een beeld van de installatie.

Figuur 4 – Nereda® installatie te Epe.

De zuiveringsprestaties van de installatie zijn tijdens een zesweekse verificatietest getoetst en hier weergegeven in tabel 1. Geconcludeerd mag worden dat aan de gestelde effluenteisen ruimschoots is voldaan. Daarbij wordt opgemerkt dat een verdere optimalisatie m.b.t. de N-verwijdering mogelijk is en dat in een later stadium zal worden getracht de haalbaarheid van de MTR-kwaliteit (N = 2,2 mg/l en P = 0,15 mg/l) aan te tonen. Verder is gebleken dat de rwzi Epe in staat is om zonder grote problemen industriële lozingen te kunnen opvangen. Uit alle ervaring met korrelslib in de praktijk, op pilot- en laboratoriumschaal, is gebleken dat korrelslib minder gevoelig is dan actiefslib voor toxiciteit en andere extreme procescondities.

Ook m.b.t. het energieverbruik van de rwzi Epe zijn interessante resultaten opgetekend. Nadat

Tabel 1 - Resultaten verificatietesten Nereda installatie Epe (2012).

Parameter	**Influent** (mg/l)	**Effluent** (mg/l)	**Rendement** (%)
CZV	879	27	96,9
BZV	333	< 2 [1)]	> 99,4
N_{totaal}	77	4,0	94,7
P_{totaal}	9,3	< 0,3 [2)]	> 96,8
OB	341	< 5 [1)]	> 98,4

1) Onder analyse grenswaarde

2) P_{ortho} < 0,05 mg/l

tijdens de verificatietesten al een laag specifiek energieverbruik werd vastgesteld, zijn als onderdeel van het Beheer & Onderhoudscontract door het waterschap en Royal HaskoningDHV in de loop van 2012 diverse optimalisaties doorgevoerd. Daarmee is het specifieke energieverbruik verder gereduceerd tot 22,2 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar). Uitgaande van een volbelaste installatie wordt een verbruik van 16,3 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar) berekend, een resultaat dat nagenoeg 30% lager ligt dan het gegarandeerde verbruik! Vanuit een overzicht dat in 2009 door de STOWA is gemaakt blijkt het gemiddelde energieverbruik van moderne installaties met bellenbeluchting en aanvullende zandfiltratie 37,5 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar) te bedragen. Bij deze vergelijking dient rekening te worden gehouden met het feit dat op de rwzi Epe afvalwater 2 m extra wordt opgepompt. Dit vindt plaats, vanwege het feit dat in het oorspronkelijke ontwerp rekening is gehouden met de realisatie van een nabezinktank en ombouw tot een conventioneel actiefslibsysteem, indien de korreltechnologie onverhoopt niet zou functioneren. Overigens wordt met het realiseren van enkele aanvullende technische en technologische aanpassingen op de rwzi Epe in 2013 een verdere energiereductie verwacht. Met dergelijke resultaten is het niet verwonderlijk dat de technologie zich kan verheugen in grote (internationale) belangstelling.

Een zonnige toekomst?

De Nereda® technologie heeft zich op de rwzi Epe voor het eerst op grotere schaal bewezen. In 2013 zullen in Nederland achtereenvolgens de rwzi's Utrecht (prototype), Garmerwolde (140.000 v.e.), Vroomshoop (hybride) en Dinxperlo (inclusief watertuin) worden opgestart. Het WBL heeft tijdens de innovatiesalon op 11 oktober 2012 kenbaar gemaakt voor haar innovatieve MDR concept uit te gaan van de Nereda® technologie. Ook andere Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders bestuderen de mogelijkheid de technologie toe te passen voor aanpassing en nieuwbouw van rwzi's in hun beheersgebied. Hierbij wordt dankbaar gebruik gemaakt van de ervaringen op de rwzi Epe. Nieuwe inzichten hebben geleid tot aangepaste ontwerpgrondslagen die de concurrentiepositie van de technologie verder hebben versterkt.

Tijdens de ontwikkeling van de technologie zijn ook onverwachte zaken naar voren gekomen. In dit verband is het interessant te melden dat eerst enkele jaren geleden duidelijk werd dat de Nereda® korrel voor een significant deel is opgebouwd uit biopolymeren. Deze kunnen uit de korrel worden geëxtraheerd en mogelijk als waardevolle grondstof worden afgezet buiten de watersector. Deze extractie laat onverlet de mogelijkheid om tegelijkertijd andere componenten, zoals fosfaat aan het korrelslib te onttrekken en biogas te produceren. Met partijen uit de watersector wordt gesproken over de gezamenlijke opzet en uitvoering van een tweede NNOP programma. Hierbij zal van de succesfactoren van de Nereda® ontwikkeling dankbaar gebruik worden gemaakt en zal de potentie van de technologie toenemen.

Naast de (verdere) ontwikkelingen in Nederland groeit ook de buitenlandse interesse voor toepassing van de technologie. In verschillende landen waaronder Zuid Afrika, Polen en Portugal zijn

of worden installaties gerealiseerd en in andere regio's wordt voet aan de grond gezet. Daarbij is de samenwerking met (lokale) partijen onontbeerlijk en wordt men geconfronteerd met nieuwe uitdagingen. Naast het vinden van geschikte partners dient men vaak in al die landen onder de specifieke lokale omstandigheden, weer een eerste schaap over de dam te krijgen. Belangrijke aspecten hierbij zijn de te leveren diensten en producten, de positie met betrekking tot (ondernemers)risico's, het meest geschikte verdienmodel in relatie met de partner, de bescherming van kennis en de lokale wetgeving. Bij de internationale uitrol van de technologie is een lange weg te gaan en dient de vraag te worden gesteld hoe deze kan worden versneld. Met de potentie van de Nereda® technologie zal de concurrentie niet op de lauweren gaan rusten. Het is daarom verheugend te merken dat steeds meer Nederlandse partijen beseffen dat internationale samenwerking noodzakelijk is om Nederlandse waterkennis en –producten te verzilveren. Binnen de Nederlandse context wordt inmiddels ervaring opgedaan met samenwerking bij de realisatie van concrete projecten. De opgedane projectervaring kan naar het buitenland worden vertaald en leiden tot een gezamenlijke verdere business ontwikkeling. We dienen hierbij te beseffen dat hierbij op een andere manier naar ondernemersrisico's zal moeten worden gekeken. De tijd om af te wachten totdat een potentiële innovatie op de thuismarkt is ontwikkeld tot een voldragen c.q. bewezen technologie, is er niet meer. Met dat langzame traject snijdt de Nederlandse watersector zich in haar eigen vingers en minimaliseert zij de kans dat kennis en producten daadwerkelijk worden verzilverd. De toegevoegde waarde van een samenwerking zal moeten leiden tot een gecontroleerde en snelle internationale introductie van een nog jonge technologie. Alleen zo kan de Nederlandse watersector de buitenlandse concurrentie voorblijven en investeringen in nieuwe kennis en producten terug verdienen. Met hopelijk nog vele nieuwe ontwikkelingen voor de boeg zullen gezamenlijk nieuwe wegen moeten worden verkend om dit mogelijk te maken. Nereda® kan het uitdagende platform bieden om deze nieuwe wegen te verkennen. Hierbij zal de aandacht vooral moeten worden gericht op aspecten die samenhangen met business ontwikkeling. De Nederlandse watersector staat daarom aan de vooravond van een nieuwe episode in haar luisterrijke bestaan. Door de handen ineen te slaan kunnen we hieraan een nieuw succesvol hoofdstuk toevoegen.

De priester, de koopman en de ingenieur: iedereen ziet er wat anders in!

Fons Nelen
Nelen & Schuurmans
KNW

Samenvatting

Iedereen is het erover eens: in de waterketen liggen volop kansen voor verbetering. Maar welke kansen willen we pakken? Volgen we onze 'geloofsovertuiging' en gaan we voor de maatregelen die nu als duurzaam worden bestempeld? Staan de kosten centraal en zoeken we in deze economisch lastige tijden naar de goedkoopste manier om aan de normen te voldoen? Of laten we ons leiden door de inhoudelijke feiten over het watersysteem en kiezen we voor een maatregel op basis van een kosten-baten afweging?
In de praktijk komen we bij optimalisaties van de waterketen al deze invalshoeken tegen. Opvallend daarbij is dat de inhoudelijke 'ingenieursbenadering' door de beslissers vaak als te technisch of te complex worden ervaren, mede waardoor de informele logica van de 'koopman' en de 'priester' toch vaak de boventoon voert in de uiteindelijke besluitvorming. Een beleid dat meer gebaseerd is op inspirerende vergezichten dan op feiten is niet bevorderlijk voor de doelmatige aanpak, die we allen voorstaan.
In deze inleiding worden enkele optimalisaties van de waterketen beschouwd, die momenteel veel aandacht krijgen. Diverse praktijkvoorbeelden tonen aan dat we feitelijk nog te weinig weten en ook te weinig nieuwsgierig zijn naar het werkelijk functioneren van onze watersystemen. Deze voorbeelden maken in ieder geval één ding duidelijk: betere, rationele besluiten vragen om betere informatie!

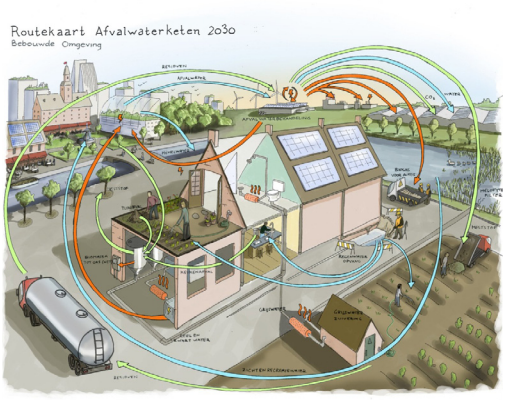
Inleiding

Er zijn de afgelopen jaren verschillende visies opgesteld over de waterketen en water in de stad. In navolging van het Bestuursakkoord Water 2011 hebben de kennisinstellingen Stowa, Rioned en KWR een gezamenlijke kennisagenda opgesteld voor de waterketen, waarbij het draait om 'Kennis om de goede dingen goed te doen' (april 2012). Een ander voorbeeld is de visie 'Waardevol stadswater slim realiseren' van Stichting RIONED (2011) waarin een pleidooi wordt gehouden voor het werken aan de waterkwaliteit vanuit maatschappelijk perspectief.

Onder de titel 'Verbindend Water' is een lange termijn visie op de waterketen verschenen (mei 2009), met bijbehorende 'Routewijzer Innovatie Waterketen'. In vervolg hierop is in maart 2012 door het zogenaamde Aanjaagteam Waterketen de publicatie 'Verbindend Water in een veranderende praktijk' opgesteld. Daarin wordt

gesteld dat het geschetste toekomstbeeld een stip op de horizon is, een inspiratiebron, maar geen doel op zich. Er is geen uitgestippeld pad op weg ernaartoe. Het gaat om de gedachtenvorming: welke mogelijkheden en kansen zijn er? Hoe sluit dit aan op de huidige praktijk? Een praktijk – zo stelt het Aanjaagteam - waarin we met verschillende realiteiten te maken hebben: de realiteit van modellen en databases, de politieke realiteit, de realiteit van het management en die van ontwerpers. Ook de brochure 'Routekaart Afvalwaterketen 2030' van de VNG en UvW (september 2012) mag in dit (onvolledige) rijtje natuurlijk niet ontbreken. Ook deze visie volgt uit de afspraken uit het Bestuursakkoord Water over samenwerking tussen gemeenten en waterschappen, onder andere op het gebied van innovatie, waarbij de focus ligt op energie, grondstoffen en nuttig water

Genoemde en andere recente visies zijn stuk voor stuk inspirerend en ze schetsen allemaal een uitdagende toekomst, waarin het gaat om een doelmatige aanpak van de grote wateropgaven die op ons afkomen en die grote innovaties noodzakelijk maken. Uiteraard werk je daar als professional graag aan mee. Maar hoe groot zijn die wateropgaven eigenlijk? Wat zijn 'de goede dingen' en wanneer doen we het goed? Waarom worden juist deze toekomstbeelden geschetst, en geen andere? Waarom hebben de vele enthousiaste deskundigen die de afgelopen jaren aan deze visies hebben gewerkt gelijk?



Figuur 1 - Routekaart Afvalwaterketen 2030.

Alle genoemde visies zijn het op hoofdlijnen eens over de uitdagingen. Dat geeft houvast maar roept ook vragen op. Waarom is iedereen het eens? De toekomst is uitermate onzeker en toch weten we – soms met grote stelligheid – bepaalde ontwikkelingen voor de komende 20-50 jaar neer te zetten als zijnde 'goed' en 'duurzaam'. Samenwerken wordt opnieuw uitgevonden en gepresenteerd als een enorme prestatie. We zijn of hopen dat we in een transitie zitten, op weg naar een nieuwe waterwereld; een wereld die bruist van innovatie en nieuwe ideeën. Alleen de praktijk is soms weerbarstig.

De vraag die ik toch aan de orde wil stellen is: *waar worden de gepresenteerde keuzes op gebaseerd?* Welke argumenten hanteren wij bij het opstellen van onze visie(s) en de onderbouwing van verbeteringsmaatregelen in het waterketenbeheer? Zijn alle argumenten wel valide en is in alle gevallen wel sprake van een verbetering? En zo ja, voor wie? Om te beginnen en om de verwachtingen wat te temperen: ik heb geen eenduidig antwoord op deze vragen. Ik hoop wel dat dit stuk – in aanvulling op bovengenoemde publicaties - stof tot nadenken geeft. Want is alles wat we soms met grote stelligheid beweren over de watercyclus wel 'waar'?

Wat is waar?

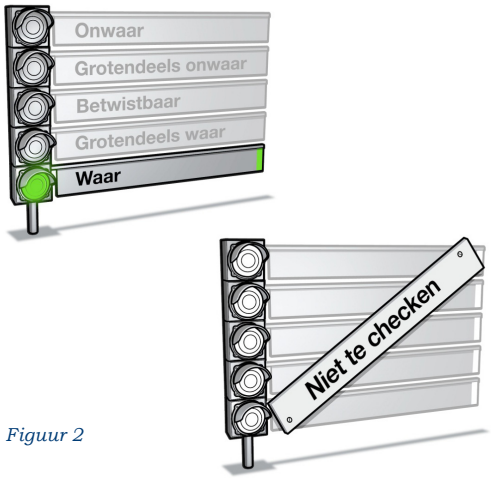
Vrees niet. Dit is geen inleiding over de filosofie. Daar weet ik te weinig van. Hoewel ik het een boeiend onderwerp vind, reikt mijn kennis op dat vlak niet verder dan een vrij willekeurig lijstje van boeken en artikelen van schrijvers die graag 'filosoferen'. Ik weet wel iets over waterbeheer. Vanuit die context en door een beetje te lenen van de filosofen, kunnen we misschien iets leren over de wijze waarop wij omgaan met "kansen in de watercyclus" en de keuzes die wij de afgelopen jaren met elkaar gemaakt hebben over de inrichting en het beheer van onze watersystemen. Wat hebben wij geleerd van het recente verleden? Zijn onze visies op de waterketen gebaseerd op meetbare feiten of willen we vooral graag in deze kansen geloven?

Van de filosofen leren we dat er niet één waarheid bestaat. Zij maken onderscheid tussen de absolute (objectieve) waarheid en subjectieve waarheden. Ik beperk me hier graag tot de laatstgenoemde

categorie, al was het maar omdat de absolute waarheid volgens sommigen niet te vinden is (of niet te bewijzen is). Om met Multatuli te spreken: "*Misschien is niets geheel waar, en zelfs dat niet*". Bij subjectieve waarheden gaat om het om redeneringen die voor 'waar' worden aangenomen omdat ze in een bepaald kader zijn geplaatst, dat bestaat uit afspraken en definities. Binnen de afgesproken context kan iets waar of niet waar zijn.

Er zijn mensen die de stelling aanhangen dat alleen binnen de formele logica - waarbij de focus ligt bij de geldigheid van de redenering - een discussie gevoerd kan worden. Immers, we hebben het dan per definitie over aantoonbare valide argumenten en bewijsbare zaken (binnen de afgesproken context). Dit in tegenstelling tot de informele logica of retoriek (welsprekendheid) die gericht is op het overtuigen van de toehoorders van de juistheid van een mening. Vooral in de sociale wetenschappen, de politiek, het recht (wat is rechtvaardig?), de ethiek (wat is goed/slecht?), de esthetica (wat is mooi/lelijk?) is de informele logica van grote betekenis. Ook deze begrippen hebben hun eigen kaders, afspraken en definities.

Het debat over de compatibiliteit van logica en retoriek is al eeuwenoud. Plato en Socrates noemden de retorica een kunst zonder inhoud, waarbij de Sofisten werd verweten dat zij anderen met hun redenaarskunst wilden overtuigen van een bepaalde mening, zonder enige interesse in wijsheid of waarheid. Kortom, er werd in die tijd al vastgesteld dat welsprekendheid en deskundigheid twee verschillende zaken zijn: een goede spreker zonder kennis van zaken kan dingen voor elkaar krijgen, waar een deskundig adviseur niet in slaagt. Deze constatering van de Grieken is vandaag de dag nog steeds geldig. (Ik ben persoonlijk van mening dat de huidige politieke arena in Nederland daar een levend bewijs van is).



Figuur 2

Kortom, in de meeste discussies worden niet alleen goede redeneringen, maar ook drogredenen (denkfouten, sofismen) gebruikt. Elke redenering bestaat uit aannames en axioma's (= algemeen aanvaarde stellingen). Door het aantonen van een causaal verband (oorzaak en gevolg) kan een conclusie worden getrokken of worden argumenten aangevoerd waarmee een mening wordt onderbouwd. Bij een geldige redenering kloppen zowel de aannames als de onderliggende stellingen. Bij drogredenen is dat niet het geval.

Drogredenen worden, bijvoorbeeld, in de reclame met opzet gebruikt. Daar wordt zelden een goede redenering gebruikt of een logisch argument aangevoerd om een bepaald product te kopen. Het gaat om efficiënt overtuigen van de klant. Ook demagogen gebruiken drogredenen bewust voor het realiseren van hun politieke doelen. Niet dat ik de toekomstvisies aldus wil bestempelen, maar sommige visies hanteren wel de kunst van de retoriek en mooie beelden om een bepaalde overtuiging over te brengen, waarbij niet altijd sprake is een juiste redenering.

Uiteraard is hierbij geen sprake van opzet. Sommige mensen veronderstellen dat ze correcte argumenten aanvoeren, maar zijn zich niet bewust dat ze misschien een denkfout maken. Ook anekdotische drogredenen komen in de praktijk veelvuldig voor. In een betoog worden dan praktijkvoorbeelden aangehaald om een standpunt op een incorrecte manier te onderbouwen, zonder dat daarbij een causaal verband wordt aangetoond. En nu moet ikzelf ook opletten, want ook in onderstaande voorbeelden gebruik ook ik anekdotes en praktijkvoorbeelden om een mening kracht bij te zetten. De scheidslijn tussen een goede redenering en een drogreden is soms dun.

Priester, koopman en ingenieur: 3 onverenigbare waarheden?

In het onderstaande worden enkele praktijkvoorbeelden van verbeteringen in de watercyclus beschouwd vanuit verschillende perspectieven. Het gaat om zaken die genoemd worden in bovengenoemde visies op de waterketen, maar ook om 'verbeteringen' die we de afgelopen jaren in de afvalwaterketen hebben gerealiseerd. Terugkijken is niet alleen verhelderend, maar in deze context m.i. zelfs noodzakelijk. Zoals Santayana al in 1905 constateerde: "*Wie de geschiedenis niet kent is gedoemd ze te herhalen*".

Ik vind het daarom een opvallend gemis dat in bovengenoemde visies niet wordt teruggekeken, naar wat goed gegaan is, maar ook naar wat we beter niet hadden kunnen doen. De visies starten allemaal met de constatering dat we te maken krijgen met grote opgaven en dat alles beter, doelmatiger en duurzamer moet. Deze aanname suggereert dat we in het verleden grove fouten hebben gemaakt, maar deze fouten worden helaas niet expliciet gemaakt. Door deze omissie is de 'mening' van de visies nog niet perse onjuist, maar het maakt de argumentatie wel erg zwak.

De aangehaalde voorbeelden zijn vrij willekeurig. Het gaat om onderwerpen waarvoor in de riolering- en afvalwaterwereld veel aandacht is. Elk voorbeeld bekijken we vanuit drie verschillende invalshoeken, die ieder hun eigen context en dus waarheid hebben. Hoewel er natuurlijk ontelbare invalshoeken denkbaar zijn, en ik de wetenschap van de wijsbegeerte en de bestuurskunde met deze versimpeling enorm tekort doe, wil ik me in dit betoog toch beperken tot een eenvoudige metafoor van de priester, de koopman en de ingenieur:

Figuur 3

1. De *priester* heeft zijn geloofsovertuiging en denkt na over de moraal en ethische kwesties; over wat goed is en wat slecht. Ook in de discussies over gewenste ontwikkelingen in de watercyclus hebben bepaalde maatregelen het predicaat 'goed' of 'duurzaam' of juist 'slecht' of 'niet-duurzaam' gekregen. Veelal zijn deze kwalificaties gebaseerd op een rotsvaste overtuiging dat een bepaalde ontwikkeling – los van de context – te prefereren is boven een andere (vaak meer conventionele) oplossing. De aanname dat ene maatregel op voorhand goed is en de ander niet, maakt een discussie lastig, maar biedt wel een duidelijk kader en eenduidige waarheid voor de beslisser.

2. De *koopman* wordt gedreven door materie (geld). Hij denkt vooral aan zijn handelsbelang en handelt dus uit winstbejag en eigenbelang. De economische wetten en bescherming van de handelsbelangen vormen zijn belangrijkste kader. Ook in de afvalwaterketen spelen bij de afweging tussen maatregelen de kosten uiteraard een zeer dominante rol. Maar de metafoor reikt verder. Ook in de discussies over de organisatie van het waterketenbeheer vormt het eigen belang van betrokken organisaties een niet te onderschatten factor. Illustratief in dit verband is dat bij de toelichting op bepaalde keuzes vaak expliciet wordt vermeld dat hiermee grote sommen geld worden bespaard. Ofwel, de keuzes zijn juist, we doen het goed!

3. De *ingenieur*, tenslotte, laat graag de meetbare feiten spreken. Voor hem wordt de context primair bepaald door de definities uit de fysica en de natuurwetenschappen. Bij de discussies over de afvalwaterketen is hij vooral geïnteresseerd in de ernst en de oorzaak van eventuele problemen en de effectiviteit van voorgestelde maatregelen.

De vraag is of de formele logica van de ingenieur voldoende aansluit op de redeneringen en conclusies uit de informele logica van de priester en de koopman? Hebben we hier te maken met onverenigbare waarheden (een contradictie) of versterken de argumenten van de drie elkaar en leiden zij uiteindelijk tot dezelfde conclusie?

Terug naar het waterbeheer

Tot zover de beschouwing van een filosoof van de koude grond en terug naar het onderwerp van deze vakantiecursus: ontwikkelingen en kansen in de watercyclus. Zoals gezegd wil ik een paar voorbeelden aanhalen uit het verleden en ook een paar ontwikkelingen waar nu vaak over gesproken wordt.

Effectiviteit van rioleringsmaatregelen

Over thema's als basisinspanning en waterkwaliteitsspoor, bergbezinkvoorzieningen en afkoppelen, scheiden van stromen, etc., is het afgelopen decennium veel gediscussieerd en gepubliceerd. Er zijn in die periode veel meningen gevormd en geventileerd, maar er komen gelukkig ook steeds meer feiten boven tafel. We krijgen steeds beter inzicht in de werking van onze afvalwatersystemen en de effecten van de maatregelen die we de afgelopen 10 jaar getroffen hebben. Er is veel bereikt, maar tegelijkertijd moeten we vaststellen dat niet alle verbeteringsmaatregelen het gewenste effect hebben gehad. Kostbare voorzieningen blijken niet of onvoldoende te werken. Het is een dure leerschool geweest, en mede daarom vind ik het jammer dat daar in de nieuwe visies niet expliciet aandacht aan wordt besteed.

Veel mensen die bezig zijn met de rioleringszorg hebben het er liever niet meer over. Het waren soms lastige discussies tussen gemeente en waterschap, maar die liggen achter ons. We zijn de basisinspanning voorbij is een veelgehoorde uitspraak. Toch is het aardig om na te gaan waarom we met z'n allen de afgelopen 10-15 jaar miljarden hebben geïnvesteerd in rioleringsmaatregelen, waarvan – op z'n zachtst gezegd – het gewenste effect discutabel is en, zoals nu blijkt, in veel gevallen zelfs nihil.

Met name de 'priester' heeft in deze discussie de boventoon gevoerd. We hadden in de jaren '90 geen economische crisis en de overtuiging overheerste dat het tijd werd om problemen echt aan te pakken. Zo heeft het kunnen gebeuren dat in het buitengebied voor miljarden riolering is aangelegd voor verspreide bebouwing, zonder dat een link werd gelegd met de praktijk. Het beeld van de boeren familie dat het afvalwater van enkele mensen niet langer mocht lozen op de sceptic tank, terwijl rond de boerderij honderden koeien staan te grazen en te schijten in de wei, staat menigeen nog scherp voor ogen. Het geloof dat we iedereen moesten aansluiten op de riolering was sterker dan de argumenten van de 'íngenieur' die vanuit zijn eigen context probeerde aan te tonen dat deze oplossing niet veel soelaas zou bieden.

Er kon nog zo vaak gezegd worden dat de basisinspanning en bijbehorende refentiestelsels doelvoorschriften en geen middelvoorschriften waren; toch is het afgelopen decennium veruit in de meeste gevallen gekozen voor het middel (bergbezinkbassins, afkoppelen van verhard oppervlak) en weinig aandacht besteed aan het doel. De priester en de koopman domineerden de discussies en lange tijd was de centrale vraag: hoe kan je op zo goedkoop mogelijke manier aan de normen voldoen? Gevolg is dat we zo'n 6 miljard aan emissie reducerende maatregelen hebben uitgegeven, en nog steeds niet echt weten wat we hiermee bereikt hebben ten aanzien van een verbeterde waterkwaliteit.

De expert groep van NLIngenieurs heeft in maart 2010 de noodklok geluid met de publikatie "Miljarden verspild bij rioleringsbeleid" (zie http://www.nlingenieurs.nl/riolering), hetgeen wel een vette kop in de Telegraaf heeft opgeleverd en een paar artikeltjes in de vakbladen, maar het is opvallend hoe gelaten op een dergelijke constatering of mening van deskundigen wordt gereageerd. Ik kan me weinig verontwaardiging bij het publiek en de politiek herinneren.

Illustratief is ook het artikel in Neerslag (#6, 2012) van R. Bos van HHNK. Hij beschrijft 7 praktijkvoorbeelden van bergbezinkbassins in Noord-Holland, die niet naar behoren functioneren. Bakken die zich niet vullen, een by-pass die verkeerd werkt, een bak die continu vol staat met oppervlaktewater, een lediginsgpomp die het rioolwater alleen maar rond pompt zijn enkele voorbeelden die in zekere zin hilarisch zijn en tegelijkertijd exemplarisch voor deze tijd.

Figuur 4 - Aanleg van een bergbezinkvoorziening.

De situatie in Noord-Holland is niet uniek voor Nederland. Ieder waterschap heeft wel een aantal van dit soort voorbeelden. Wat de situatie precies is en hoeveel voorzieningen wel en niet werken weten we niet. Misschien is dat wel wat ons het meest zou moeten verontrusten. We zijn nog steeds niet echt nieuwsgierig naar hoe het echt werkt. Het gevoel van urgentie dat het tijd wordt om structureel in kaart te brengen hoe onze afvalwatersystemen functioneren is bij bestuurders niet groot. Meten is lange tijd als duur en complex bestempeld. Wellicht dat de snelle ontwikkelingen van informatiesystemen.

De stedelijke wateropgave

Tegenwoordig zijn de invloed van verstedelijking en de noodzaak tot klimaatadaptatie. Water in de stad, stedelijke wateropgave, een natuurvriendelijke inrichting belangrijke thema's, waar ondanks de crisis nog steeds veel aandacht voor is. Net als in bovengenoemde voorbeelden uit de rioleringszorg, spelen normen in dit verband een belangrijke rol (x% water dat aanwezig moet zijn, afvoer- en waterbergingsnormen). Verder wordt ook in dit verband meer discussie gevoerd over de middelen (de maatregelen die al dan niet duurzaam zouden zijn), dan het doel (een duurzame oplossing voor een leefbare omgeving).

Ook hier speelt de informele logica van de priester en de koopman een belangrijke rol. Het geloof en de overtuiging dat we een enorme wateropgave hebben is zo groot dat we veel geld uitgeven aan het realiseren van water, zonder dat we de ernst van de situatie kennen en zonder dat we de effecten van deze inrichtingsmaatregelen op de risico's van wateroverlast echt in beeld hebben (hier ligt een schone taak voor de TU Delft). Door de economische crisis krijgt de 'koopman' ("kan het niet goedkoper?") meer invloed in het besluitvormingsproces, maar de 'ingenieur' die de stelling verdedigt dat we de afgelopen jaren vooral 'makelaarswater' hebben aangelegd (= water voor de verkoop, met een mooie beeldkwaliteit), zonder dat we weten wat dit water heeft bijgedragen aan het terugdringen van de risico's van wateroverlast, wordt nog niet gehoord, of beter gezegd, niet begrepen. De redenering is voor velen te complex en 'te technisch' (alsof dat een diskwalificatie zou zijn).

Meer deskundigheid, meer feiten!

Voor elk thema in het waterbeheer is het mogelijk om verschillende visies neer te zetten vanuit het perspectief van de priester, de koopman en de ingenieur. Helaas blijken de redeneringen vanuit deze drie invalshoeken zelden te leiden tot dezelfde conclusie. Ofwel, de formele logica (waarbij valide argumenten worden gehanteerd, die gebaseerd zijn op meetbare feiten) legt het in veel gevallen af tegen de informele logica en de retoriek. Er is in het debat weinig ruimte voor een inhoudelijke 'ingenieursbenadering', die door de beslissers vaak als te technisch of te complex wordt ervaren.

De tijdgeest speelt bij dit alles ongetwijfeld een rol. We krijgen informatie in snelle hapklare brokken opgediend en willen graag geloven dat de deskundigen in de sector het onderling goed regelen. En daar kunnen we ons soms danig in vergissen.

Wie had voor 2007 durven stellen dat de financiële sector jaren draaide op verzonnen geld?

Wie niet geïnteresseerd is in filosofisch getinte boeken, kan altijd nog veel leren van boeken als 'De Prooi, Blinde trots breekt ABN Amro', waarin de onderzoeksjournalist Jeroen Smit reconstrueert wat er is in de kern is mis gegaan bij De Bank. Al die trotse, arrogante, bankiers van ABN Amro wilden teveel en verstonden elkaar slecht. Heel lang dachten de vooral Hollandse bestuurders: een bank met zo'n

geschiedenis hoeft zich geen zorgen te maken over de toekomst. Keer op keer werden belangrijke keuzes uitgesteld en belangrijke besluiten niet genomen. Toen begon door te dringen dat zelfs ABN Amro zich deze houding niet langer kon permitteren, was het te laat.

Om nu niet het verwijt te krijgen dat ik hier een anekdotische drogreden hanteer, om mijn mening over de besluitvorming in het waterbeheer op een incorrecte manier te onderbouwen, haast ik mij te zeggen dat de vergelijking met het watermanagement natuurlijk op vele vlakken mank gaat. In lijn met de toekomstvisie 'Verbindend Water' gaat het mij primair om de gedachtenvorming en om mensen te stimuleren om de juiste vragen te blijven stellen. Dat moeten mijns inziens wel harde vragen zijn.

Betere besluiten door betere informatie

De stelling dat we geld over de balk gooien is natuurlijk onzin, of in ieder geval niet goed te onderbouwen. Wel kan worden aangetoond dat we van een groot deel van de investeringen in het waterbeheer onvoldoende weten wat deze feitelijk bijdragen aan een betere waterhuishouding. Veel maatregelen worden in de praktijk gemotiveerd met het argument dat deze nodig zouden zijn vanwege normering, regelgeving of omdat deze passen binnen het landelijke of Europese beleid. Nut en noodzaak van sommige maatregelen zijn voor veel mensen zelfs zo evident, dat de "*waarom vraag*" helemaal niet wordt gesteld. De discussie spits zich toe op de vraag *hoe* de maatregel tegen de laagste kosten kan worden geïmplementeerd.

Maatregelen die we nu vanzelfsprekend vinden, kunnen later niet effectief blijken te zijn. Daarvan hebben we in het waterbeheer inmiddels voldoende voorbeelden. Daarom zouden we meer stil moeten staan bij de ernst en omvang van de problemen die we op willen lossen en de effecten van mogelijke oplossingen. Pas dan hebben we een echte discussie over doelmatigheid.

Ook in visies op de waterketen moeten we ons niet blind staren op inspirerende plaatjes, die suggereren dat we nu al weten wat over 50 jaar goed voor ons is.

Figuur 5

Hoe meten we ons succes? We monitoren de voortgang van de uitvoering, maar het (gemeten) effect van de maatregel op het watersysteem wordt niet structureel in kaart gebracht. Wat hebben de investeringen van de afgelopen 10-20 jaar ons gebracht? Hoeveel veiliger en schoner is het geworden? Welke risico's vinden we acceptabel en tegen welke kosten willen we risico's beperken? Daar zouden we het meer met elkaar over moeten hebben. Daar liggen de echte innovaties.

De informatiesystemen die nodig zijn om beter inzicht te krijgen in de werking van watersystemen zijn beschikbaar. Er is behoefte aan meer kennis, meer inzicht, ofwel "meer bytes en minder beton". De effecten van maatregelen kunnen steeds beter en nauwkeuriger in kaart worden gebracht. Door betere databases en de intrede van het internet wordt steeds meer informatie opgeslagen. Laten we de beschikbare informatie ontsluiten en gebruiken voor een slimmer en beter waterbeheer. Scheelt veel kosten.

Flash Presentaties Afvalwater

Hale Özgün, MSc

Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Membrane Bioreactor Technology

Hale Özgün
TU Delft
Istanbul Technical University

Introduction

Reclamation and reuse of wastewater for various purposes such as landscape and agricultural irrigation are increasingly recognized as essential strategies in the world, especially for the areas suffering from water scarcity. Wastewater treatment and reuse have two major advantages including the reduction of the environment contamination and hence the health risks and saving of the huge freshwater amounts.

Municipal wastewater is one of the main alternative sources for reclamation and reuse. Globally a major demand exists for more efficient municipal wastewater treatment with higher effluent quality and reduced energy consumption which will lead to a cost effective treatment system with effluent reuse for irrigation. Throughout different alternatives, anaerobic treatment systems have major potentials to meet the market demand with biogas production and almost no energy requirement. Anaerobic treatment is an energy generating process, in contrast to aerobic systems that generally demand a high energy input for aeration purposes. However, they have several bottlenecks such as the production of effluents with lower quality in comparison to aerobic treatment systems, retardation of sludge granulation, problematic sludge granule stability, limited feasibility in the treatment of complex wastewaters such as municipal wastewater at low temperatures (<15°C) and no biological nitrogen removal. Among anaerobic treatment technologies, anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) system is a promising technology as a means to retain all of the biomass in the reactor more effectively and achieve high-efficient solid-liquid separation producing superior effluent quality.

Various applications of AnMBRs based on different reactor types can be found in literature for the treatment of municipal wastewater. Membranes can be coupled to miscellaneous anaerobic reactor types such as completely stirred tank reactors (CSTR) (Lin et al., 2011; Martinez-Sosa et al., 2011), upflow anaerobic sludge blanket (UASB) (Kataoka et al., 1992; An et al., 2009) and expanded granular sludge bed (EGSB) reactors (Chu et al., 2005), etc. in different configurations.

In the proposed research, an innovative configuration of AnMBR, named AnMBR for Aqua Cleaning and Energy Recovery (A-Racer), will be investigated in order to solve the bottlenecks of AnMBRs and enable effluent reuse in irrigation and energy recovery (Figure 1). The system consists of UASB reactor integrated with a parallel operating digester, which can be operated at any required process temperature.

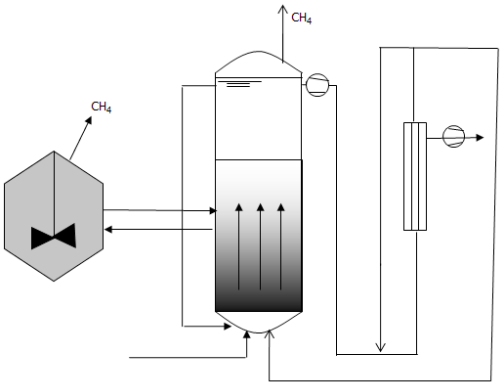


Figure 1 - The schematic representation of A-Racer configuration.

The performance of UASB reactors at low temperature climates (5-20°C) is highly limited by the hydrolysis of entrapped solids, which accumulate in the sludge bed. This situation might then limit the growth of methanogens resulting in a poor soluble chemical oxygen demand (COD) removal and thus deterioration of sludge stability. In A-Racer system, the solids which are entrapped in the sludge bed, are conveyed to a digester operated at optimal conditions where they can be stabilized and the digested sludge is re-circulated to the UASB reactor to improve its methanogenic capacity.

In this study, the applicability of an innovative configuration of anaerobic membrane bioreactor will be investigated in order to produce pathogen free but nutrient rich effluent for re-use in irrigation and enable energy recovery. With the realization of this study flux enhancement in AnMBR technology by controlling the total solids load will be the major output of the program bringing anaerobic membrane bioreactor technology to a higher level of understanding.

Based on this general objective, one of the first specific aims is to identify the optimum upflow velocity that will result in an effluent with higher filterability values for the case of membrane coupled UASB systems. Within this concept, there will be two specific aims including the identification of the optimum upflow velocity that will result in an effluent with higher filterability values.

Methodology

The system consisted of UASB and digester reactors having 7 L and 4 L effective volume, respectively. Lab-scale reactors are equipped mainly with feed and vacuum pumps, pH and temperature sensors, pressure sensors, water baths, and gas meters. A three-phase separator was installed at the top of the reactor to separate the biogas from the mixed liquor as well as to retain suspended particles in the reactor. The reactors are controlled by computer running LabView software and reactor pH, TMP, membrane flux, biogas flow are measured on-line. Pictures of lab-scale set-ups are given in Figure 2.

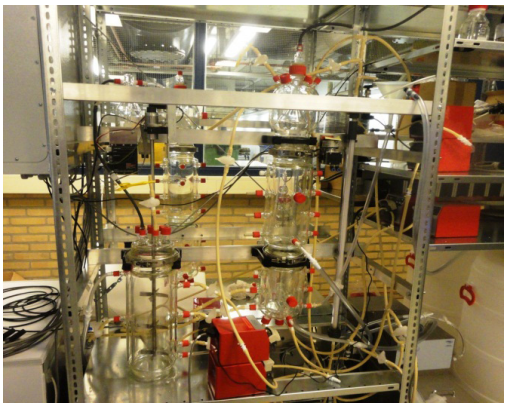


Figure 2 - Lab-scale anaerobic membrane bioreactor system.

The reactors will be coupled with Pentair ultrafiltration membranes (Figure 3). The membrane module is designed in tubular geometry. The module has filtering area of ~1100 cm^2.

COD and TSS were measured according to Standard Methods (APHA, 2005). Each analysis was performed in triplicate. The samples for soluble COD measurement were filtered through a 0.45

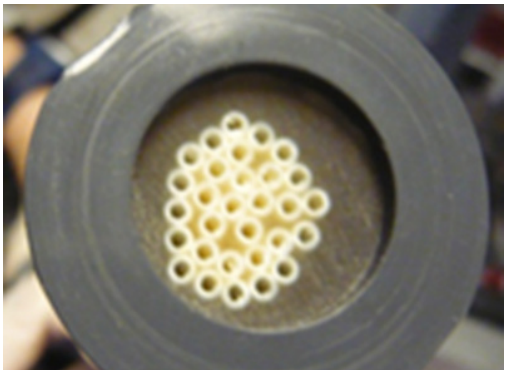


Figure 3 - Membrane module.

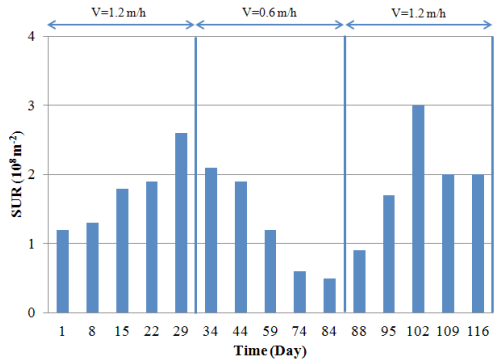


Figure 5 - SUR values at different upflow velocities.

micrometer fiberglass filter (Whatman, Spartan 30). The turbidity was measured by HACH 2100N Turbidimeter. At Delft University of Technology Roorda (2004) has developed Specific Ultrafiltration Resistance for evaluation of filtration characteristics during dead-end ultrafiltration of wastewater treatment plant effluent. A specific ultrafiltration resistance (SUR) setup was applied to test the filterability of the effluent (Figure 4).

Results

After a 40 day acclimation period operating the UASB at 0.6 m/h, the measuring period was started at day 0 with upflow velocity of 1.2 m/h. After the decrease of the upflow velocity from 1.2 m/h to 0.6 m/h at day 34, a gradual decrease was observed in total COD concentration to the range of 130-160 mg/L. However, soluble COD concentrations were found to be similar at both upflow velocities. At day 88 the upflow velocity was restored to 1.2 m/h in order to confirm whether the effect of upflow velocity on total COD concentration is reproducible. During this period, an increase in total effluent COD concentration was observed again, similar to the first period of 1.2 m/h. In order to verify this assumption, TSS and turbidity were measured in both supernatant and effluent of the UASB reactor. There was no significant change in effluent TSS concentrations as a result of changes in upflow velocity. However, the average turbidities were found to be 55±10 NTU and 35±10 NTU at the upflow velocities of 1.2 m/h and 0.6 m/h, respectively. Variations observed in

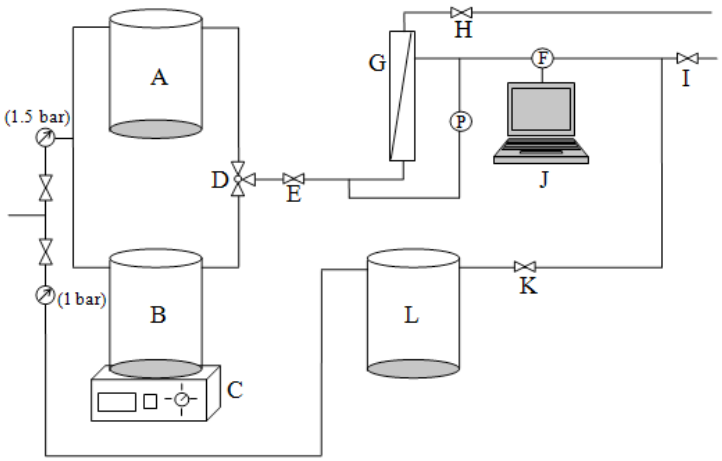


Figure 4 - Experimental set-up for the SUR measurement (A: demineralized water vessel, B: wastewater vessel, C: magnetic stirrer, D: three-way valve, E; H; I; K: valves, F: flow meter, G: membrane module, J: computer with measuring program, L: permeate vessel, P: pressure sensor).

effluent turbidity at different upflow velocities seem contradictory with TSS results which do not show significant differences between each upflow velocity. Likely, this is attributable to the washout of colloidal particles from the system instead of suspended particles, since turbidity is an indicator of both suspended and colloidal particles. SUR of samples obtained at different upflow velocities was measured (Figure 5). Filterability deterioration at higher upflow velocity was related to the presence of colloidal material during the operation at 1.2 m/h.

Conclusion

Upflow velocity can be considered as an important parameter which affects the characteristics of the effluent especially in terms of physical characteristics. Upflow velocity of 1.2 m/h was not as appropriate as 0.6 m/h since high shear force in operation of 1.2 m/h allows the washout of colloidal materials. According to these results, optimum upflow velocity was selected in order to proceed with the membrane addition.

Acknowledgements

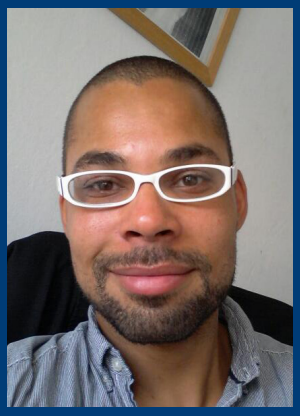
This research is conducted as part of the A-Racer project, with Pentair, Saxion, TU Delft, Water Board Regge & Dinkel as partners. The project (IWA10007) is partly funded by the Dutch Government via AgentschapNL under the InnoWator program.

References

1. An, Y.Y., Yang, F.L., Bucciali, B., and Wong, F.S. (2009). Municipal wastewater treatment using a UASB coupled with cross-flow membrane filtration. Journal of Environmental Engineering 135(2), 86-91.
2. APHA, 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington, USA.
3. Chu, L.B., Yang, F.L., and Zhang, X.W. (2005). Anaerobic treatment of domestic wastewater in a membrane-coupled expanded granular sludge bed (EGSB) reactor under moderate to low temperature. Process Biochemistry 40, 1063-1070.
4. Kataoka, N., Tokiwa, Y., Tanaka, Y., Fujiki, K., Taroda, H., and Takeda, K. (1992). Examination of bacterial characteristics of anaerobic membrane bioreactors in three pilot-scale plants for treating low-strength wastewater by application of the colony-forming-curve analysis method. Applied and Environmental Microbiology 58(9), 2751-2757.
5. Lin, H., Chen, J., Wang, F., Ding, L., and Hong, H. (2011). Feasibility evaluation of submerged anaerobic membrane bioreactor for municipal secondary wastewater treatment. Desalination 280, 120-126.
6. Martinez-Sosa, D., Helmreich, B., Netter, T., Paris, S., Bischof F., and Horn, H. (2011). Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) for municipal wastewater treatment under mesophilic and psychrophilic temperature conditions. Bioresource Technology 102 10377-10385.
7. Roorda. J. H. (2004) Filtration characteristics in dead-end ultrafiltration of wwtp-effluent. PhD thesis, Department of Sanitary Engineering, Technical University of Delft, Delft, The Netherlands, 2004.

Steef de Valk, MSc

The enzymatic degradation of excess activated sludge: A tale of worms



Steef de Valk
TU Delft

Introduction

The activated sludge process is the most used process to remove organic carbon, nutrients and other pollutants from sewage and also from many industrial waste waters. The organic fraction of waste water is aerobically respired and partly converted into biomass. The surplus biomass is a by-product of this process and is called excess activated sludge. The main constituents of activated sludge are biomass, organic matter and water. In general, this sludge stream is partly converted in biogas upon anaerobic digestion and partly processed e.g. dewatered and incinerated. One of the drawbacks of the activated sludge technology, is the cost for processing and disposal of the large amounts of excess sludge.

The major fraction of excess activated sludge consists of complex organic matter, which could be utilized if transformed into VFA precursors for use in (bio)-chemical industrial processes or biogas. Hereby increasing the valorisation of sludge and reducing the amount of sludge associated with further processing and disposal costs. The problem with increasing valorisation lies in the rate limiting step: Hydrolysis of complex organic residues.

In order to reduce excess activated sludge production, Lyse-cryptic growth technologies, such as the Cannibal process, are considered, as well as predation by aquatic worms. In order to improve dewaterability and accelerating anaerobic digestion of the excess sludge, and in that manner also reduce the total amount, pre-treatment methods are researched, such as ozonation, sonification, thermo and pressure processes, and enzyme dosing which increase the hydrolysation rate of the sludge.

Apart from sludge reduction, interest for maximising the sludge energy potential and thus enhancing the rate limiting hydrolysis step is also increasing. Studies are ranging from localization and characterization of hydrolytic enzymes present in anaerobic digestion, microbial community characterization, sludge characteristics (e.g. the presence of inhibiting compounds, particle size, settleability), to describing the digestion process in kinetic models and reactor design.

The enzymatic degradation of excess activated sludge: A tale of worms

Aquatic sludge reducing worms

"Without the work of this humble creature, who knows nothing of the benefits he confers upon mankind, agriculture, as we know it, would be very difficult, if not wholly impossible"

-Charles Darwin

The aquatic worms that naturally inhabit waste water treatment plants have gained increasing attention. The worm predation method is a special case of surplus sludge reduction. This method is based upon the ecological principle that energy is lost when passing from lower to higher trophic levels. Aquatic worms such as *Tubefix tubefix, Lumbriculus variegatus, Aulophorous furcatus* and *Limnodrilus hoffmeisteri* have been investigated and implemented in new reactor designs in order to reduce the amount of sludge formed and/or reduce the amount of excess sludge (Hendrickx et al., 2009; Tamis et al., 2011; Guo. X et al., 2006; Tian. Y 2012). Sludge reductions of 8-40% (TSS based) have been reported depending on the type of worm and the experimental setup used. More specific, Tamis et al., 2011 reported that the aquatic worm *Aulophorous furcatus*, increased the biodegradability of excess sludge significantly, in terms of process time (SRT 2 days) and methane potential (Worm predated sludge showed the same BMP as regular excess sludge even though part of the sludge was already consumed by the worms), compared to other sludge reduction methods currently available.

Figure 1 - Worm reactor at WWTP Harnaschpolder, Delft.

Worms feed on the complex bio matter present in sludge by hydrolysing (part of) the polymeric substances present (e.g. biomass, Extracellular Polymeric Substances (EPS) and possible other polymeric compounds) There are numerous publications on the implementation of aquatic worms dealing with sludge reduction and even with reducing membrane fouling (Tian et al,. 2012). However research concerning the actual mechanisms behind the reduction of sludge is minimal.

Enhanced Enzymatic Anaerobic fermentation of organic residues (EnzyFOR)

The EnzyFOR project is a collaboration between the technical university of Delft, Wageningen UR, STW, STOWA and industrial and consultant partners: DSM, Delfluent Services BV, Royal Cosun and consultant and engineering firm Tauw.

The aim of the EnzyFOR project is to increase the valorisation of excess activated sludge by developing a cost effective process for the degradation of complex organics into VFA or biogas. The research team in Wageningen UR has its focus on agricultural residues. The research in Delft focuses on the explanation of the increased sludge biodegradability, observed in worm predated excess activated sludge.

In Wageningen research is carried out by Samet Azman, supervised by G. Zeeman, A. Stams and C. Plugge. The TU Delft research is performed by the author and the supervisory team consists of J. van Lier, M. de Kreuk and M. van Loosdrecht. Ahmed Khadem has a post-doc position in the EnzyFOR project. His task is to research in detail the role of natural organic matter in hydrolysis and to link the research performed in Wageningen and Delft.

Project outline

The research in Delft will give insight into ways to mimic the biological activity of aquatic sludge degrading worms for large scale processes. The aquatic worm *Aulophorus furcatus* will be the first predating worm that will be studied in this research project. For this purpose a lab scale worm reactor is operated at the sewage treatment plant Harnaschpolder, Delft, The Netherlands.

Figure 2 - Tubefix tubefix worms on carrier material.

Figure 3 - Tubefix tubefix in pilot worm reactor at WWTP Wolvega.

In order to mimic the biological activity of worms on the degradation of excess sludge, the first step is to identify what part of the sludge the worms consume. Aquatic worms have been shown to selectively feed on sludge. Particle size and bacterial species preferences depend on the type of worm. (Inamori et al., 1987, 1990; Kuniyasu et al., 1997) Protein components of the sludge are selectively consumed (Hendrickx et al,. 2009; Tian et al., 2012) It is unknown whether aquatic worms degrade hydrolysis inhibiting compounds present in waste water such as humic and fulvic acids or what parts they consume of the extracellular polymeric substances (EPS) present in excess activated sludge. To shed more light on substrate preference, worm predated sludge will be compared to untreated sludge, both processed under the same conditions in order to make a distinction between operation conditions (e.g. aeration and the associated bacterial activity) and the activity of the worms.

The second step is to pinpoint the hydrolytic activity of the sludge degrading worm. The biological activity is comprised of the mechanical and biological activity of the worm itself and the activity of the microbial community present in the intestines of the worm. The identification of the part of the sludge that worms consume will yield targets for metagenomic analysis of the microbial community present in the intestines of the worms and the worm itself.

The results obtained during the first and second step will help to mimic the conditions of the worm track. The final goal is to develop a technology to enhance the hydrolysis step of excess sludge digestion in order to increase the biogas production and/or the production of VFA from waste.

Assessing the quality of sewer pipes

Nikola Stanić
TU Delft

Introduction

Sewerage and urban drainage systems are capital intensive infrastructures characterised by process and structure complexity. For instance, in the Netherlands (2009), the municipalities spent around €1,2 billion on sewerage (or €151/per household/ annum) (Walder, 2011). Proper operation and maintenance of such systems together with rehabilitation will ensure long life of the infrastructures while meeting serviceability requirements. Therefore, insight in the actual status of the assets is a prerequisite for adequate sewer asset management.

Decisions on rehabilitation and maintenance of sewers are made based on the available information on the status of the sewers. Pipe age and closed circuit television (CCTV) inspections are typically the primary source of information used (Halfawy et al., 2008). The information obtained from CCTV is limited due to the fact that only defects from within the sewer are taken into account (European Committee for Standardization, 2003). Furthermore, Baur & Herz (2002) and Dirksen et al. (2011) have shown that inspections are inherently unreliable, apart from the fact that visual inspection will not reveal invisible deterioration, like corrosion on the outside wall of a sewer. Polder (1987) described deterioration processes of sewer pipes especially from a chemical and materials point of view, but did not give practical advice on how to deal with inspection and did not address the relationship between visual inspection and the quality of the concrete. Based on the already mentioned situation in todays' practice it can be seen that decision on sewer rehabilitation are linked mostly to visual inspection. Destructive methods like core sampling can provide additional valuable information about the strength properties of the sewer (De Silva et al., 2002).

The paper compares the results of the assessment of sewer corrosion based on CCTV inspection and core sampling, taking the uncertainty of both methods into account.

Methodology

The study was conducted in a sewer that according The Hague municipal sewer rehabilitation plans was possibly to be replaced within a few years. The street is located in domestic housing area around dunes. In this area the groundwater is below the sewer invert level (Gemeente Den Haag, 2011). The sewer system in the area is a combined sewer, egg-shaped with dimensions of

300/450 mm and made of concrete. The first part of the sewer (about 274 m) was constructed in 1931 and the second part (about 42 m) was constructed in 1960.

On the selected location based on visual inspection first were determined conditions of the inner surface of the sewer. Furthermore, core sampling, was applied to determine the strength properties of pipes through mechanical testing of samples.

Visual inspection

For this study, a commercial waste management company, was assigned to conduct inspection with CCTV. The manner in which visual inspection needs to take place and assessment of deterioration conditions is firmly established in the guidelines of Sewage system, operations management, C2400 module (Chan, 2011). The registration of defects was done according to the visual inspection coding Standard NEN-EN 13508-2, while the Standard NEN 3399 was used to assign a level of severity to each defect - condition assessment (Nederlands Normalisatie-instituut, 2003; 2004a). All inspection reports have to go through a re-evaluation by the inspector from the Municipality of The Hague who makes the final decision on the existing sewer condition. Re-evaluation is based on the same coding system.

The most common condition aspects of sewer systems noted by the municipality of the Hague are: surface damage (BAF) and crack (BAB). Table 1 shows the action plan under different sewer conditions. It should be noted that replacement decisions and/or additional investigation is the method used within the Municipality of Hague and it is not completely in line with the NEN 3398 norm (Nederlands Normalisatie-instituut, 2004b). This study focused only, due to good soil conditions, on the surface damage classification. At the places where there is estimated more than 50% of severe surface damage (class BAF 4) drill core samples are taken (Chan, 2011).

In addition, the surface damage of core samples was also estimated during overall drill core analysis in VLG Laboratory of the municipality of Rotterdam.

Drill core analysis

In each section between two manholes four core samples of 100 mm diameter were taken by the contractor Meeuwisse Nederland BV. The cores are taken by drilling directly from the street. The samples were transported to the VLG laboratory of the municipality of Rotterdam and tested for splitting tensile strength, specific mass and water absorption so the quality of the concrete could be determined. All tests mentioned were carried out according to standard NEN-EN 12390 "Testing of hardened concrete" (Nederlands Normalisatie-instituut, 2009). Core classification was based on the INTRON (Institute for materials and environmental research) report (INTRON, 1997). Table 2 shows the classification applied in the Hague. The final core classification is based on the highest score of the three criteria shown in Table 2. Sewer replacement is scheduled only for the pipes classified as class 5, (Chan, 2011), i.e. when one of the criteria is five.

Table 1 - CCTV classification for BAF/BAB with associated action (Chan, 2011).

Classification	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
BAF	no	no	no	drill core	replacement
BAB	no	no	no	replacement	replacement

Table 2 - Drill core classification according to "The Hague" (Chan, 2011).

	class 1	**class 2**	**class 3**	**class 4**	**class 5**
Splitting tensile strength (N/mm^2)	>6	5-6	2.6-4.9	2.5-2	<2
Water absorption (%)	<8	8-9	9-11	11-13.5	>13.5
Specific weight (kg/m^3)	>2275	2230-2275	2190-2229	2150-2189	<2150

Statistical analysis was carried on the experimental result. To determine the homogeneity and independence of the core results, non-parametric statistical test of Mann-Whitney and Wald-Wolfowitz were used.

Results and Discussion

Firstly, sewer condition - surface damage was assessed by CCTV over the whole studied length. Figure 1 shows the inspection results from 2011 and results with re-evaluation at the studied location, and it can be seen that these results are not entirely in line. E.g. in sections 1 and 2 surface damage was differently estimated by field inspector (results) and the municipal inspector (re-evaluated results). The results suggest that subjective visual assessment introduces uncertainties in the overall surface damage assessment confirming earlier research (Dirksen et al., 2011).

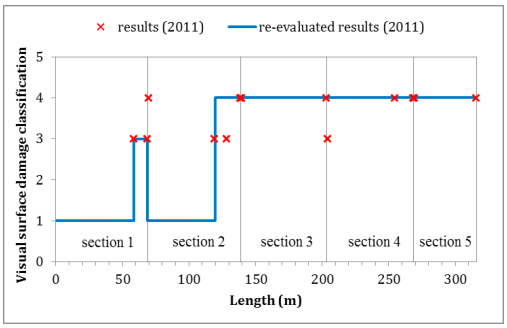


Figure 1 - Classification of visual impairment conditions using CCTV at the studied location as a function of time.

Secondly, sewer conditions were assessed based on the experimental results of core samples taken on selected locations. From the results (Figure 2) it can be seen, that there is a significant variation in classification between parameters selected by the Municipality of The Hague. E.g. in the section 2 and 5 can be seen that the difference between specific mass and splitting tensile strength is 3 classes. As mentioned earlier, core classification is based on the criterion with the highest score. This implies that classification results could be changed with the exclusion of even one parameter. For example, if the results of splitting tensile strength were excluded the classification results would change.

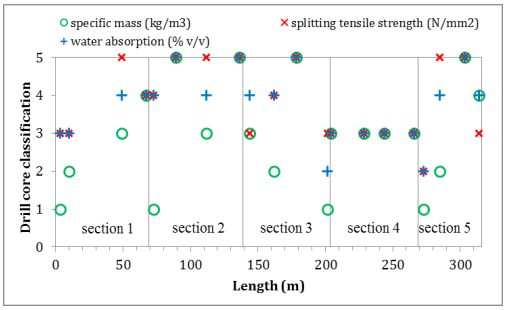


Figure 2 - Classification of the experimental results of core sample from the top of sewer at the studied location.

The experimental results of specific mass, water absorption and splitting tensile strength were analysed on the presence of mutual correlation. The coefficients of determination (R^2) showed that there was no obvious correlation between specific mass and splitting tensile strength results (R^2=0.64) and between splitting tensile strength and water absorption results (R^2=0.67). On the other hand, the correlation coefficient uR^2=0.92 suggests that values of specific mass and water absorption are interdependent. Therefore according to studied correlations, core conditions could be assessed with either studying specific mass or water absorption due to the fact that they are correlated, or they could act as control measurement.

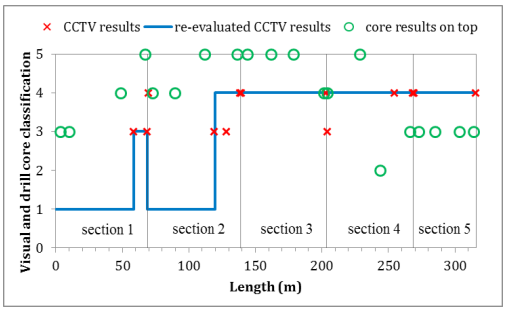


Figure 3 - Comparison of drill core sample results from sewer invert and top at the studied location.

In the municipality of the Hague final sewer condition assessment is based on the re-evaluated CCTV results and drill core experimental results from the top part of sewer. Figure 3 shows the difference in estimation of current conditions at the studied location. Based on current Hague inspection regulation section 2-3

and one part of section 4 should be replaced. On the other hand, sewer conditions in the section 5 are better while looking at the core results. Furthermore, re-evaluated CCTV results are not consistent with that drill core results. I.e. the relative severity of the sewer condition should be similar irrespective of the boundaries of the classes, but is not.

Core sampling, being more expensive than CCTV inspection, is generally applied to confirm an assessment made through CCTV assessment prior to decisions on rehabilitation or other remedial action. This study indicates that this assumption that core sampling will produce results that are constant with the visual inspection results is not correct, due to uncertainties related to application of both investigation techniques.

Conclusions and Future Research

Overall, the understanding of uncertainty of inspection data is relevant for future decision making and model development. Uncertainties related to application of both CCTV inspection and core analysis in today's practice could be and should be decreased, as the results are inconsistent compared to each other. Proper selection of core classification parameters and their classification range will provide more reliable results. Further research will focus on determining the most influencing factors of drill core analysis on structural condition of the concrete sewer pipes. Moreover, it will focus on reducing the uncertainty related to inspection results.

References

1. Baur, R. and Herz, R. 2002 Selective inspection planning with ageing forecast for sewer types. Water Science & Technology, 46(6), 389-396.
2. Chan, T. W. S. 2011 Inspectie & Beoordelingsplan van vrijverval riolering 2011-2015 (Inspection & Assessment Plan of gravity sewer 2011-2015). Municipality of The Hague, The Hague, the Netherlands.
3. De Silva, D., Davis, P., Burn, L. S., Ferguson, P., Massie, D., Cull, J., Eiswirth, M. and Heske, C. 2002 Condition assessment of cast iron and asbestos cement pipes by in-pipe probes and selective sampling for estimation of remaining life. Presented at NODIG 2002 International Conference, Copenhagen.
4. Dirksen, J., Clemens, F., Korving, H., Cherqui, F., Le Gauffre, P., Ertl, T., Plihal, H., Müller, K. and Snaterse, C. 2011 The consistency of visual sewer inspection data. Structure and Infrastructure Engineering, DOI:10.1080/15732479.2010.541265.
5. European Committee for Standardization. 2003 Conditions of drain and sewer systems outside buildings - Part 2: Visual inspection coding system. Report EN 13508-2, CEN, Brussels.
6. Gemeente Den Haag. 2011 Gemeentelijk Rioleringsplan Den Haag 2011-2015: Goed riool, gezonde leefomgeving (Municipal Sewer Plan Hague 2011-2015: Good sewer, healthy environment). Municipality of the Hague, The Hague, the Netherlands.
7. Halfawy, M. R., Dridi, L. and Baker, S. 2008 Integrated decision support system for optimal renewal planning of sewer networks. Journal of Computing in Civil Engineering, 22, 360.
8. INTRON. 1997 Classificatiemethode toestand betonnen rioolbuizen Den Haag (Classification method of sewer pipes concrete conditions - the Hague). Instituut voor materiaal en milieu-onderzoek b.v., the Netherlands.
9. Nederlands Normalisatie-instituut. 2003 Toestand van de buitenriolering - Coderingssysteem bij visuele inspectie (Conditions of drain and sewer systems outside buildings - Part 2: Visual inspection coding system). Report NEN-EN 13508-2, NEN, Delft, the Netherlands.
10. Nederlands Normalisatie-instituut. 2004a Buitenriolering - Classificatiesysteem bij visuele inspectie van objecten (Outdoor Sewer - Classification by visual inspection of objects). Report NEN 3399, NEN, Delft, the Netherlands.
11. Nederlands Normalisatie-instituut. 2004b Buitenriolering - Onderzoek en toestandsbeoordeling van objecten (Sewerage systems outside buildings - Diagnostic research and assessment of the condition of objects). Report NEN 3398, NEN, Delft, the Netherlands.
12. Nederlands Normalisatie-instituut. 2009 Beproeving van verhard beton - Deel 6: Splijttreksterkte van proefstukken (Testing

hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens) Report NEN-EN 12390-6, NEN, Delft, the Netherlands.

13. Polder, R. 1987 Duurzaamheid rioolleidingen - Een literatuurstudie naar aantastingsmechanismen (Sustainable sewers - A literature study on deterioration mechanisms), TNO, The Hague, the Netherlands.
14. Walder, T. C. 2011 Financing of the Dutch water systems Netherlands Water Partnership.

Performances Of Anaerobic Membrane Bioreactors Treating Thin Stillage from Bioethanol Plants at Different Sludge Retention Times

Kaan Dereli
TU Delft
Istanbul University of Technology

Ethanol production, as a renewable energy source and fuel additive, form starch based grains such as corn and wheat has increased rapidly in recent years to mitigate green-house gas emissions due to the extensive usage of fossil fuels and to regulate the instabilities in global fuel supply (Gao et al., 2011, Wilkie et al., 2000). However, bio-ethanol manufacturing is a water and energy intensive process that generates a high amount of concentrated wastewater called stillage and requires a high amount of energy input for downstream stillage management with centrifuges, evaporators and dryers. Therefore, its overall environmental benefit is still questionable. The only by-product of bio-ethanol production facilities is called dry distillers grains with solubles (DDGS) and it is produced through a series of energy intensive processes for concentrating the effluent coming from the main distillation process. DDGS, rich with proteins, carbohydrates, lipids and nutrients, has a high nutritional value and it is valorized in animal feed market to compensate the operation costs and to improve the overall feasibility of the process (Eskicioglu et al., 2011).

Thin stillage from corn to ethanol distilleries is a complex wastewater containing high concentrations of carbohydrates (glucan, xyclan and lactic acid), proteins and lipids (Kim et al., 2008) which makes it a very high strength wastewater with COD and TS values up to 100 g/L and 70 g/L, respectively. High organic matter content and biodegradability of thin stillage promotes the anaerobic reactors as the most feasible technology for the treatment of distillery wastewater.

Better stillage management alternatives instead of high energy consuming thermal processes are still under investigation. In that context, the anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) which combine the classical anaerobic digestion with membrane filtration offers many advantages such as biogas production, energy recovery and high effluent quality for stillage management (Dereli et al., 2012). The high particulate COD content of thin stillage limits the applicability of high rate anaerobic granular sludge bed systems for its treatment due to the problems with biomass retention. Thus, a completely mixed reactor equipped with membranes for sludge retention can provide both sufficient

biodegradation capacity by preventing the wash-out of slow growing anaerobic biomass and maintain a high and stable reactor performance. Apart from that, recycling of AnMBR permeate can also help to reduce the amount of fresh water necessary for hydrolysis/saccharification processes and increase the ethanol yield by supplying the necessary macro and micro nutrients for yeast growth (Zhang et al., 2009; Gao and Li, 2011).

In contrast to their many advantages, AnMBRs naturally inherit disadvantages of the membrane filtration processes such as membrane fouling (organic and inorganic), high investment and operation costs and process complexity with increased automation needs. Among these handicaps, membrane fouling seems to be the most important one that limits the wide-spread application of AnMBRs (Jeison, 2007). Cake layer formation was identified as the most important fouling mechanism for AnMBRs (Jeison and van Lier, 2007). However, inorganic fouling was also determined as another potent fouling type especially for inorganic membranes. Many operation parameters such as sludge retention time (SRT), volumetric and sludge loading rate (VLR and Food:Mass) filtration/backwash/relaxation periods, applied shear rate, etc. seem to have an influence on both membrane fouling and reactor performance. Therefore, understanding the relation of these factors with each other and optimization of them for each specific case to improve reactor performance and mitigate fouling is of crucial importance.

The sludge retention time (SRT) in AnMBRs, can be controlled much easier than other types of anaerobic reactors and it is completely independent from the hydraulic retention time. In literature, AnMBRs were reported to operate at various SRTs in the range of 30-350 days (Dereli et al., 2012). In principle, high SRTs corresponds to more biogas production due to the improved stabilization of organic matter, less sludge production and higher biomass concentrations in the reactor. However, increasing SRT also yields to a more stabilized sludge in terms of active microorganism concentration and accumulation of inert organic and inorganic matter such as decay products of bacteria and inorganic precipitates in the reactor. The effect of SRT on biological and filtration performance of AnMBRs is still a very important topic that needs further investigation. The aim of this study is to identify the effect of SRT on the treatment and filtration performance of lab-scale AnMBRs treating corn based ethanol stillage.

Materials and Methods

The lab-scale reactors consist of a feed vessel continuously mixed and kept at a temperature of 4-5 °C, a continuously mixed 10 L anaerobic digester, and a side-stream tubular cross flow microfiltration membrane with a surface area of 0.0115 m^2 (Figure 1). The reactors were gently stirred at 35 rpm by top-entry mechanical mixers. The membrane was supplied by Pentair X-flow and it is made of PVDF with a mean pore size of 0.03 µm. To enable high membrane fluxes, permeate was partially recycled into the reactor, as shown in Figure 1. The biogas production, pH and the trans-membrane pressure were recorded on-line. Feed flow and permeate flow rates were manually checked daily.

Two AnMBR reactors were operated in parallel at different SRTs such as 20 and 30 days for 3 months. The SRT was then increased from 30 days to 50 days in the second reactor for another 3 months. The

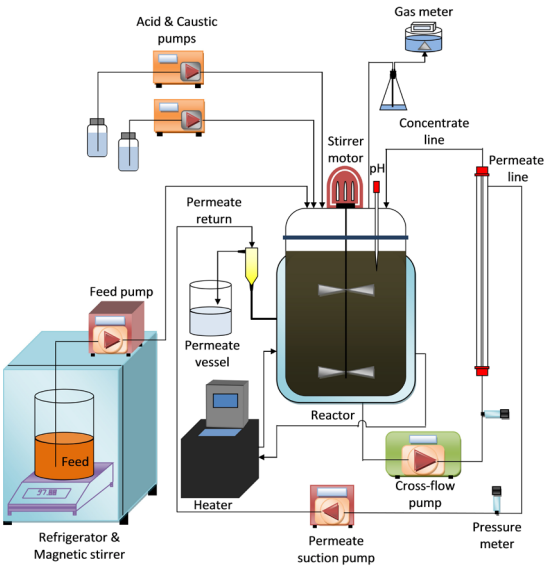


Figure 1 - Lab-scale cross-flow AnMBR setup.

reactors are named after their SRTs, i.e. R-20, R-30, R-50, respectively. The reactors were inoculated with grinded and sieved (600 µm) granular sludge from a full scale EGSB reactor and they were operated under mesophilic conditions. The membrane was operated at a cross-flow velocity (CFV) of 0.5 m/s and to limit fouling cyclic membrane operation was carried out such as 300 seconds filtration and 30 seconds backwash. Back wash was done by simply reversing the pump flow. The wastewater characterization used in the experimental study was presented in Table 1.

Table 1 - Wastewater characterization.

Parameter	Unit	Concentration
COD	g/L	72.2 ± 8.6
$COD_{soluble}$	g/L	34.7 ± 6.2
FOG	g/L	11.3 ± 0.5
TS	g/L	41.8 ± 6.2
VS	g/L	37.1 ± 5.6
SS	g/L	19.2 ± 2.7
VSS	g/L	19.2 ± 2.8
TN	mg/L	1193 ± 263
TP	mg/L	909 ± 85
PO_4^{3-}-P	mg/L	654 ± 133
SO_4^{2-}	mg/L	948 ± 165
Ca^{2+}	mg/L	138 +55
Mg^{2+}	mg/L	307 ± 31
K^+	mg/L	1453 ± 250
pH	-	3.89

Results

During the study, the average VLR for R-20, R-30 and R-50 reactors were 8.3, 7.8, 6.1 kg COD/(m^3.day), respectively. Higher loading rates could be applied to R-20 and R-30 reactors compared with R-50 reactor. Moreover, operation was interrupted several times due to VFA accumulation in R-50 reactor. The effluent COD concentrations at stable operating conditions in R-20, R-30 and R-50 reactors were 470±60, 570±60, 1070±30 mg/L, respectively. The SRT being the major operating parameter seems to have an influence on the effluent COD concentrations in the reactors and the permeate COD tends to increase at higher SRTs. The permeate COD concentrations in R-50 was always higher in comparison to the other two reactors operated at 20 and 30 days SRTs. The COD removal efficiencies of R-20 and R-30 was higher than 99% during the long term study, however, as a result of instabilities the performance of R-50 occasionally dropped down to 96% which is still a very high removal efficiency thanks to the membrane filtration. The average biological treatment performances of the reactors at stable operating conditions were summarized in Table 2.

The comparative filtration performances of the reactors were presented in Table 3. In general, the reactors showed very promising filtration performance considering the fact that the membranes were operated at relatively low cross-flow velocity (0.5 m/s). The filtration performance of R-20 reactor was superior compared to the others. The sludge filterability determined with capillary

Table 2 - Comparison of the steady state performance of reactors at different SRTs (average±standard deviation).

Parameter	Unit	R-20	R-30	R-50
VLR	kg COD/(m^3.d)	8.3±1.3	7.8±0.9	6.1±1.4
F/M ratio	kg COD/(kg VSS.d)	0.53±0.1	0.47±0.12	0.30±0.09
TSS in reactor	g/L	16.5±0.8	17.2±1.8	28.3±1.1
VSS in reactor	g/L	15.2±0.6	15.3±1.4	24.9±1.2
Permeate COD	mg/L	470±60	570±60	1070±30
COD removal efficiency	%	99±0.2	99±0.5	98±0.8
Digestion efficiency	%	73±4	80±6	83±10
Methane yield	m^3 CH_4/kg $COD_{removed}$	0.31±0.02	0.32±0.02	0.34±0.06

Table 3 - Summary of filtration performance and sludge filterability in the reactors.

Parameter	Unit	R-20	R-30	R-50
Permeability (20ºC)	L/(m^2.h.bar)	30-100	26-45	40-85
Operation flux	L/(m^2.h)	12	11	14
Critical flux	L/(m^2.h)	18	13	14.5
CST	s	951±128	1743±187	2414±145
Normalized CST	s.L/g TSS	61±5	90±12	86±4
SCR	10^{12} m/kg	2001±78	3137±262	2963±218
Supernatant filterability	mL/min	0.27±0.03	0.18±0.01	0.17±0.01
Mean particle size	µm	50	41	16

suction time (CST), specific cake resistance (SCR) and supernatant filterability were quite similar for R-30 and R-50 reactors, however R-30 reactor showed worse long term membrane performance.

Conclusions

In this study, organic matter conversion efficiency to methane tended to increase at higher SRTs. This may be due to the better biodegradation of FOG at increasing SRTs. High and stable fluxes could be obtained considering the relatively low CFV applied in the study. The reactor operated at an SRT of 20 days showed the best membrane performance, whereas its COD conversion efficiency was the poorest. This indicates that SRT should be optimized in AnMBRs to obtain better biological and filtration performance.

Acknowledgements

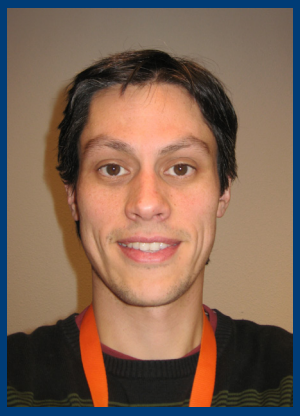
This research was funded and supported by Biothane Systems International in collaboration with Delft University of Technology.

References

1. Dereli, R.K., Ersahin, M.E., Ozgun, H., Ozturk, I., Jeison, D., van der Zee, F., van Lier, J.B. (2012) Potentials of anaerobic membrane bioreactors to overcome treatment limitations induced by industrial wastewaters. Bioresource Technology, 122, 160-170.
2. Eskicioglu, C., Kennedy, K.J., Marin, J. and Strehler, B. (2011) Anaerobic digestion of whole stillage from dry-grind corn ethanol plant under mesophilic and thermophilic conditions. Bioresource Technology 102(2), 1079-1086.
3. Gao, T. and Li, X. (2011) Using thermophilic anaerobic digestate effluent to replace freshwater for bioethanol production. Bioresource Technology 102(2), 2126-2129.
4. Jeison, D. (2007). Anaerobic Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment: Feasibility and Potential Applications. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
5. Jeison, D., van Lier, J.B. (2007) Cake formation and consolidation: Main factors governing the applicable flux in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) treating acidified wastewaters. Separation and Purification Technology 56(1): 71-78.
6. Kim, Y., Mosier, N.S., Hendrickson, R., Ezeji, T., Blaschek, H., Dien, B., Cotta, M., Dale, B. and Ladisch, M.R. (2008) Composition of corn dry-grind ethanol by-products: DDGS, wet cake, and thin stillage. Bioresource Technology 99(12), 5165-5176.
7. Wilkie, A.C., Riedesel, K.J. and Owens, J.M. (2000) Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. Biomass and Bioenergy 19(2), 63-102.
8. Zhang, W., Xiong, R. and Wei, G. (2009) Biological flocculation treatment on distillery wastewater and recirculation of wastewater. Journal of Hazardous Materials 172(2-3), 1252-1257.

Autogenerative High Pressure Digestion: Future Potentials and Constraints

R.E.F. Lindeboom, C.E. Zagt, J. Weijma, C.M. Plugge and J.B. van Lier



Ralph Lindeboom
WUR

Introduction

Conventional anaerobic digestion is a commonly used technology worldwide and external biogas upgrading is well documented (Wellinger and Lindberg, 2001). Biogas generated in waste (water) treatment facilities is increasingly regarded as an important source of renewable energy. However, generally, the CH_4 content in biogas ranges between 55-70%, depending waste(water) composition, and cannot be applied directly for high grade applications such as gas grid injection or vehicle fuel. Conventional biogas upgrading technologies are only cost-efficient when treating biogas flows exceeding 100 Nm^3/h. Therefore, cost-effective external biogas upgrading, to remove H_2O, CO_2, H_2S and other trace impurities, was assumed to pose a major challenge for the further dissemination of small-scale decentralized anaerobic digestion technology.

Therefore, an integrated CO_2-scrubbing mechanism, denominated as Autogenerative High Pressure Digestion (AHPD) was introduced. Our previous work showed that while reaching working pressures up to 90 bar, CH_4-content of the biogas improved to >95%. Research on AHPD processes explores the interactions between the partial biogas pressures, the chemical equilibria, bio-kinetics in the liquid and solid phase and the microbiology. However, other literature on in-situ biogas upgrading and high-pressure digestion is limited (Richards et al., 1991; Zagt et al., 2010). So, our present work is further exploring high pressure digestion using results obtained with 0.6 L and 8 L pressure reactors and a set of glass batch bottles using various model substrates. By combining population dynamics, fatty acid conversion and mineral supply for CO_2-sequestration, the potentials and constraints of AHPD for future application are further explored. AHPD results show that in-situ upgrading of biogas to natural gas quality is feasible by either using pressure to dissolve CO_2 above 10 bar, or use acid neutralising capacity (ANC)-management or mineral supplementation to form HCO_3^-/CO_3^{2-} at pressures below 10 bar. Smart combinations of pressure, ANC-management and mineral supplementation thus (would) make AHPD operation accessible to a broader audience. At present a continuous AHPD 1.5 m^3 reactor is in operation to assess its feasibility.

Method

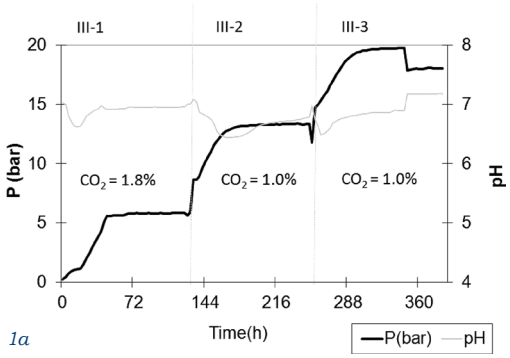
Results presented in this work have been obtained with the methods described in Lindeboom et al. (2011, 2012).

Liquid to control the gas quality

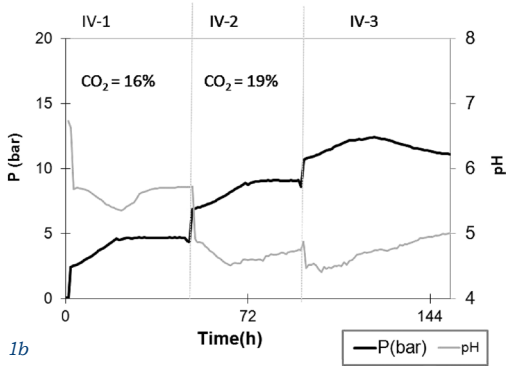
By digesting sodium acetate with anaerobic granular sludge from a full scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) treating paper mill wastewater (Industriewater Eerbeek, The Netherlands) 20 bar pressure was achieved in 3 phases (figure 1a). The CH_4 produced, dissolved according to Henry's law with a respective value of 0.0016 mol L^{-1} bar $^{-1}$ at 30°C (Lindeboom et al., 2012). The ratio between Acid Neutralizing Capacity (ANC) and Total Inorganic $Carbon_{produced}$ (TIC) was essential to explain CO_2 dissolution and biogas composition (Figure 1b). Furthermore, acetotrophic methanogenic activity on undissociated acetic acid was only marginally supressed at reduced ANC/TIC ratio, resulting in a pH < 5 (figure 1c), a final pressure of 13 bar and a CO_2-content of 19% at 9 bar of total pressure. This indicates that pressure alone can be used to produce high quality biogas from undissociated fatty acids. Strikingly, CO_2 dissolved according to equilibrium calculations in demi water, but exceeded equilibrium values, in experiments in which the liquid medium was inoculated with granular sludge (figure 1d). It was thus anticipated that the inoculum sludge provided additional ANC, e.g. by means of minerals and proteins, which was very likely responsible for sequestrating more CO_2 as HCO_3^- and providing a protective pH-microgradient around the micro-organisms at decreasing pH.

The microbes that do the work

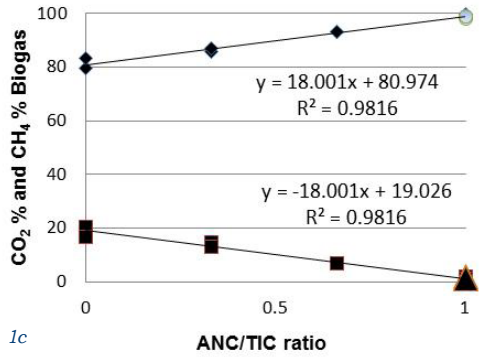
Although any pressure and ANC/TIC ratio can be selected from a physicochemical point of view, this could come at the cost of loss of biological activity. For pressure experiments performed with neutralized VFA, and thus higher salt concentrations (Lindeboom



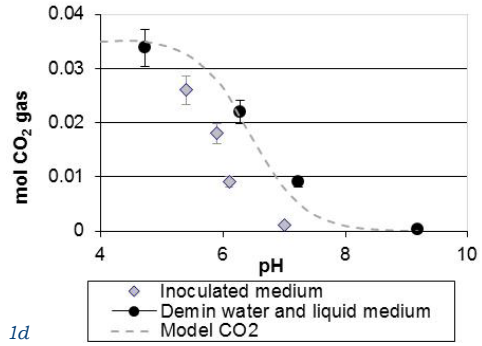
1a



1b



1c



1d

Figure 1 - (a) pressure and pH profile of acetate digestion at ANC/TIC =1, (b) pressure and pH profile during acetate digestion at decreasing ANC/TIC (c) effect of ANC/TIC ratio experiment III and IV on biogas quality, and (d) difference in CO_2-content of the biogas using demiwater, inoculated medium and theoretical values (adjusted from Lindeboom et al., 2012)

et al., 2011), ~30% reduction in degradation rates were observed. A long term glucose fed batch experiment with constant ANC, and pressure based gas upgrading based on dissolved CO_2 in the liquid showed that over time methane production rates also decreased and acetate and propionate accumulated (fig. 2a, b). By using Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE), cloning and sequencing, the bacterial and archaeal population dynamics could be related to the decreased methane production rates, the accumulation of acetate and propionate and the effects of accumulating pCO_2 and pH_2 on the degradation pathways (Lindeboom, Shin et al., in preparation a).

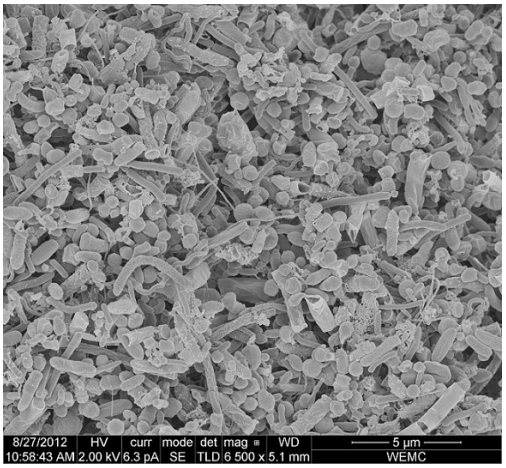
Earth alkali metals to control the liquid

For many substrates, the available ANC is insufficient to sequester all CO_2 inside the reactor liquid and, therefore, leads to a drop in pH and reduced methane production rates, rendering in situ CO_2-removal very difficult. Therefore, we hypothesized that in-situ mineral weathering and secondary carbonation of natural silicate minerals, could provide a low-cost alternative to conventional caustic dosage, thus additionally sequestrating accumulating pCO_2 as $CaCO_3$ via the following pathways:

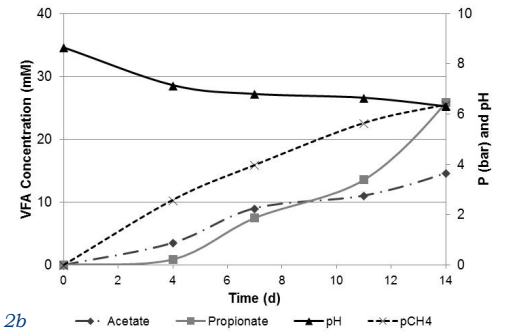
$$CaSiO_3(s) + 2H^+ (aq) + 2\ CH_3COO^- (aq) \rightarrow Ca^{2+} (aq) + 2\ CH_3COO^- (aq) + SiO_2 (s) + H_2O (l)$$

$$Ca^{2+} (aq) + CO_3^{2-} (aq) \rightarrow CaCO_3 (s)$$

It was experimentally verified that olivine ($Mg_{1.8}Fe_{0.16}Ni_{0.04}SiO_4$) and wollastonite ($CaSiO_3$) could buffer the pH of undissociated acetic acid additions to the reactor. Furthermore, olivine and wollastonite improved the biogas quality up to a maximum of 70 and 96% ± 2% CH_4, respectively during acetic acid digestion compared to a conventional phosphate buffer (figure 3a, b). To exclude the complex effects of Fe and Ni in olivine, wollastonite was selected in follow-up research for a detailed study on the CO_2-sequestration mechanism in AHPD (Lindeboom et al., in preparation b).



2a



2b

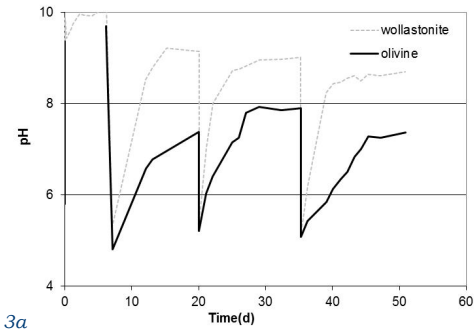
Figure 2 - (a) Field Emission Scanning Electron Micrograph of enriched glucose-converting biomass and (b) typical accumulation of acetate and propionate from glucose digestion at increasing pressure.

Continuous 1.5 m³ experiments

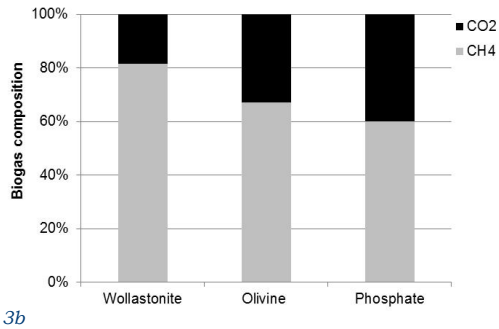
At an operational pressure of 20 bar, Bareau presently operates continuous trial experiments on glycerol and primary sewage sludge (from municipal WWTP Drachten, The Netherlands). Currently, research on blackwater and organic solid waste are being performed (Zagt and Rijnaarts, 2012).

Discussion

In situ cost-effective biogas upgrading is possible applying the AHPD process. The digestion of acetic acid showed that dissolved CO_2 can be used as a major sink for produced CO_2 at increasing pressures. However, as described above, a reduction in methanogenic activity was observed in accumulating pressure experiments. Also, owing to simultaneously



3a



3b

Figure 3 - (a) Typical pH-profile of olivine and wollastonite leaching. Arrows indicate undissociated acetic acid additions and (b) biogas composition at the different applied ANC sources (grey: CH_4; black: CO_2).

increasing CH_4-dissolution, CH_4 losses could be experienced when decompressing liquid effluents from higher pressures. For example, increasing the operational pressure from 10 to 20 bar results in a doubling of CH_4 dissolution from 1 g COD CH_4 L^{-1} to 2 g COD CH_4 L^{-1} of treated effluent. Therefore, CH_4 recovery at the pressure fall should be integrated in the final plant design.

On the other hand, presented results indicate that by addition of wollastonite or appropriate ANC management moderate pressures (3-10 bar) are sufficient to reduce the CO_2-content below 5% after pressure digestion of different substrates in a single step. It can be calculated that the dew point of the pressurized biogas (based on water vapour), is already reduced from 30°C at atmospheric pressure to 12°C and -5°C after decompression from 3 bar and 10 bar, respectively. Finally, the higher Henry's constant of H_2S compared to CO_2, i.e., 0.115 versus 0.032 mol L^{-1} bar^{-1} will theoretically also facilitate improved in-situ H_2S scrubbing at much lower pressures than 20 bar (Zagt et al. 2010). Fixation of sulphide could then be obtained by the addition of $FeCl_3$ or olivine e.g. conventional FeS precipitation. Furthermore, minimizing the operational pressure would facilitate the construction of more cost-effective reactor designs.

It should be emphasized that the requirement of chemicals, potential inhibiting effects on the microbiology of increasing salt concentrations, and scaling risks could pose an upper limit to an ANC based strategy, obviously depending on the type of substrate. Therefore, an intermediate strategy embodied in the continuous experiments is proposed. It combines the strengths, but minimizes the negative effects of pressure accumulation and ANC addition. Besides, a combined approach leaves opportunity to adjust AHPD technology to required biogas quality and available resources of rural communities, making the technology more widely applicable. The above 20 bar research-line is also of interest for other applications. The similarities between biogenic natural gas generation and AHPD, could support biogenic natural gas production from e.g. coal bed reservoirs (Strapoc et al., 2011) and help renewing natural gas reservoirs for future generations.

Acknowledgements

This study was financially supported by Agentschap NL, the Dutch Ministry of Economic Affairs.

References

1. Lindeboom, R. E. F., Fermoso, F. G., Weijma, J., Zagt, K. and Van Lier, J. B. 2011 Autogenerative high pressure digestion: Anaerobic digestion and biogas upgrading in a single step reactor system. Water Science and Technology 64(3), 647-653.
2. Lindeboom, R. E. F., Weijma, J. and Van Lier, J. B. 2012 High-calorific biogas production by selective CO2 retention at autogenerated biogas pressures up to 20 bar. Environmental Science and Technology 46(3), 1895-1902.
3. Lindeboom, R.E.F., Shin, S.G., Weijma J., van Lier J.B. and Plugge C.M., Taming piezophiles for worldwide natural gas production. In preparation.
4. Lindeboom, R.E.F., Ferrer, I. ,Weijma J., and Van Lier J.B. Silicate minerals for CO2 scavenging from biogas in Autogenerative High Pressure Digestion. In preparation.
5. Richards, B. K., Cummings, R. J., Jewell, W. J. and Herndon, F. G. 1991 High solids anaerobic methane fermentation of sorghum and cellulose. Biomass and Bioenergy 1(1): 47-53.
6. Strąpoć, D., Mastalerz, M., Dawson, K., Macalady, J., Callaghan, A.V., Wawrik, B., Turich, C. and Ashby, M. 2011 Biogeochemistry of Microbial Coal-Bed Methane. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 39(1), 617-656.
7. Wellinger, A. and Lindberg, A. 2001 Biogas upgrading and utilisation Bioenergy Task 24: Energy from biological conversion of organic waste. http://www.ieabioenergy.com, International Energy Agency.
8. Zagt, K., Barelds, J., Lindeboom, R., Weijma, J., Plugge C., and van Lier J. 2010 Energie uit rioolwater en keukenafval bij hoge druk, H2O 4 (in Dutch).
9. Zagt, C.E. and Rijnaarts, H. 2012 Autogeneratieve hoge druk biogasprocessen voor "groene energie productie", public summary EOS LT07047, Agentschap NL, The Netherlands.

Ing. Marco van Bijnen

Impact of sewer condition on urban flooding: necessity of maintenance based on hydraulic monitoring

Marco van Bijnen
Gemeente Utrecht

Introduction

The structural condition of the assets of a sewer system (sewers, pumps, gully pots, etc.) affects hydraulic performance and serviceability of the system (see e.g., Saegrov, 2006). However, sewer performance, including pluvial flooding and emissions, is usually assessed assuming in-sewer defects are absent. Consequently, serviceability is likely to be overestimated.

A common approach to assess pluvial flooding is based on hydraulic simulations. The advantage of hydraulic simulations is that they can be done at relatively low cost and require limited time to obtain detailed knowledge of hydraulic system behaviour. The main drawbacks, however, are the uncertainties in the results due to data errors, the fact that several process parameters have to be estimated (Clemens, 2001; Van Mameren and Clemens, 1997) and the absence of in-sewer defects in the model.

The overall goal of the research is to find out if it is possible to obtain a "hydraulic fingerprint" of a clean sewer system as a measure for the necessity of maintenance, based on hydraulic monitoring.
Therefore, first of all Monte Carlo simulations are applied to systematically study the variation of flooding impacts due to structural in-sewer defects. Furthermore, measured system behaviour in the sewer system of 'Professor Fuchslaan' (Utrecht, The Netherlands) accounting for in-sewer defects has been observed and analysed.

Research catchment

In this research the 'Professor Fuchslaan' (Utrecht, The Netherlands) sewer catchment has been studied. The characteristics of this catchment are summarized in Table 1. The layout of the sewer system is presented in Figure 1.

Uncertainty analysis based on field observations and Monte Carlo simulations

Monte Carlo simulations are applied to systematically study the variation of flooding impacts (frequencies, volumes, etc) due to structural in-sewer defects using a detailed InfoWorks model of the sewer system. Realistic ranges for the inputs of the Monte Carlo simulations are based on the results of visual inspections and expert knowledge.

Table 1 - Main characteristics 'Professor Fuchslaan' catchment.

Characteristics	Values
Catchment area	Flat
System type	Combined
System structure	Looped
Ground level (m AD)	0.75 - 2.25
Contributing area (ha)	61.5
Number of CSO structures (-)	5
In-sewer storage (m^3)	4,669 (= 7.6 mm)
Volume storage tank	822 m^3 (1.3 mm)
Number of pumping stations (-)	1
Pumping capacity (m^3/h)	540
Number of inhabitants	9,920
Dry weather flow (m^3/h)	157

Figure 1 - Layout 'Professor Fuchslaan' catchment.

Data collection

Visual inspections were carried out in the system to collect information on in-sewer defects. The inspection of the internal structural condition is carried out by CCTV (closed circuit television) from within the sewer. The following in-sewer defects were taken into account: root intrusion, surface damage and attached and settled deposits. Figure 1 presents an overview of the inspected conduits (bold lines). Observed defects are translated into the parameters of the hydrodynamic models. The parameter values account for critical pipes with respect to the above-mentioned defects.

Observed sediment depths are used to account for sedimentation in hydrodynamic model calculations. In Utrecht, sediment depths are registered by cleaning engineers before jetting individual pipes while carrying out the annual cleaning program. The total data set includes 10,735 sewer pipes. Observed sediment depths are not objective but depend on cleaning engineers' experience and opinion (Dirksen and Clemens, 2007; Korving, 2004). Therefore, uncertainty of observed depths is accounted for by choosing class ranges of 10%.

Monte Carlo simulations

The simulations are performed with a detailed InfoWorks model of the sewer systems. The model have been validated to eliminate systematic errors in the model according to the method described by Clemens (2001).

In order to incorporate the in-sewer defects in the hydrodynamic model, they are translated into model parameters. Hydraulic roughness to account for root intrusion, surface damage, attached and settled deposits. Sediment depths to account for sedimentation.

Model parameters

Both types of model parameters are characterised with a probability distribution. The type of probability distribution and the mean values and standard deviations of the parameters are mainly based on the field observations of in-sewer defects and sediment depths. Hydraulic roughness is described with a lognormal distribution, sediment depths with a beta distribution. For each pipe shape (circular, egg) and dimension class, a distribution function is fitted on the observed sediment depths (10,735 observed depths). In the Monte Carlo simulations the relative sediment depth of pipes is drawn from the corresponding beta distribution.

Simulations

Predefined storm events with a specific return period based on rainfall statistics are insufficient for detailed flood frequency analysis because the information on peak intensities is limited and the return period of storms and resulting flood events is different. Due to the random changes in the characteristics

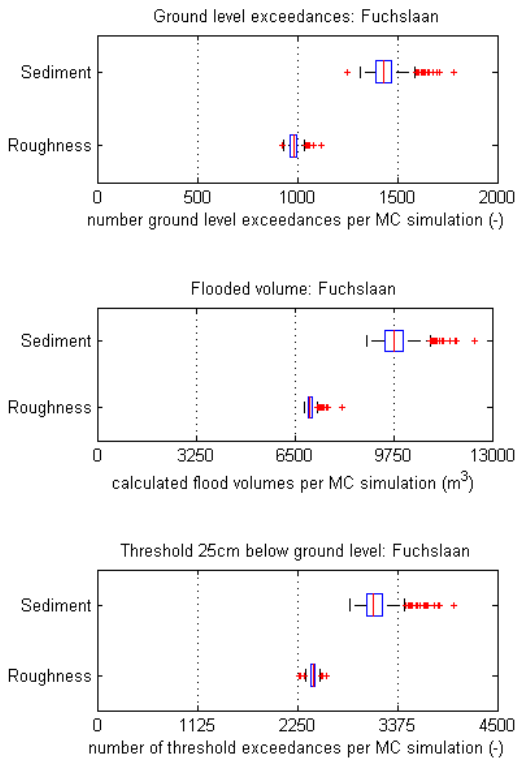


Figure 2 - Simulation results (ground level exceedances, flood volumes and exceedances of threshold level).

of the network in each run during the Monte Carlo procedure, it is also impossible to predict beforehand which storm events will lead to flooding. Therefore, in the Monte Carlo simulations long-term rainfall series are used (De Bilt 1955-1964).

For sediment depths as well as for hydraulic roughness, separate Monte Carlo simulations are applied (consisting of 750 runs each). Each run has different set of parameter values for either sediment depths or roughness (i.e. the 'model condition'). The parameter values for roughness and sediment depths are substituted in the InfoWorks model using COM techniques and remain constant during each run.

Results

The variation of flooding impacts on network level due to structural in-sewer defects has been analysed. The outcomes of the Monte Carlo simulations are analysed to research statistical properties, not system changes.

The analysis of simulation results shows that in-sewer defects significantly affect calculated return periods, flood volumes and threshold exceedances (Figure 2). A comparison with calculated flooding without in-sewer defects shows that the protection level with respect to urban pluvial flooding drastically deteriorates. The average return period of flooding is approximately 1 year.

Analysis hydraulic behaviour sewer system including in-sewer defects

Monitoring network

A monitoring network (32 sensors) has been installed to obtain data on the hydraulic performance of the sewer system and understand the impact of in-sewer defects on hydrodynamic system behaviour. Flows (F1), water levels (Lev1, Lev2,..., Lev27) and rainfall (R1 and R2) are monitored at several locations in the catchment area (Figure 3). Network design is based on a combination of hydraulic simulations, reported incidents and observed in-sewer defects. For example, several water level sensors are installed in the manholes just upstream and downstream of an observed defect. Two tipping bucket rain gauges (R1 and R2) have been used to measure rainfall in the 'Professor Fuchslaan' catchment. In order to ensure high data quality and enable condition based maintenance of sensors, monitoring data have been validated using automatic algorithms as described in Van Bijnen and Korving (2008).

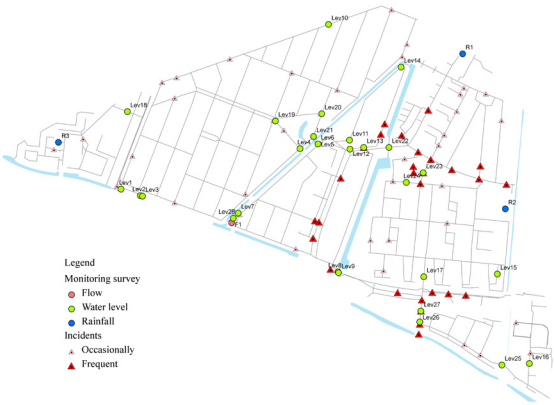


Figure 3 - Monitoring network and reported incidents 'Professor Fuchslaan' catchment.

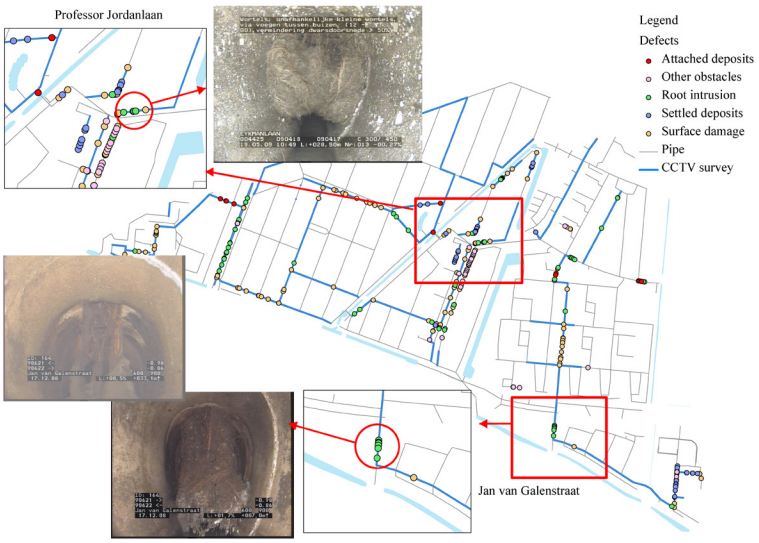


Figure 4 - Observed defects 'Professor Fuchslaan' catchment.

Locations and storm events

The analysis of measured hydraulic behaviour focuses on two locations with defect 'root intrusion' (code BBA according to NEN-EN 13508-2). The defects were classified as class 5 (most severe). The locations are situated in the south and centre of the 'Professor Fuchslaan' catchment (see pictures in Figure 4). At the first location, Jan van Galenstraat, root intrusion (class 5) at two locations in the same sewer pipe has been observed. At the second location, Professor Jordanlaan, at one location root intrusion (class 5) has been observed.

Observed storm events

Two recorded storm events (10/07/2010 and 25/08/2010) have been studied with respect to impacts of observed in-sewer defects on water levels in the sewer system (Table 2). The first storm event represents a short but heavy storm, the second event a storm with low rainfall intensities and relatively long duration.

Table 2 - Observed storm events.

Date	Rain depth R1 (mm)	Rain depth R2 (mm)
10/07/2010 - 11/07/2010	32.2	33.0
25/08/2010 - 27/08/2010	66.0	60.0

Results analysis measured hydraulic behaviour

At the Jan van Galenstraat (Figure 3), the observed root intrusions are located between Lev26 (upstream of the defect) and Lev27 (downstream of the defect). The reference levels of these sensors are -0.52 m AD and -0.58 m AD respectively, and the levels of the pipe bottom are -0.86 m AD and -0.98 m AD respectively.

At the other location, Professor Jordanlaan (Figure 3), the observed roots are located in the pipe between Lev12 (downstream of the defect) and Lev13 (upstream of the defect). The reference levels of these sensors are -0.24 m AD and +0.00 m AD respectively. The levels of the pipe bottom are -0.31 m AD and -0.19 m AD respectively.

At both locations during both storm events the impact of the root intrusion is expressed in the much larger difference between the measured water level upstream and downstream of the defect. For example, see Figure 5. This is location Jan van Galenstraat including Lev26 (upstream of defect) and Lev27 (downstream of defect).

Figure 6 shows that at both locations during both storm events the difference between the water levels upstream and downstream of the defect increases

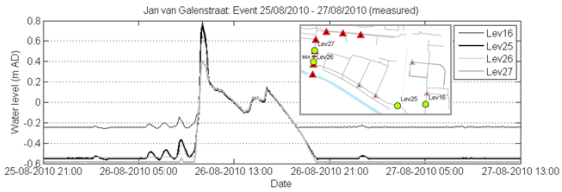


Figure 5 - Jan van Galenstraat measured water levels during event 25/08/2010.

substantially when the upstream level becomes a bit higher than the pipe soffit. This suggests that root intrusions in branched sewer systems can be modelled as an orifice.

Specifically, at location Professor Jordanlaan the following conclusions can also be drawn:

- The flow direction changes due to root intrusion. The impact of such a defect would have been much larger in a branched instead of a looped system, in branched systems reversal of flow is not possible without direct causing flooding.
- The initial backwater effect upstream of the defect differs between the two storm events. This probably results from dirt that sticks to the roots and obstructs the hole at the pipe bottom.

In general, the results show that monitoring data provide key information on the behaviour of a sewer system which suffers from defects such as root intrusions. Consequently, it is very useful for determining the necessary sewer management. In order to further enlarge knowledge on system behaviour, this research will focuses on the analysis of monitoring data and model results both during different storm events and at different monitoring locations in the catchment area.

As mentioned earlier the overall goal of this research is to find out if it is possible to obtain a "hydraulic fingerprint" of a clean sewer system as a measure for the necessity of maintenance, based on hydraulic monitoring. To this end, the 'Fuchslaan' system was monitored during a period of 1 year to obtain the hydraulic characteristics with known defects in the system. Now the system has been cleaned and is being monitored to obtain a calibrated model of the clean system that can function as a reference.

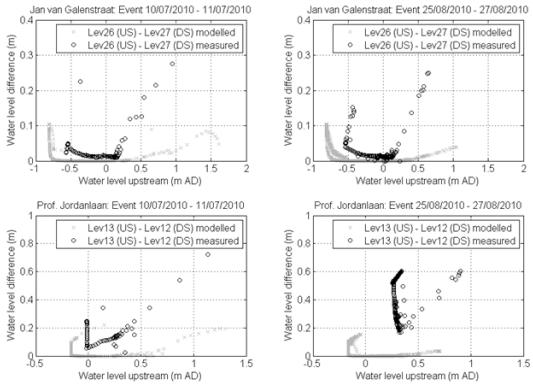


Figure 6 - Water level differences between manholes just upstream (US) and downstream (DS) of the defect root intrusion.

References

1. Clemens F.H.L.R. (2001). Hydrodynamic Models in Urban Drainage: Application and calibration. PhD thesis. Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
2. Dirksen J. and Clemens F.H.L.R. (2007). The role of uncertainties in urban drainage decisions: uncertainty in inspection data and their impact on rehabilitation decisions. In: Proceedings of 2nd Leading Edge Conference on Strategic Asset Management, Lisbon, Portugal, October 2007.
3. Korving H. (2004). Probabilistic Assessment of the Performance of Combined Sewer Systems. PhD thesis. Delft University of Technology, Delft, the Netherlands.
4. NEN-EN 13508-2. Conditions of drain and sewer systems outside buildings – Part 2: Visual inspection coding system. August 2003.
5. Saegrov S. (ed.) (2006). CARE-S. Computer aided rehabilitation of sewer and storm water networks. IWA Publishing, London.
6. Van Bijnen M. and Korving H. (2008). Application and results of automatic validation of sewer monitoring data. In: Proceedings of 11th International Conference on Urban Drainage. Edinburgh, Scotland.
7. Van Mameren H.J and Clemens F.H.L.R. (1997). Dutch guidelines for hydrodynamic design, overview and principles, Water Science and Technology. 36 (8-9): 247-252.

Gezamenlijke Slotsessie

YES!Delft: from idea to techno-starter

YES!Delft is the high tech entrepreneurs center with a clear mission: Building tomorrow's leading firms. We inspire students, professionals and scientists to make their first steps on the path to becoming an entrepreneur and offer them the necessary support to turn their venture into a success: a company that can make a difference and is of clear value to the economy, society and the sector in which it is active.

YES!Delft BUILDING TOMORROW'S LEADING FIRMS INSPIRATION | EDUCATION | INCUBATION | GROWTH

Figure 1 - Logo YES!Delft.

YES!Delft focuses on entrepreneurs with concrete ideas for technical, innovative and scalable products or processes. We support them in numerous ways. It starts by inspiring the future entrepreneurs to make their dream come true. We introduce them to the opportunities out there and explain them the benefits and possibilities of being an entrepreneur. By means of education we help the students and young entrepreneurs with their development. With high quality training programs the entrepreneurs lay out a solid foundation for their own company. We offer them office space and many (technical) facilities, access to an interesting international network, pre-seed financing and a network of investors and optimal knowledge sharing circumstances to make these promising companies grow even further.

Figure 2 - YES!Delft incubation center.

Sid Vollebregt
Elemental Water Makers

YES!Delft: from idea to techno-starter

Figure 3 - Entrepreneurs within the YES!Delft incubation center.

Building tomorrow's leading firms: that is what YES!Delft is all about. We believe in the power of innovation and the importance of enterprises in the Netherlands. By providing knowledge, offering facilities and bundling forces, we help starting enterprises grow into leading companies. And the concept of YES!Delft works! Over a hundred companies have already made a successful start under our wings. With success stories like Senz Umbrellas, Epyon Power or Ampelmann Operations but also fast growing startups like Ephicas or Eternal Sun and Nightbalance. These companies have had an impact in numerous technical sectors: medical technology, clean-tech, ICT, industrial applications and consumer products.

One of the new startups in the water sector and in the YES!Delft incubator is the company Elemental Water Makers. They provide renewable driven desalination systems for decentralized drinking water production. Or simply, systems which can turn seawater or brackish groundwater into drinking water, using only the power from the wind or sun. With rising energy prices, increasing population, rising living standards, climate change and increasing water stress, there is a growing need for renewable driven desalination. Elemental Water Makers has developed an innovative desalination system that only uses solar and/or wind energy in an efficient and costs effective way to create drinking water from seawater or brackish groundwater. This makes the solution very suitable for remote areas in water scarce regions with limited access to an electricity grid.

The foundation of Elemental Water Makers originates from the Delft University of Technology. During the Master End Project of Reinoud Feenstra and Sid Vollebregt, the founders of the company, an innovative renewable driven desalination system was designed, implemented and evaluated. A successful proof-of-concept was delivered in Indonesia, where continuous desalination was realized while using only the fluctuating power from the sun. The system does not use batteries, which invoke high investment costs

Figure 4 - Global drivers towards renewable driven desalination.

Figure 5 - Founders of Elemental Water Makers, Sid Vollebregt & Reinoud Feenstra.

versus a short lifetime, energy conversion losses and maintenance. Therefore the system is able to provide safe drinking water for an affordable price, using a very energy efficient solution based on renewable energy only. This is enforced by being awarded with the UfD-Cofely Energy Efficiency award, being finalist of Imtech Green Talent award and winning the Veolia Trophies Performance in the water category. The Master End Project was also awarded with the Waternetwerk Scriptie prize. Participation in business competitions and innovation awards is a great way for providing initial funding, network and exposure.

YES!Delft offered the course 'Ready to Startup' to the founders of the company during the final period of their graduation. The content of the course covers all aspects of writing a business plan and gaining enough experience to start a successful company. Within 6 months, all aspects from finance, intellectual property, distribution channels, marketing and sales were covered. This gave the founders enough confidence

elemental water makers

desalination driven by renewable energy

Figure 6 - Logo Elemental Water Makers.

to make the step towards the realization of Elemental Water Makers B.V. and to apply for participation in the YES!Delft formula to make use of their services such as an office space, pre-seed loan, master classes and extensive network.

This has led to the acceptance for the Climate-KIC incubation program, an European Union initiative to stimulate entrepreneurship and at the same time reduce carbon dioxide emissions. The Climate-KIC program has provided initial funding for development of a scalable and repeatable business plan and offered possibilities to participate in Master classes of inspiring MIT entrepreneurs such as Steve Blank and Ken Morse.

Cooperation with the Delft University of Technology is still vivid. More than five students are performing their internship or BSc./MSc. End Project in collaboration with Elemental Water Makers. This enables speedy and innovative technological development and market research and validation. Furthermore, a scientific article has been written and together with Luuk Rietveld and Bas Heijman a proposal for a valorisation grant for the technological and commercial valorisation of the system was delivered at STW.

Currently the supply chain is being organized and a geographical and market focus is being developed. This will lead to the first demonstration project and shall eventually result in the market introduction of Elemental Water Makers. Using the network and knowledge of YES!Delft, TU Delft and the Dutch water sector should enable successful market introduction in countries far abroad. With the water sector repeatedly calling out to focus on working together, innovation and getting young people involved, this could become a suitable showcase.

De watervoetafdruk: instrument voor overheden en bedrijven

Arjen Y. Hoekstra
Universiteit Twente

Een toenemend aantal bedrijven erkent dat vermindering van de watervoetafdruk deel uitmaakt van maatschappelijk verantwoord ondernemen, net als het verminderen van de CO_2-voetafdruk. Vooral bedrijven in de voedings- en drankensector en de kledingindustrie zien het risico van zoetwatertekorten in hun operaties of productieketen. Wat is een brouwerij zonder veilige watervoorziening of hoe kan een bedrijf in spijkerbroeken overleven zonder duurzame watervoorziening van de katoenvelden? Ook investeerders beginnen in te zien dat een duurzame watervoorziening een voorwaarde is voor duurzame bedrijfsvoering. En overheden beginnen te beseffen dat het managen van de watervoetafdruk in hun beheersgebied de sleutel is tot het managen van waterschaarste. Dit artikel gaat in op de recente ontwikkelingen.

De watervoetafdruk is familie van de ecologische en de koolstofvoetafdruk, maar geeft het gebruik van zoetwater in plaats van het gebruik van land of fossiele energie. De watervoetafdruk van een product is het volume zoetwater dat wordt gebruikt om het product te produceren, gemeten over de verschillende stappen van de productieketen. De watervoetafdruk meet de volumes water die worden verbruikt of vervuild en bestaat uit een blauwe, groene en grijze component. De blauwe watervoetafdruk meet de consumptie van oppervlaktewater en grondwater. 'Consumptie' verwijst naar het deel van het water dat wordt onttrokken aan een stroomgebied en daar niet terugkeert; het gaat dus om water dat verdampt, in een product gaat zitten of naar elders wordt getransporteerd. Processen die water gebruiken maar niet 'consumeren' (zoals bij gesloten koelwatersystemen) hebben dus geen blauwe watervoetafdruk. De groene watervoetafdruk meet de hoeveelheid regenwater die wordt verbruikt en is vooral relevant in de landbouw. De grijze watervoetafdruk is een indicator van watervervuiling en wordt berekend als de hoeveelheid water die nodig is om verontreinigende stoffen op te nemen om te garanderen dat aan de waterkwaliteitsnormen wordt voldaan. De grijze watervoetafdruk is een functie van de vracht aan verontreinigende stoffen naar het grond- of oppervlaktewater (diffuus of in de vorm van een effluent). Bij goed gezuiverd effluent is de grijze watervoetafdruk nul.

De ruimtelijke en temporele component van de watervoetafdruk is erg belangrijk, aangezien de waterbeschikbaarheid en assimilatiecapaciteit voor vervuilende stoffen per stroomgebied

verschilt. De watervoetafdruk in een stroomgebied is niet duurzaam wanneer deze uitstijgt boven de natuurlijke grenzen van het stroomgebied ten aanzien van waterbeschikbaarheid en assimilatiecapaciteit. In een recente studie hebben we laten zien dat één op de twee stroomgebieden in de wereld kampt met 'ernstige waterschaarste' (blauwe watervoetafdruk twee keer groter dan blauwe waterbeschikbaarheid) gedurende minstens één maand per jaar (Hoekstra e.a., 2012).

Voedsel

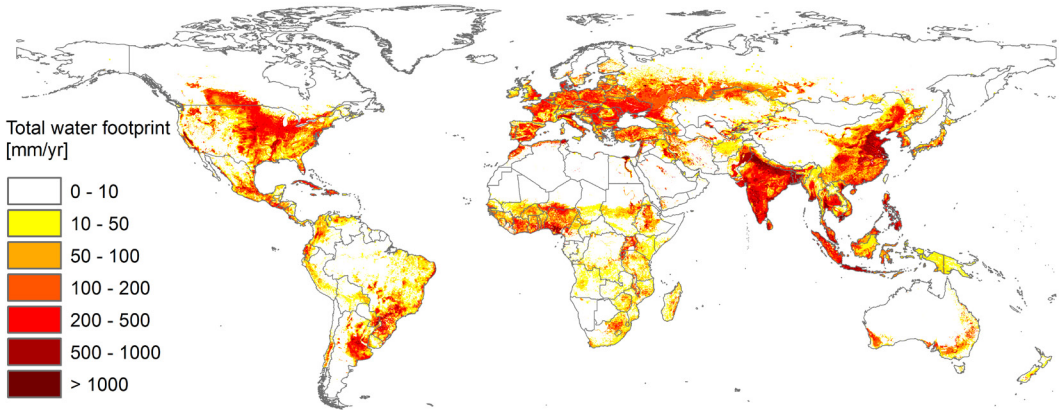
Eén onderdeel in de totale watervoetafdruk van de mensheid springt er uit: de watervoetafdruk van voedsel. Ongeveer 85% van de mondiale watervoetafdruk is gerelateerd aan de consumptie van landbouwproducten; 10% heeft betrekking op industriële producten en slechts 5% op huishoudelijk waterverbruik (Hoekstra en Mekonnen, 2012). Dit betekent dat als consumenten hun watervoetafdruk willen verkleinen, ze beter kritisch kunnen kijken naar wat ze kopen in de supermarkt, dan naar hun watergebruik in de keuken, badkamer en tuin. Dat geldt al helemaal in Nederland, waar het huishoudelijk watergebruik slechts 1% bijdraagt aan de watervoetafdruk van de gemiddelde consument, en waar water gedurende het grootste deel van het jaar niet schaars is. Veel van de dingen die we in de supermarkt kopen zijn geïmporteerd uit gebieden met grote waterschaarste gedurende op zijn minst een deel van het jaar. Denk aan aardbeien uit Zuid-Spanje, rijst uit Thailand, suikerriet en soja uit Brazilië en katoen uit India of Pakistan (Figuur 1).

Mondiaal probleem

De watervoetafdruk van de mensheid is een mondiaal probleem. Hoewel in veel landen het meeste voedsel nog steeds afkomstig is uit het land zelf, worden grote hoeveelheden levensmiddelen en diervoeders internationaal verhandeld, en in toenemende mate ook biobrandstoffen. Duurzaam beheer van zoetwater kan dientengevolge niet langer worden beschouwd als een probleem voor individuele landen. De watervoetafdruk van Europa – de totale hoeveelheid water gebruikt voor de productie van alle grondstoffen verbruikt door Europese burgers – ligt bijvoorbeeld voor 40% buiten Europa. Europa is een grote importeur van gewassen zoals suiker en katoen, twee van de meest dorstige gewassen, en importeert ook grote hoeveelheden diervoeder uit Zuid-Amerika. Europese consumptie is dus sterk afhankelijk van waterbronnen buiten Europa. Water is daarmee een belangrijke geopolitieke factor. Met *Blueprint Water* zet de EU waterschaarste dan ook niet voor niets hoger op de politieke agenda. Naar verwachting zal een toenemend aantal landen Spanje volgen, dat 'water footprint assessment' verplicht stelt bij het opstellen van stroomgebiedsplannen. Bij het verminderen van de watervoetafdruk van ons huidige consumptiepatroon zullen echter niet alleen overheden een cruciale rol spelen, maar ook bedrijven, investeerders en consumenten.

Rol bedrijfsleven

Bedrijven kunnen om te beginnen de watervoetafdruk van hun eigen operaties tot bijna nul reduceren, door verdampingsverliezen te vermijden en afvalwater



Figuur 1 - De watervoetafdruk van de mensheid. Bron: Hoekstra en Mekonnen (2012).

volledig te recyclen of schoon te lozen. Alleen het water dat nodig is als onderdeel van een product zal noodzakelijkerwijs aan een stroomgebied onttrokken moeten worden. Als tweede stap kunnen bedrijven de watervoetafdruk in hun keten verminderen door bewuste inkoop. Grote bedrijven kunnen daarnaast afspraken met leveranciers maken en hen daarbij helpen. Een bedrijf als Coca-Cola is bijvoorbeeld één van de grootste suikerafnemers in de wereld en kan dus een rol spelen in de verkleining van de watervoetafdruk in de suikerproductie in de wereld. Daarnaast kunnen bedrijven samenwerken bij het opnemen van de watervoetafdruk in de etikettering van producten, bij het ontwikkelen en toepassen van een water footprint benchmark per product en het formuleren van watervoetafdruk-reductiedoelstellingen per product. Investeerders zoals de International Finance Corporation beginnen criteria ten aanzien van watergebruik en waterrisico's op te nemen in hun investeringsafwegingen.

Internationale standaard

Om vergelijking tussen verschillende water footprint studies mogelijk te maken, hebben milieuorganisaties, bedrijven en de Verenigde Naties samengewerkt aan een internationale standaard voor Water Footprint Assessment (Hoekstra e.a., 2011). De standaard vraagt nadrukkelijk om meer dan het in kaart brengen van de watervoetafdruk. Daarnaast noodzakelijk zijn een duurzaamheidsassessment en een onderzoek naar welke componenten van de watervoetafdruk zouden kunnen en moeten worden gereduceerd.

Mogelijkheden voor consumenten

Consumenten hebben in principe twee opties voor het verminderen van hun watervoetafdruk buitenshuis. Het consumptiepatroon veranderen is één optie. Minder vlees eten of helemaal vegetarisch worden is bijvoorbeeld heel effectief, want 22% van de watervoetafdruk van de gemiddelde wereldburger is het gevolg van vleesconsumptie. Het vermijden van katoenen kleding bespaart ook veel water. Maar aangezien consumenten maar in beperkte mate bereid blijken hun consumptiepatroon aan te passen aan milieuoverwegingen, liggen hier beperkingen. Een tweede optie is dat consumenten bij een keuze tussen twee dezelfde producten de grootte van de watervoetafdruk laten meespelen in de keuze welk merk ze aanschaffen. Dit vereist echter wel dat consumenten de juiste informatie hebben om die keuze te maken. Aangezien dit soort informatie over het algemeen niet beschikbaar is, vraagt dit op zijn beurt dat bedrijven producttransparantie creëren en dat overheden zulke transparantie bevorderen of zelfs afdwingen. Momenteel zijn we ver verwijderd van een situatie waarin we bijvoorbeeld de watervoetafdruk van de ene spijkerbroek kunnen vergelijken met die van een andere. De watervoetafdruk van katoenen kleding verschilt sterk tussen verschillende productiegebieden en productiesystemen (bijvoorbeeld wel of geen irrigatie, wel of geen gebruik van pesticiden). Het verschil tussen de laagste en de hoogste watervoetafdruk voor eenzelfde soort product verschilt over het algemeen minstens een factor tien. Er is dus een hoop winst te behalen als consumenten, bedrijven en overheden elkaar vinden in de doelstelling de watervoetafdruk van producten te verminderen, en uiteraard in die gebieden waar dat het meest urgent is.

Literatuur

1. Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. en Mekonnen, M.M. (2011) The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
2. Hoekstra, A.Y. en Mekonnen, M.M. (2012) The water footprint of humanity, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(9): 3232–3237.
3. Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E. en Richter, B.D. (2012) Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability, PLoS ONE 7(2): e32688.

Waternet Watercyclus Innovatie Prijs

Tijdens de Vakantiecursus 2013 zal voor de 3e keer de Watercyclus Innovatie Prijs uitgereikt worden. TU Delft en Waternet hebben deze prijs ingesteld om het onderzoek op het gebied van de stedelijke watercyclus een impuls te geven.

De prijs zal 1 keer per 2 jaar worden uitgereikt door de directeur van Waternet tijdens de Vakantiecursus aan de TU Delft. De prijs wordt gesponsord door Waternet en bestaat uit een geldbedrag van 10.000 euro, te besteden aan studiereizen en verdere wetenschappelijke vorming van de winnaar.

Uitreiking van de Waternet Watercyclus Innovatie Prijs in 2011.

Voor de prijs komen kandidaten in aanmerking die in de voorgaande 2 jaren (voor deze 3e keer dus in 2011 en 2012) hun promotie over een onderwerp op het gebied van de stedelijke watercyclus met succes hebben afgerond aan de TU Delft en UNESCO-IHE.

Criteria voor het verlenen van de prijs zijn:

1. Wetenschappelijke kwaliteit, blijkend uit aantal en kwaliteit van de peer-reviewed papers en het al of niet behalen van het predikaat "cum-laude".
2. Praktisch nut, blijkend uit innovatieve toepassingen in de watersector
3. Doorbraken in de watercyclus, blijkend uit vernieuwende concepten die integrale oplossingen in de watercyclus mogelijk maken.

De prijswinnaar zal geselecteerd worden door de jury, bestaande uit Prof. Rietveld (TUD, vz), Prof. Van Lier (TUD), en Prof. Van der Hoek (Waternet). De prijs zal op 11 januari 2013 tijdens de Vakantiecursus worden uitgereikt door Ir. Roelof Kruize, directeur Waternet.

Dr.ir. Doris van Halem

Subsurface iron and arsenic removal for drinking water treatment in Bangladesh

Arsenic contamination of shallow tube well drinking water in Bangladesh is an urgent developmental and health problem. This problem disproportionately affects the rural poor, i.e., those most reliant on this source of drinking water. A novel household water treatment and storage (HWTS) technology, Subsurface Arsenic Removal (SAR; van Halem et al., 2010a), relies on the existing technology of Subsurface Iron Removal (SIR), or in-situ iron removal. The principle of SIR is that aerated water is periodically injected into an anoxic or anaerobic aquifer through a tube well, partially displacing the original Fe^{2+}-containing groundwater. The O_2-rich injection water oxidizes the adsorbed Fe^{2+} in the subsurface environment around the tube well. The flow direction is reversed during groundwater abstraction, resulting in adsorption of dissolved Fe^{2+} (and arsenic) on the oxidized Fe^{3+} surface. Subsequently groundwater with reduced iron and arsenic concentrations can be abstracted. However, for SIR/SAR to be considered a viable arsenic mitigation tool, there is the need for better understanding of the (subsurface) processes determining the sustainable operation in diverse geochemical settings.

Experiences in the Netherlands have shown that pH is the most pronounced water quality parameter determining the efficacy of SIR. Apart from iron, it was measured that also manganese, phosphate and arsenic were retained in the aquifer. In general, successive cycles resulted in improved removal efficacies, illustrating the technology's potential for safe and long-term operation. For hand pump application, the injection volumes were reduced from over 1,000m^3 to below 1m^3. During the field study in Manikganj (Bangladesh) the system gained in efficiency after multiple injection-abstraction cycles, and after the injection of water with higher O_2 concentrations (van Halem et al., 2010b). The injection-abstraction cycles were simulated in sand column experiments, where the observed (stoichiometric) 1:4 ratio for O_2 consumption and Fe^{2+} removal confirmed the occurrence of the adsorptive-catalytic oxidation mechanism. Also, O_2 consumption and subsequent Fe^{2+} removal were enhanced in the columns by accumulated Fe^{3+} deposits. Nevertheless, the adsorptive-catalytic oxidation mechanism could not account for the efficacy increase after multiple cycles (van Halem et al., 2010c). Apart from adsorptive-catalytic oxidation, also cation exchange has been proposed to occur during injection-abstraction cycles. In sand column experiments with synthetic and natural groundwater it was found that cation exchange (Na^+-Fe^{2+}) occurs during subsurface iron removal (van Halem et al., 2012). One of the concerns for sustainable application of SIR is the risk of clogging of the aquifer by long-term operation of SIR. Therefore sediments nearby 12-year-old SIR wells were characterized for their chemical composition. Whether it was due to preferred flow paths or geochemical mineralogy conditions;

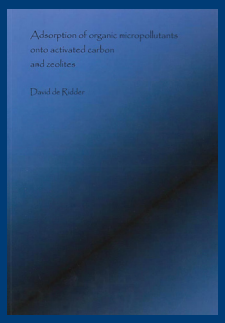
Construction and monitoring of test facility in Manikganj, Bangladesh

subsurface iron removal clearly favoured certain soil layers (van Halem et al., 2011). The majority of accumulated iron was characterized as crystalline, suggesting that precipitated amorphous iron oxides have transformed to iron oxides of higher crystallinity.

For arsenic removal, the hand pump field study in Bangladesh did not prove to be very effective. Arsenic (as As(III)) retardation was limited and breakthrough of 10 $\mu g.L^{-1}$ (provisional guideline of the World Health Organization) was observed before V/Vi=1, which corresponds to the moment of groundwater arrival at the well. Unlike iron removal, subsurface arsenic removal did not increase after multiple cycles, illustrating that the process which is responsible for the effective iron removal did not promote an equally effective co-removal of As(III). During injection-abstraction cycles in sand columns with a synthetic Fe^{2+}-As(III)-O_2 system it was possible to reach significantly better arsenic removal, which can be explained by the competition with other anions in natural groundwater. In the presence of 0.01mM phosphate, 0.2mM silicate, or 1mM nitrate, arsenic removal was seriously inhibited, illustrating the vulnerability of this SAR technology in diverse geochemical settings (Moed et al., 2012).

This vital observation, however, applies not just for SAR but for the majority of (arsenic) HWTS solutions. In general, no household water treatment option has been designed to suit all conditions, illustrating the urgent need to investigate the (technical) boundary conditions in which a HWTS solution can succeed. In favourable groundwater composition conditions (low competing anion concentrations, high pH), the subsurface removal of arsenic may still be feasible. However, the decentralized character of HWTS does not promote extensive knowledge on the groundwater composition at hand pump level, making community- and/or municipality scale facilities more attractive.

Dr.ir. David de Ridder



Adsorption of organic micropollutants onto activated carbon and zeolites

Menselijk handelen laat zijn sporen achter. Regelmatig worden restanten van pesticiden, geneesmiddelen, verzorgingsproducten, vlamvertragers, oplosmiddelen en meer recent ook narcotica aangetroffen in rivierwater. Hoewel de concentraties daarvan zo laag zijn dat een toxische werking niet kan worden aangetoond, streven drinkwaterbedrijven ernaar om deze stoffen te verwijderen. De verwijderingeffectiviteit van veel stoffen is niet bekend.
Mijn thesis richt zich op de meest voorkomende zuiveringstechniek in drinkwaterzuivering: actieve koolfiltratie. Het doel is om de dominante verwijderingsmechanismen vast te stellen, en de hierbij behorende eigenschappen van de actieve kool en de verontreinigingen. Ook is de effectiviteit van zeolieten als alternatief adsorbent voor actieve kool onderzocht.

In oriënterend onderzoek is bevestigd dat hydrofobe partitie (uitgedrukt in de log D van een stof) een belangrijk adsorptiemechanisme is, wat algemeen bekend is. Voor stoffen die hydrofieler zijn, is de aanwezigheid of afwezigheid van functionele groepen (en dus de mogelijkheid om waterstofbruggen te vormen met actieve kool) minstens net zo belangrijk, en wordt steeds belangrijker voor meer hydrofiele stoffen. Hier wordt in bestaande literatuur nauwelijks rekening mee gehouden.

Hieruit volgt dat ook op actieve kool functionele groepen aanwezig moeten zijn, en dat de opvatting in bestaande literatuur dat aanwezigheid van deze functionele groepen nadelig is voor stofadsorptie omdat ze ook adsorptie van water bevorderen niet altijd juist is.

Op basis van calorimetrie en opname van waterdamp bleek dat het aantal functionele groepen op actieve kolen te relateren was aan de hoeveelheid opgenomen waterdamp, maar dat de interactie-energie van deze groepen met water, en dus de mate waarmee water adsorptiecompetitie geeft met de stoffen, daar onafhankelijk van was. Hexanol werd sterker geadsorbeerd dan 1,3-dichloorpropaan. Beide stoffen zijn even hydrofoob, maar hexanol kan waterstofbruggen vormen, en 1,3-dichloorpropaan niet. Met calorimetrie is een sterkere interactie-energie tussen hexanol en actieve kool gemeten, wat de bevindingen in het oriënterende onderzoek bevestigd.

Vervolgens is een thermodynamisch model opgezet wat gebaseerd is op van der Waals en zuur-base interacties (waaronder ook waterstofbruggen) tussen actieve kool, stof, en water. Hierbij worden de interacties actieve kool-water, actieve kool-stof en stof-water meegenomen. Hieruit wordt de Gibbs vrije energie berekend van de interactie van stof met actieve kool in de

waterfase, en dit is gerelateerd aan de gemeten stofbelading op actieve kool in evenwicht. Voor 16 stoffen op 6 verschillende actieve kolen is hierbij een sterke relatie gevonden.

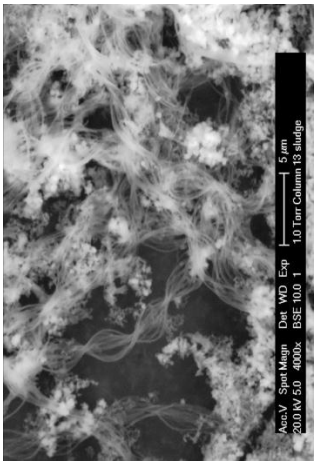
Zeolieten zijn mineralen met een zeer regelmatige structuur, waardoor stoffen selectief kunnen worden geadsorbeerd. Bij waterzuivering is hierbij het grote voordeel dat natuurlijk organisch materiaal (NOM) – dat bij actieve kool vaak sterke adsorptiecompetitie geeft – uitgesloten kan worden. Hydrofobe zeolieten bleken sommige stoffen effectiever te kunnen adsorberen dan actieve kool, en vooral de stoffen met afmetingen van vergelijkbare grootte als de zeolietporiën werden goed geadsorbeerd. Zeolieten lijken een effectieve "op maat gemaakte" adsorbent voor stoffen van een bekende grootte, als aanvulling op actieve kool die een breder spectrum aan stoffen kan verwijderen.

Dr.ir. Weren de Vet

Biological drinking water treatment of anaerobic groundwater in trickling filters

Sometimes, you may feel that you've really got it wrong, that you made a crucial mistake, but you can't put your finger on it. That all you have learned so far, conflicts with your new findings. I experienced this halfway my PhD research for my drinking water company Oasen and the contradictions made me despair for weeks.

Oasen often uses trickling filters to treat anaerobic groundwater with relatively high concentrations of methane, iron, ammonium and manganese. Trickling filters are highly efficient, multifunctional systems able to strip methane, precipitate iron and manganese and convert ammonium. Ammonium removal is often troublesome. I started my research in 2006 on the interactions of biological nitrification process and iron removal, the latter being presumed in literature and practice to be a strictly chemical process in trickling filters. We studied the effect of the two well-described chemical processes for iron removal on nitrification in a 14 columns' setup. (The same great columns' setup is currently still being used for research into the biodegradation of micro pollutants). It produced some startling results. Not only was chemical iron removal very slow at Oasen Lekkerkerk even at pH 7.7 and oxygen saturation of the water, but we also we found strange fluffy iron precipitates (see on the right).



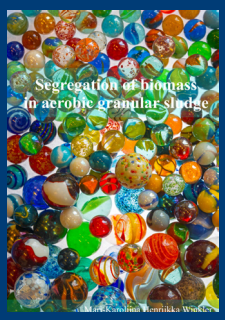
In the meantime, we developed molecular (DNA) techniques, not only for ammonia-oxidizers, but also for the well described iron-oxidizing *Gallionella* bacteria. These bacteria are generally described as microaerophilic, and were detected in high numbers in a well for subsurface aeration, a poorly understood in situ process used to stimulate nitrification. But let's not go into that now; let's focus on the main point. We also found *Gallionella* in high numbers (by qPCR) in the columns' setup and in full-scale trickling filters at several Oasen plants.

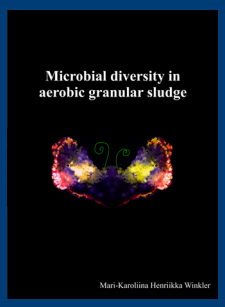
So the impossible was confirmed: biological iron oxidation may be important in drinking water production under well aerated and (slightly) alkaline conditions. In 2012 this will be confirmed at other companies in the Netherlands. One of the many (exciting!) biological processes taking place in (ground)water treatment. Life is everywhere.

So back to the original question: how will iron removal influence nitrification? A new hypothesis (and possible explanation) has been formed. All life needs trace nutrients, such as phosphate and trace metals. Biogenic formed iron (and manganese?) precipitates may remove these trace elements almost complete, leaving other microorganisms to starve. We proved phosphate limitation in nitrification batch experiments with water from malfunctioning filters at Lekkerkerk, and the effectiveness of dosing phosphate there. Full-scale, the dosing of phosphate to groundwater filters is still not always effective and further research is required.

On the best side, we have been able to show (in practice over a 1½ year period) that biological iron oxidation is a more efficient iron removal process than the chemical process in many cases, resulting in up to 10 times more compact design and construction. Not only in the conventional submerged filters, but also in (dry) trickling filters, capable of stripping methane (and other VOC).

Dr.ir. Mari Winkler





Magic granules

Segregation of biomass in aerobic granular sludge

Mari Winkler showed that, in granular sludge, there is a biomass segregation in the sense that granules of different size and density are stratified as a function of depth in sludge bed (Bassin et al. 2011, Winkler et al. 2011a, Winkler et al. 2011b). Bigger and denser granules will settle faster while smaller lighter granules will settle slower by which a particle-density provoked vertical segregation of biomass will occur, which is influenced by the density of bacteria (Winkler et al 2012f) as well as the viscosity and density changes of water at different temperature and salt conditions (Winkler et al. 2012a). Because of bio-physico-chemical reasons, different microorganisms will preferably grow in granules of a specific size. This was proven in two different reactor types (CANON[1] and EBPR[2]). As the larger granules are typically at the bottom of the reactor and the smaller granules at the top, it was proposed to control the sludge retention time (SRT) of bacteria by selectively removing one specific microbial group, a concept which was called selective sludge removal. Selective sludge removal of top or bottom biomass was demonstrated to be an efficient tool to engineer microbial populations within wastewater treatment systems, implying an additional degree of freedom in regulating microbial populations and hence improve effluent quality (Bassin et al. 2011, Winkler et al. 2011a, Winkler et al. 2011b, Winkler et al 2012f). She furthermore integrated the organotrophic capability of Anammox bacteria in aerobic granular sludge using wastewater with a low COD/N ration at ambient temperatures hence enabling the integration of this technology for mainstream wastewater treatment (Winkler et al 2012e; Winkler et al 2012g).

Microbial diversity in aerobic granular sludge

During her PhD, Mari Winkler correlated community changes (through fingerprinting techniques) with environmental changes (from operational data such as e.g. nitrogen removal). The finger printing method of choice was denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and was used to visualize community changes over time. The results obtained with these gels were then translated into numerical matrices, to describe population shifts in a mathematical way (Winkler et al. 2012b). In addition, she showed that in aerobic granular sludge the nitrite oxidation capacity (NOB[3]) was 3 fold higher than the ammonium oxidizing capacity (AOB[4]) suggesting that the growth of *Nitrobacter* within aerobic granular sludge (and not in flocks), was partly uncoupled from the lithotrophic nitrite supply of AOB. Based on these findings, two hypotheses were considered: either *Nitrobacter* grew mixotrophically by acetate-dependent dissimilatory nitrate reduction or a nitrite oxidation/nitrate reduction loop occurred in which denitrifiers reduced nitrate to nitrite supplying additional nitrite for the NOB apart from the AOB (Winkler et al. 2012c). Furthermore, through comparative studies of effluent and influent sludge, she demonstrated that the SRT within several

reactor systems is different for each bacterium. This insight is novel as the SRT within bioreactor systems was commonly assumed to be same for all bacteria. In order to be able to measure the individual SRT of bacteria, Mari developed a protocol, based on molecular tools (qPCR) and combined it with fundamental calculations from environmental engineering (Winkler et al. 2012d).

[1] Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite = CANON (Nitrogen removal via aerobic ammonium oxidizing bacteria and anaerobic ammonium oxidizing bacteria)
[2] Enhanced biological phosphate removal = EBPR
[3] Nitrite oxidizing bacteria = NOB (note that *Nitrobacter* is a NOB)
[4] Ammonium oxidizing bacteria = AOB

Jaap van der Graaf Prijs

Op 11 januari 2013 zal voor de vierde keer de Jaap van der Graaf-prijs worden uitgereikt. De prijs wordt toegekend aan een student of onderzoeker, die in 2012 het beste Engelstalige artikel over de behandeling van afvalwater heeft geschreven. De onderscheiding bestaat uit een geldbedrag van €5.000,- en een glasobject en zal jaarlijks worden toegekend.

Uitreiking van de Jaap van der Graaf Prijs in 2012.

Prof.ir. J.H.J.M. (Jaap) van der Graaf was vanaf 1989 hoogleraar in de Behandeling van Afvalwater aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft en van 1988 tot 2003 algemeen directeur van Witteveen+Bos. Op 13 mei 2009 heeft Van der Graaf afscheid genomen als hoogleraar. Ter ere hiervan is door Witteveen+Bos besloten de Jaap van der Graaf-prijs in te stellen. De doelstelling is om de Nederlandse expertise op het gebied van behandeling van afvalwater verder te profileren. Het geldbedrag dient in het kader hiervan te worden aangewend. Dit kan zijn in de vorm van een studiereis of promotionele activiteiten.

Wetenschappelijke artikelen dienen, om in aanmerking te kunnen komen voor de prijs, te voldoen aan de volgende voorwaarden:

- het onderwerp heeft betrekking op de inzameling of behandeling van afvalwater;
- de auteur dient universitair student te zijn of werkzaam te zijn binnen de Nederlandse beroepspraktijk;
- het Engelstalige artikel moet gepubliceerd zijn in een vaktijdschrift uit 2012;
- het onderwerp moet in de praktijk toepasbaar zijn.

De deelname staat open voor auteurs van alle nationaliteiten.

Een onafhankelijke jury zal bepalen aan wie de prijs wordt toegekend. De jury bestaat uit:

- prof.dr.ir. J.B. van Lier, TU Delft/UNESCO-IHE (voorzitter)
- ir. J. Kruit, Paques
- ir. A.W.A. de Man, Waterschapsbedrijf Limburg
- dr.ir. A.F. van Nieuwenhuijzen, Witteveen+Bos
- dr.ir. H. Temmink, WUR/Wetsus

TU Delft

Witteveen + Bos

Methane emission during municipal wastewater treatment

Matthijs R.J. Daelman
Ellen M. van Voorthuizen
Udo G.J.M. van Dongen
Eveline I.P. Volcke
Mark C.M. van Loosdrecht

Municipal wastewater treatment plants emit methane. Since methane is a potent greenhouse gas that contributes to climate change, the abatement of the emission is necessary to achieve a more sustainable urban water management. This requires thorough knowledge of the amount of methane that is emitted from a plant, but also of the possible sources and sinks of methane on the plant. In this study, the methane emission from a fullscale municipal wastewater facility with sludge digestion was evaluated during one year. At this plant the contribution of methane emissions to the greenhouse gas footprint were slightly higher than the CO2 emissions related to direct and indirect fossil fuel consumption for energy requirements. By setting up mass balances over the different unit processes, it could be established that three quarters of the total methane emission originated from the anaerobic digestion of primary and secondary sludge. This amount exceeded the carbon dioxide emission that was avoided by utilizing the biogas. About 80% of the methane entering the activated sludge reactor was biologically oxidized. This knowledge led to the identification of possible measures for the abatement of the methane emission.

Verschenen in: Water Research 46: 3657-3670, 2012

Impact of temperature on raw wastewater composition and activated sludge filterability in full-scale MBR systems for municipal sewage treatment

P. Krzeminski
A. Iglesias-Obelleiro
G. Madebo
J.M. Garrido
J.H.J.M. van der Graaf
J.B. van Lier

The main objective of this study was to investigate the influence of seasonal temperature fluctuations on raw domestic wastewater composition and MBR sludge filterability. The influent and sludge samples were collected from a full-scale MBR in Heenvliet. All samples were analyzed in terms of filterability, particle size distribution, respirometry, fractionation and were further characterized by an extensive set of physicochemical measurements. Typical seasonal fluctuations and deterioration of activated sludge filterability during low temperature periods were observed. Filterability deterioration at low temperatures was linked to the incoming organic load, reduced MBR biomass concentrations, increased VSS/TSS ratio and reduced biodegradation of wastewater in the mixed liquor. Biological activity of the biomass was concomitantly decreased with temperature to reach a minimum during the winter period. Results show that the colloidal and soluble fraction (<1 μm) represents the majority of the constituents, contains most of the COD, and plays an important role in the membrane resistance increase.

Verschenen in: Journal of Membrane Science 423–424, 348–361, 2012

Sieving wastewater - Cellulose recovery, economic and energy evaluation

C.J. Ruiken
G. Breuer
E. Klaversma
T. Santiago
M.C.M. van Loosdrecht

Application of fine-mesh sieves (<0.35 mm) as pretreatment for municipal biological wastewater treatment gives an opportunity to recover resources and increase sustainability of wastewater treatment processes. Sieves are traditionally used for single stage mechanical treatment (typical mesh of 0.35 mm) or in combination with an MBR (typical mesh >0.7 mm). When sieves with a mesh of 0.35mmare used on raw sewage we observed that cellulose fibres mainly originating from toilet paper are removed efficiently from the influent with a high recovery and purity. The application of sieves as pretreatment for conventional activated sludge processes has been evaluated based on pilot plant research at three WWTPs in the Netherlands. With sieving applied to the dry weather flow only the overall energy usage of the WWTP including sludge treatment can be decreased by at least 40% with a payback time of 7 years.

Verschenen in: Water Research | in press | 2012

Eerdere uitgaven

Reeds in onderstaande volgorde in boekvorm verschenen voordrachten van de volgende cursussen in Drinkwatervoorziening:

1. Filtratie; 2. Vervaardiging van buizen voor transport- en distributieleidingen; 3. Winning van grondwater; 4. Waterzuivering; 5. Hygiënische aspecten van de drinkwatervoorziening; 6. Het transport en de distributie van leidingwater; 7. Keuze, aantasting en bescherming van materialen voor koud- en warmwaterleidingen; 8. 9. en 10. Enige wetenschappelijke grondslagen der waterleidingtechniek I, II, en III; 11. Radio-activiteit; 12. Grondwater; 13. De Rijn; 14. Nieuwe ontwikkelingen in de waterleidingtechniek op physisch, chemisch en biologisch gebied; 15. De watervoorziening en de industrie; 16. Gebruik van moderne statistische methoden; 17. Kunstmatige infiltratie; 18. De biologie en de watervoorziening; 19. Snelfiltratie; 20. Physische technologie en de waterzuivering; 21. Van goed naar beter water; 22. Het ontwerpen van waterzuiveringsinstallaties; 23. Kwaliteitsbeheersing bij de openbare drinkwatervoorziening; 24. De Maas; 25. De openbare watervoorziening in de maatschappij van morgen; 26. Watertransport door leidingen; 27. Regel- en stuurtechniek in het waterleidingbedrijf; 28. De winning en aanvulling van grondwater en beïnvloeding van de omgeving; 29. Nieuwe zuiveringstechnieken; 30. Distributienetten en binnenleidingen; 31. Drinkwater in breder verband; 32. De drinkwatervoorziening in ontwikkelingslanden; 33. Toxicologische aspecten van drinkwater; 34. Microbiologie bij de waterbereiding; 35. Europees milieubeleid en de gevolgen voor de waterleidingbedrijven; 36. Systeembenadering en modellering in de waterhuishouding; 37. Bedrijfsmatige aspecten van winning en zuivering; 38. Bedrijfsmatige aspecten van transport en distributie; 39. Informatica, automatisering en computertoepassingen; 40. Radio-activiteit en de drinkwatervoorziening; 41. Effecten van milieuverontreinigingen op de waterkringloop; 42. Recente relevante ontwikkelingen met betrekking tot de drinkwatervoorziening; 43. Technische maatregelen voor kwaliteitszorg voor grondstof en eindprodukt; 44. Beschouwingen met betrekking tot het VEWIN-Milieuplan; 45. Grondwater of oppervlaktewater?; 46. Een glasheldere toekomst?; 47. Bouwen voor de 21e eeuw; 48. Drinkwater in Nederland: natuurlijk het beste?; 49. Niet alleen drinkwater?!; 50. Uitdagingen voor de drinkwatersector; 51. Strategische ontwikkelingen; 52. Kosten of kwaliteit?

Reeds in onderstaande volgorde in boekvorm verschenen voordrachten van de volgende cursussen in Riolering en Afvalwaterbehandeling:

1. De afvoer van afvalwater naar zee; 2. Slibverwerking; 3. De technologie van het beluchtingsproces; 4. Recreatie en waterverontreiniging; 5. Afvalwater thans en in de toekomst; 6. De oxydatiesloot; 7. Rioleringen - bijzondere onderwerpen; 8. Centralisatie van behandeling van afvalwater en slib; 9. Vooruitgang in de zuiveringstechniek; 10. Doelstellingen en optimalisatie; 11. Beluchting; 12. Milieu en economie in het spanningsveld van onze maatschappij; 13. De belasting van het milieu door fosfaten en verspreide lezingen; 14. De Rijn; 15. Milieueffectrapportage; 16. Slib opnieuw bekeken; 17. Wat de industrie doet; 18. Voordrachtenbundel 18e Vakantiecursus in Riolering en Afvalwaterbehandeling; 19. Nieuw ontwikkelingen in de afvalwaterketen.

Reeds in onderstaande volgorde in boekvorm verschenen voordrachten van de volgende gecombineerde cursussen in Drinkwatervoorziening, Riolering en Afvalwaterbehandeling:

53. Internationale ontwikkelingen in de waterketen; 54. Gezondheid en (water)kwaliteit; 55. (Net)werken; 56. Water zonder grenzen; 57. Door water verbonden; 58. Risicomanagement en/of innovatie?; 59. Grenzen verleggen; 60. Water and sanitation for all; 61. Nieuwe uitdagingen; 62. Energie uit water: hype of kans?; 63. Water: crisis of nieuwe economie?; 64. Water NL naar de Top: excelleren in tijden van bezuiniging!