

BTO 2016.212(s) | December 2016

BTO rapport

Opbrengsten van BTO
Verkennend Onderzoek
2013-2016

BTO

Opbrengsten van BTO Verkennend Onderzoek 2013-2015

BTO 2015.073 | November 2015

Opdrachtnummer

400695

Projectmanager

Bart Schalkwijk

Opdrachtgever

BTO Directeurenoverleg

Kwaliteitsborger

Gertjan Medema

Verzonden aan

BTO-participanten en is na een jaar openbaar

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie
Bart Schalkwijk
T 030 6069632
E bart.schalkwijk@kwrwater.nl

Keywords
Verkennend Onderzoek

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



BTO 2016.212(s) | December 2016 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Inhoud	2
1 Inleiding	4
1.1 Verkennend Onderzoek in het BTO	4
1.2 Invulling en opbrengsten 2013-2016	4
2 Projecten 2016	6
2.1 Water Wise Urban Concepts – Phase 2	6
2.2 Hydroinformatics: Road map to the future	9
2.3 Methodenverkenningen	10
2.4 Communicatiepilots	13
2.5 Kansen voor BTO WiCE	14
3 Thinking Ahead	19
3.1 Water Wise Concepts – Phase 1	19
3.2 Trends en relevante kennisvragen rond urban hydroinformatics en 'big data' voor de drinkwatersector	21
3.3 Visie op invulling onderzoek naar sensoren binnen BTO en KWR	23
3.4 Initial evaluation of innovative electrochemical sensor technology for pH	24
3.5 Scouten wetenschappelijke ontwikkelingen	26
4 Sustainable Water Cycle	28
4.1 Inventarisatie concentraties en herkomst van methaan in voor drinkwater onttrokken grondwater	28
4.2 Preparedness of the water sector	30
4.3 Simdeum-Pro: Simulation of warm water demand and its related energy	31
4.4 De Multiput brengt drinkwaterwinning onder controle	32
4.5 Drinkwaterbedrijven in de water-energie-voedsel nexus	33
4.6 Verkenning mogelijkheden van Momentmethode voor lokale modellen	34
4.7 Schaliegas en drinkwater: betrouwbaarheid	36
4.8 Ondergrondse verwijdering OMV-DEMEAU	40
5 Enabling Technologies	42
5.1 Autonome inspectierobots	42
5.2 Digitale droplet PCR	44
5.3 De mogelijkheden voor ondergrondse grondwaterzuivering rondom putten	46
5.4 CompActief Kool	48

5.5	Actief-koolfilters: Operatie geslaagd, dokter overleden?	49
5.6	Affiniteitsadsorptie verwijdering organische microverontreinigingen	51
5.7	CT-scan voor begraven leidingen	53
5.8	Een nieuwe kans voor ozon? Geavanceerde oxidatie op basis van O ₃ /MnO ₂ voor drinkwaterbehandeling	54
5.9	qPCR voor Fusarium	55
5.10	Oxidatie, coagulatie en desinfectie in één stap met stabiel ferraat?	57
5.11	Verkeersbelasting en leidingfalen	58
5.12	Betere beheersing van biofouling van hoge drukmembranen door ontharding van water met ionenwisseling	60
5.13	Methode-ontwikkeling voor gedetailleerde zettingskaarten	62
5.14	Strategic planning of drinking water infrastructure	64
5.15	Verkenning naar de meerwaarde van interactieve risicokaarten voor multi-assetmanagement	66
6	Health	68
6.1	Microplastics in de waterketen II	68
6.2	Herkomst en gedrag barbituraten in de watercyclus	69
6.3	Identificatie nieuwe indicatororganismen	70
6.4	Typeren van Pseudomonas aeruginosa	71
6.5	Normstelling anorganisch arseen	74
6.6	Groepsgewijze analyse en beoordeling van stoffen: de implementatie van 'structural alerts'	75
6.7	Microplastics in de waterketen	77
6.8	Is een universele microbiologische meetmethode haalbaar?	78
6.9	Efficiënte DNA-extractiemethode	80
6.10	Methode analyse anorganische arseen	81
6.11	Verkenning "Atmospheric Pressure Photoionization"	83
6.12	Quarternaire ammoniumverbindingen in bronnen van drinkwater	85
6.13	Oxidative stress response as a new parameter for water quality	87
7	Society	88
7.1	Actief burgerschap als kans voor het realiseren van maatschappelijke duurzaamheid door drinkwaterbedrijven	88
Bijlage I Overzicht projecten Verkennend Onderzoek 2013-2016		90

1 Inleiding

1.1 Verkennend Onderzoek in het BTO

Het Verkennend Onderzoek is één van de vier componenten binnen het BTO 2013-2017. Het Verkennend Onderzoek biedt ruimte om nieuwe ideeën te onderzoeken. Dit onderzoek is risicovol: vaak zal het pas op termijn tot praktische toepassingen leiden en bij de start staat zeker niet vast dat het onderzoek daadwerkelijk tot een praktische toepassing leidt. Verkennend Onderzoek stimuleert drinkwaterbedrijven en onderzoekers om ook buiten de gebaande paden te denken, wat bijdraagt aan nieuwe ideeën en innovaties. In het Verkennend Onderzoek evalueren we nieuwe wetenschappelijke, technologische en maatschappelijke ontwikkelingen en mogelijkheden op hun betekenis (nu en in de toekomst) voor de drinkwaterbedrijven.

Het Verkennend Onderzoek wordt geprogrammeerd en uitgevoerd door KWR. De opbrengsten van de verkenningen worden gecommuniceerd door middel van een 'BTO Verkennend onderzoek' notitie. Deze kan worden aangevuld met een presentatie aan het Coördinerend Overleg en/of themagroepoverleg. Achteraf wordt verantwoording afgelegd aan het Directeurenoverleg over de invulling en opbrengsten van het Verkennend Onderzoek.

1.2 Invulling en opbrengsten 2013-2016

In dit rapport worden de resultaten van de projecten die in het Verkennend Onderzoek in 2013 – 2016 zijn opgestart en afgerond weergegeven. Hier zijn alleen de samenvattende VO-notities opgenomen; de rapporten en publicaties staan op [BTO Net](#). De notities in dit rapport zijn gerangschikt naar de vijf programma's van de onderzoeksvisie Water Wise-World: *Thinking Ahead, Sustainable Water Cycle, Enabling Technologies, Health en Society*. In de bijlage is een overzicht van de 54 projecten opgenomen.

Er zijn ruim 50 projecten gestart, waarvan het merendeel is afgerond. Deze hebben onder andere geleid tot:

- nieuwe inzichten in de betekenis van wetenschappelijke of maatschappelijke ontwikkelingen voor de drinkwatersector;
- toepassing van ontwikkelde kennis en onderzoeksmethodieken voor onderzoek van de drinkwaterbedrijven zelf;
- ondersteuning beleidsdiscussies en lobby;
- nieuwe projecten in BTO Thematisch Onderzoek;
- nieuwe projecten in TKI Watertechnologie;
- nieuwe Europese projecten;
- niet verder vervolgen van het verkende;
- basis voor nieuwe onderzoeksgebieden in het nieuwe BTO.

Bij het opstellen van de onderzoeksvisie Water-Wise World constateerde KWR dat het onderzoek zich niet alleen moet richten op optimaliseren van de bestaande watervoorziening/infrastructuur, maar ook toonaangevend moet zijn in de richting voor vernieuwing van de watervoorziening in het licht van maatschappelijke transitie (circulaire economie, decentralisering/flexibilisering etc.). KWR's ambitie voor het VO is om over de thema's heen met de verschillende KWR-disciplines gezamenlijk te werken aan nieuwe integrale oplossingen voor de water-wise (drink)watersector. Zo richten we de kleinere verkenningen binnen disciplines op een integrale verkenning van vernieuwing van de

watervoorziening/stedelijke waterketen. In 2016 is gekozen voor de volgende onderzoeksprojecten:

- Water Wise Urban Water Concepts – Phase 2;
- HydroInformatics: Roadmap to the future;
- Drie methodenverkenningen:
 - Metatranscriptomics en Minlon voor optimalisatie van processen in de waterketen;
 - Polaire stoffen in de waterketen;
 - RPAS (drones) en de mogelijkheden die dit de drinkwatersector biedt.
- Communicatiepilots, o.a. storymaps, interactieve grafieken. In dit project worden verschillende communicatiemiddelen onderzocht op bruikbaarheid/toepassing voor kennisoverdracht in het BTO.
- Kansen voor BTO WiCE:
 - Waterstofeconomie en de waterleidingsector;
 - Lumbricus;
 - Kennisimpuls waterkwaliteit;
 - Comparing future visions.

2 Projecten 2016

2.1 Water Wise Urban Concepts – Phase 2

Onderzoekers

Christos Makropoulos, Dirk Vries, Luc Palmen, Stef Koop, Peter van Thienen, Erwin Vonk, Henk-Jan van Alphen

Doel project

Securing the provision of water services in the cities of today (and importantly of tomorrow), within a dynamically changing context and environment is a key objective and a common goal for different stakeholders, including the water industry, city authorities, technology developers, governments, financial institutions, environmental agencies and regulators and of course citizens themselves. These services are challenged

- in the supply side (in terms of both quantity and quality) due to hydro-climatic change and resulting uncertainty
- in the delivery side, as infrastructure itself gets older and less reliable in a context of limited new investment and
- at the demand side with demographic and socio-economic trends changing demand levels and patterns while levels of service and related customer expectations increase.

The growing understanding of the need for a longer term view on water service provision under these challenges and uncertainties has resulted in a new vocabulary for water policy, centered around more system-oriented concepts, such as resilience, robustness, flexibility and (to a lesser extent these days) sustainability. This top down view represents a “conceptualization pull” for innovation, that can deliver such system “qualities” as requested by the so far rather elusive terms mentioned above. This is however only half of the story. The other half comes from a technology push, whereby new technologies, options and interventions are being developed, in such diverse niche areas as water reuse, resource recovery (materials, energy and water), distributed water management, ICT (from remote sensing and actuation to smart metering to citizen sourced data), blue-green infrastructure, urban mining, mass-customizable manufacturing, advanced treatment and water-energy systems to name but a few of the most prominent ones. We argue that these two halves of the story do not necessarily fit together as seamlessly as one would hope, in part because there is no robust methodological framework able to bring these two elements together in a structured way, illustrating which aspects of the policy pull are supported by which design philosophies and enabling technologies and how these perform under relevant future contexts and uncertainties. As such it is not always clear what is already available in terms of options and interventions and which needs it fulfils, what is not available and needs to be further developed, what are the barriers that should be removed to make the overall system more optimal and what are the emerging opportunities for the key stakeholders that can be exploited.

The key outcome of this project is that it:

- Helps the water industry think in a structured way about new water wise design philosophies and interventions, while collecting and presenting a set of the most promising ones
- Proposes a specific set of quantifiable system-level metrics (centered on the concepts of resilience and robustness) to assess the long term performance of water systems

- Develops a way to think about and use long term scenarios to evaluate system performance under a variety of relevant conditions and risks.
 - Demonstrates the use of a toolbox of assessment tools and models able to undertake the analysis proposed, for particular cases (incl. the Scenario Builder, the Water Wise Knowledge Base and UWOT)
 - Sets this work within the context of City Assessments (and directly links it with the City Blueprint work and related assessment process) thus ensuring sustainability of the work beyond the project.
 - Provides real world case studies where alternative options are applied to address water challenges, under varying conditions, and whose merits are evaluated through the Water Wise Resilience Assessment.
 - Exposes the work and gets feedback from key peers from the international community.
- As such, the project will lead the way in systems thinking, performance assessment and decision making and demonstrate a more integrated way of thinking and working. In doing so, it will provide new insights for the water industry and new research, services as well as development and innovation opportunities for the water sector as a whole. The proposed project is a continuation and extension of the WWC project running in 2015. A visual summary of the key differences between phase 1 (2015) and phase 2 (2016) of the projects can be seen in Figure 1.

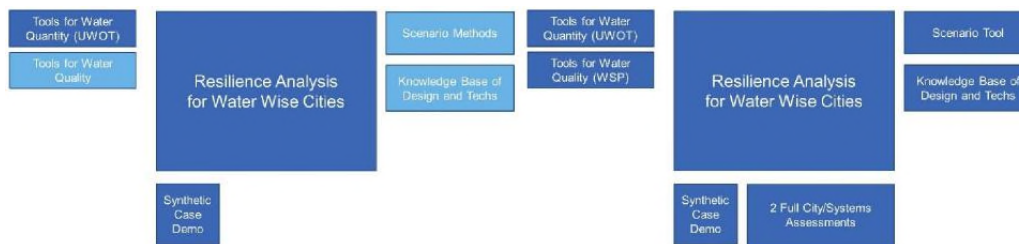


Figure 1a: WW Resilience Assessment: phase 1

Figure 1b: WW Resilience Assessment: phase 2

Activities

The project will be divided into three Work Packages (WP): Demonstrate, (further) Develop and Manage/Disseminate, as follows:

WP 1: *Demonstrate*

Case study work (and feedback between that and further method development) will play a central role in this phase of the work. One (or potentially two) case study cities/systems will be identified together with the steering group and will be used to demonstrate the method, evaluate its usefulness and propose corrections/changes in the method if needed. Currently the most probable cases are one in Evides and one in Oasen. Method demonstration and trialing in real world cases will be a major part of the work of this phase. It is proposed that this demonstration will be undertaken in two phases: (phase A) will start at the very beginning of the project and will demonstrate the methods and tools developed in 2015 on a real world case study (possible duration of 3 months). The feedback and lessons learned from this phase will be used together with ideas/lessons learned from 2015 to further develop the methodology as seen in the following WPs. At the end of 2016, the case study (or case studies) will be revisited to demonstrate new elements of the method, developed in 2016.

WP 2: *Develop*

WP 2.1: Futures

This work package will further develop concepts of scenario planning and operationalize them using a new scenario planning tool, whose coding was initiated in phase 1 and which will be upgraded significantly during phase 2. The work will allow for the development of consistent stress tests (development of the x-axis) for the system under evaluation.

WP 2.2: Associations

This work package will develop robust, reproducible methods (supported by appropriate linguistic modelling method¹ and tools) that will allow for the 'translation' of scenario variables to model inputs for cases where such mapping is by nature indirect (e.g. when looking at the link between GDP and/or risk perception on maintenance and then probabilities of failure of given infrastructure). The resulting method and tool will be used to harness expert knowledge on this subject by stakeholders. Links to quantitative databases of faults will also be investigated here within a Bayesian context.

WP 2.3: Options

This work package will continue to gather knowledge about alternative water technologies and provide insights in their cost, technological, quantitative and qualitative aspects. A formal knowledge base environment concentrating this information will be developed and populated. The collection of bundle fact sheets, performed within stage 1 of this project needs further refinement and to some extent 'unpicking' of information so that new custom built technology bundles would be able to be produced on the fly using the knowledge base. The workpackage will translate the developed design (philosophy) concepts and technological properties of intervention bundles to a user-friendly knowledge base by also linking to available data sources as much as possible and retrieving or estimating uncertainties to support uncertainty propagation, thereby enabling knowledge transfer between researchers and water managers.

WP 2.4: Dimensions

Two dimensions will be further investigated in this workpackage:

1. Development of novel water quality "reliability" assessment approaches. Link these approaches with new thinking in terms of appropriate water quality (chemical and micro-biological) standards. Identify and apply water quality models suitable for undertaking a resilience analysis for the water quality objective.
2. Development of methods for cost (and efficiency) assessment in the context of resilience. Work will look at further expanding on the initial thinking around efficiency and its perceived trade off with resilience, but also investigate additional conceptualizations of the trade-off between resilience and solutions' costs (e.g. looking at the related Pareto diagrams).

WP 2.5: Toolbox

This WP will support the framework with the quantitative tools required to undertake the complete Water Wise Resilience Assessment, building on existing tools and models and selecting/developing missing tools when need arises. UWOT (the Urban Water Optioneering Tool) will be used as the basic model, linking decentralised and centralised options and infrastructure together into a common assessment (Rozos and Makropoulos, 2013). Within the scope of the project upgrading UWOT's functionality to take into account work and developments in WP3 will also be undertaken. The toolbox will also contain (a) the Scenario Builder from WP1 (b) The knowledge base from WP2 (c) Models identified in WP3 and (d) the City Blueprint. Embedding conceptually, methodologically and technically the City Blueprint (and related city/system benchmarking work) within the resilience assessment context will be major focus area of work package and one with direct implications of the work's sustainability.

WP 3: Manage and Disseminate

This WP will coordinate work within the project, liaise with the Project Steering Group and the Project Advisory Group and undertake dissemination activities with the Water Industry, including the development and production of short targeted animations. A key activity will be to foster interactions between the team members in the form of brainstorming sessions and support in the co-development of the research plan to support the integrative and exploratory nature of the research. Another major activity of this WP will be to link the project with key developments and state of art thinking outside the organization, by means of invited experts that will interact with the team and give feedback to the work plan and research undertaken. Possible external experts include: Tony Wong, David Butler, Paul Jeffrey, Ana Deletic and others to be defined by the core team.

Opbrengsten, stand van zaken

Voor WP 1 is overleg gevoerd met Oasen en Evides. Met Oasen zijn bedrijfsspecifieke gegevens verzameld over de huidige bronnen, winning, zuiveringen en distributie en potentiële bronnen voor (decentralere) drinkwatervoorziening met multi-source RO systemen. De "base-case" (huidig Oasen) wordt nu in UWOT gemodelleerd. Binnenkort is overleg met Oasen over de keuze voor alternatieve inrichtingen van de watervoorziening.

Voor WP2 is de Futures tool gereed. De gegevens van de toekomstscenario's zitten in de tool en de tool geeft de gebruiker bovendien de mogelijkheid voor interactieve invoer van toekomstscenario-gegevens. De tool wordt ook gebruikt voor 4D grondwaterbescherming. Ook de Associations tool is gereed. In het Options werkpakket is een watertechnologiebundel bibliotheek in ontwikkeling met alle kerngegevens van winnings/zuiverings/distributie systemen.

WP3 heeft in een aantal sessies de onderzoekers de koppeling tussen de onderdelen laten versterken. De externe expert-consultatie wordt gepland in eerste kwartaal 2017.

Samenwerking

In deze fase is de samenwerking met Oasen het meest intensief, met Evides is afgesproken eerst de Oasen case uit te werken en gezamenlijk te bespreken.

2.2 Hydroinformatics: Road map to the future

Onderzoekers

Christos Makropoulos, Jos von Asmuth, Erwin Vonk

Doel project

Het project kent drie lijnen: het standaardiseren van modellen en programmeertaal bij KWR en deze compatibel maken met onze belangrijkste partners, het verkennen van onderzoeksdomein hydroinformatics, het opzetten van een gestandaardiseerde en herbruikbare Knowledge Base (KB).

Opbrengsten, stand van zaken

De belangrijkste partners zijn geïdentificeerd en het plan voor standaardisering van de modellen en programmeertalen loopt, net als het opzetten van de gestandaardiseerde KB. Deze wordt getoetst op veelzijdige inzetbaarheid aan drie bestaande Knowledge Bases. Als derde wordt ingezet op het ingezette werk van de kwartiermakerssessies; in 2017 wordt hieraan een vervolg gegeven middels de start van een platformgroep. In deze platformgroep wordt o.a. feedback verzameld op de KWR HI roadmap (in ontwikkeling).

Samenwerking

Het project Hydroinformatics kent geen specifieke samenwerkingspartners. Wel is kennis uitgewisseld met de kwartiermakersgroep rond HI en wordt in 2017 deze lijn voortgezet in samenwerking met de platformgroep.

2.3 Methodenverkenningen

2.3.1 Metatranscriptomics en Minlon voor optimalisatie van processen in de waterketen

Onderzoekers

Leo Hijnen, Bart Wullings

Doel project

De drinkwaterbereiding in Nederland kan niet zonder micro-organismen die een sleutelrol spelen in de biologische omzetting van o.a. organisch koolstof, ammonium, methaan, ijzer en/of mangaan die plaatsvindt tijdens filtratieprocessen (bv actief koolfiltratie, zandfiltratie). Ondanks jarenlang onderzoek naar deze microbiologische processen, zijn er nog steeds productielocaties waar de verwijdering of omzetting van deze (biologisch afbreekbare) verbindingen in de filters onvoldoende plaatsvindt. Dit kan resulteren in de productie van water dat minder biologisch stabiel is waardoor nagroei van ongewenste bacteriën (o.a. Aeromonas) in het distributienet kan optreden. Met de huidige methoden kan maar zeer beperkt inzicht verkregen worden in de microbiologische processen die plaatsvinden tijdens de zuivering. Dit inzicht is vaak afgeleid van biologische stabiliteitsmetingen voor en na een zuiveringsproces of kwantificatie van specifieke bacteriesoorten. Een groot deel van de biologische activiteit in deze filters, vooral in relatie tot afbraak van organisch koolstof, is daarom nog een black-box. Methoden die eenvoudig inzicht geven in de microbiologische processen kunnen mogelijk worden toegepast om deze processen gericht te sturen en te optimaliseren. De verwachting is dat dit zal leiden tot (i) een effectievere bedrijfsvoering (optimalisatie van bv. inlooptijd filters, spoelregime, regeneratie) waardoor kostenbesparing mogelijk is en (ii) een verbetering van de biologische stabiliteit van het behandelde water.



Opbrengsten, stand van zaken

De verwachte opbrengsten bestaan uit:

- Notitie met hierin een korte samenvatting van de in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde relevante onderzoeken;

- “Proof of principle” om met behulp van metatranscriptomics actieve microbiologische (metabolische) processen te identificeren die optreden tijdens biologische filtratieprocessen in de zuivering;
- Evaluatie van de geminiaturiseerde NGS apparatuur (Minlon) met de huidige NGS apparatuur op het KWR-laboratorium;
- Korte rapportage.

Samenwerking

Brabant Water heeft na overleg een locatie voor het uitvoeren van de metingen (in aanvulling op eigen BW metingen) beschikbaar gesteld. Deze metingen lopen in de winter 2016-2017.

2.3.2 Polaire stoffen in de waterketen

Onderzoekers

Thomas ter Laak, Pascal Kooij

Doel project

Microcontaminants are a key issue for the drinking water companies as they can pose a human health risk. Even if they are not expected to have any human health effects, their mere presence in surface water groundwater and drinking water reflects routes in the water cycle, vulnerability of drinking water (sources) and can generate public concern. The development and application of various analytical tools lead to increased awareness of a broad array of anthropogenic substances in the aqueous environment and drinking water.

Looking back at the evolution of analytical techniques three trends can be distinguished. First, the tremendous developments in liquid chromatography (LC) besides gas chromatography (GC) in environmental analysis has drawn attention towards more polar and less volatile substances. Second, improvements of sensitivity of detection techniques lead to the detection of more substances at lower concentrations in environmental samples. Third, evolution of high resolution mass spectrometry and the development of numerous in vitro bioassays resulted in powerful non-target screening and effect based methods, respectively. It can be expected that these trends will continue in future.

However, very polar organic substances are still lacking from environmental monitoring, non-target screening based on reversed phase chromatography, and assessment of effects using bioassays since they are poorly extracted by the commonly applied solid phase extraction techniques. Furthermore, reversed phase liquid chromatography “with rather hydrophobic C-18 or similar columns is used to separate chemicals or prepare fractions for effect directed analysis and this unintentionally biases towards non-polar (log KOW > 3) and moderately polar (log KOW ~0 to 3) substances. Very polar organic substances are poorly retained on these columns and are therefore often missed.

Very polar substances usually are mobile in aqueous matrices and some are rather persistent. Hence, they are of particular interest for the drinking water sector as their mobility in aqueous phases and persistence enables them to end up in groundwater and other source waters and pass engineered barriers such as active carbon treatment.

The objective of this study is to (1) classify very polar substances relevant for drinking water (2) define analytical challenges and blind spots for very polar substances, (3) implement and optimize analytical tool to for chemical characterization of very polar substances, and (4) perform a pilot study with analytical tools as a proof of principle in order to gain insight in their concentration and relevance. Finally, (5) the study aims to identify what information is

currently needed on this class of substances in form of a roadmap for the development and/or application for monitoring and human health risk assessment.

Opbrengsten, stand van zaken

De proeven zijn ingericht in het lab, de rapportage staat in de steigers. Wanneer de labwerkzaamheden zijn afgerond kan de analyse worden gestart. Gepland is het project in mei 2017 af te ronden.

Samenwerking

In het project wordt, naast budget uit het VO, geld vanuit de Watergroep ingezet. Verder bouwt het onderzoek voort op een samenwerking met Rijkswaterstaat en doorlopende samenwerkingen in het ProMoTe project.

2.3.3 RPAS (drones) en de mogelijkheden die dit de drinkwatersector biedt

Onderzoekers

Bernard Raterman, Martin de Haan

Doel project

Verwacht wordt dat RPAS bij vele toepassingen in de maatschappij steeds vaker zullen worden ingezet. Omdat RPAS grote potenties hebben bij onderzoek en advisering, is het van belang dat KWR samen met de waterbedrijven deze ontwikkeling goed volgt, zelf kennis en ervaring opdoet met RPAS en bruikbare methoden voor de verwerking en interpretatie van met RPAS ingewonnen beelden ontwikkelt. Het doel van het project is drieledig: (1) een brede screening van de toepassingsmogelijkheden van RPAS door de waterbedrijven, (2) het ontwikkelen van methoden ten behoeve van kansrijke toepassingen voor grondwateronttrekkingsgebieden en natuurgebieden, (3) het testen van methoden met behulp van een door KWR te opereren RPAS.



Opbrengsten, stand van zaken

De verwachte opbrengsten zijn:

- Een overzicht van actuele en kansrijke toepassingen van RPAS door waterbedrijven;
- Een operationeel RPAS bij KWR en daarmee ca. drie uitgevoerde vluchten;

- Validatie van de methode voor het afleiden van standplaatsfactoren uit remote sensing beelden (Leemputten, Staverden);
- Een eerste opzet van een 'deep learning' methode voor patroon en objectherkenning uit gedetailleerde remote sensing beelden (duingebied Dunea en/of Evides);
- Een VO rapport, Story-map (website gebaseerd op een GIS viewer);
- Een artikel in een vakblad

Het project ontwikkelt zich samen met verschillende projecten bij KWR (zie samenwerking). Het onderdeel dat binnen dit specifiek project loopt wordt afgerond in Q1 2017.

Samenwerking

Op het gebied van drones lopen momenteel verschillende projecten, twee binnen het Verkennend Onderzoek, Beleidsonderbouwend onderzoek t.b.v. de Vewin en INTERREG project 'SPECTORS'. Materiaalkosten worden uit het KWR investeringsbudget betaald.

2.4 Communicatiepilots

Onderzoekers

Tim van der Mast, Martin Korevaar, Bernard Raterman, Steven Ros, Dieuwke Voorhoeve, Klaasjan Raat

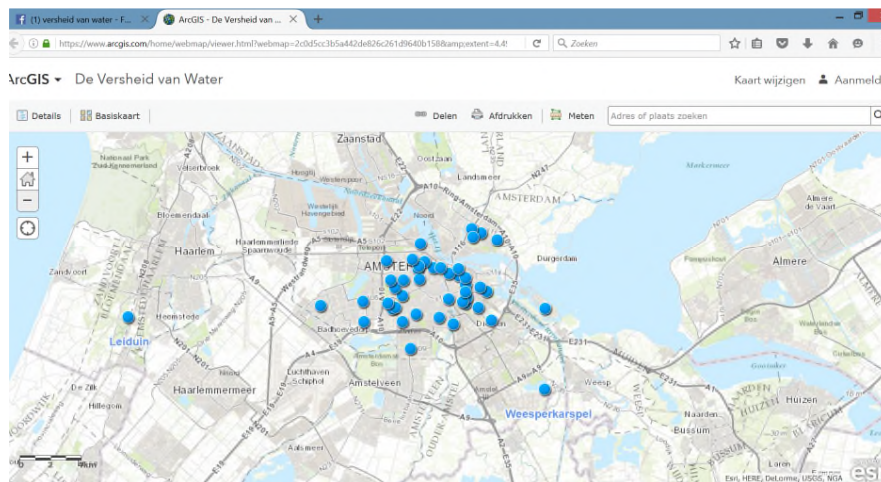
Doel project

In dit project worden verschillende nieuwe communicatiemiddelen onderzocht op bruikbaarheid/toepassing voor kennisoverdracht in het BTO.

Opbrengsten, stand van zaken

Momenteel worden de volgende communicatiemiddelen onderzocht op bruikbaarheid voor het BTO:

- Storymaps
- Interactieve grafiek
- Interactieve presentatie
- Website Waterwijzer
- Visualisatie data met animatie



2.5 Kansen voor BTO WiCE

2.5.1 Waterstofeconomie en de waterleidingsector

Onderzoekers

Frank Oesterholt, Ad van Wijk, Henk-Jan van Alphen

Doel project

In de komende decennia zal de energievoorziening geleidelijk transformeren naar een steeds groter aandeel aan duurzame energie. Dit gaat ten koste van de inzet van fossiele brandstoffen. Een zeer denkbaar scenario is de *shift* naar een op waterstof gebaseerde economie. Een 'bijverschijnsel' van de waterstofeconomie is de substantiële watervraag. Naast koeling is stoichiometrisch met elke kg waterstof 9 kg water gemoeid, zowel aan de elektrolyse-kant (verbruik) als bij de brandstofcel (productie). Stel dat in de toekomst 25 % van het huidige nationale verbruik van primaire energie (3.200 PJ/jaar) via waterstof zou gaan lopen met een energie-inhoud van 142 MJ/kg dan zou dat resulteren in een Jaarverbruik voor waterstof van 5.6 mln ton/jaar. Jaarlijks is dan ruim 51 miljoen m³ water van hoogwaardige kwaliteit nodig (high purity water, typische demiwaterkwaliteit min of meer afhankelijk van type elektrolyser). Tegelijkertijd komt eenzelfde volume water – eveneens van hoogwaardige kwaliteit – vrij. Dit geheel speelt zich af in een reeks van toepassingen, van klein- tot grootschalig.

Conclusie: de waterstofeconomie laat zich kenmerken door een cruciale rol voor water, een sterk variërende schaalgrootte en een wijde vertakking van toepassingen. Dit maakt dat KWR een uitermate zinvolle bijdrage kan leveren aan de ontwikkeling van de waterstofeconomie. De ontwikkeling is zeker ook relevant voor de drinkwatersector. Het is zeer wel denkbaar dat drinkwaterbedrijven een eigen rol kunnen spelen in de waterstofeconomie.

Opbrengsten, stand van zaken

Het project is in de afrondende fase, opbrengsten in afronding zijn:

- generieke beschrijving van de waterstofeconomie. Hierin opgenomen zijn een overzicht van elektrolysetechnologie, een overzicht van verbruiksprocessen naar schaalgrootte (brandstofcellen);
- een overzicht van (mogelijke) actoren, de positie van Nederland in de wereld en een inschatting van het tempo waarin zich de ontwikkeling zou kunnen voltrekken;
- beschrijving van de benodigde watervoorziening naar kwantiteit en kwaliteit voor een aantal gedefinieerde cases die passen binnen de waterstofeconomie. Hierin is opgenomen een overzicht van verschillende technologieën voor waterstofproductie aan de productiekant, type brandstofcellen aan de verbruikskant en een beschouwing over de mogelijkheden om reactiewater her te hergebruiken;
- een beschrijving van rol die de drinkwatersector inclusief KWR zou kunnen spelen binnen een waterstofeconomie inclusief een overzicht van onderzoeksvragen die daartoe in het transitieproces moeten worden beantwoord;
- overzicht van onderzoeksvragen voor vervolgstudies waarbij wordt aangegeven op welke manier dat onderzoek het beste kan worden gefinancierd (BTO verkennend onderzoek, BTO thematisch onderzoek, TKI Watertechnologie).

Samenwerking

Intensieve samenwerking met PhD TUD Vincent Oldenbroek, deels omdat de cases gebaseerd zijn op zijn werk en deels omdat het onderzoek ook voor hem een verdieping betekent (resultierend in een publicatie). Verder afstemming met duurzaamheidsmanagers

bij de drinkwaterbedrijven via interviews of een werksessie en afstemming met de themagroepen 'Trends' en 'Water en Energie' (Klimaatneutrale waterketen) tijdens reguliere bijeenkomsten.

2.5.2 Lumbricus: voldoende water van goede kwaliteit voor landbouw, natuur, recreatie en drinkwatervoorziening

Onderzoekers

Klaasjan Raat, Ruud Bartholomeus

Doel project

We worden meer en meer geconfronteerd met toenemende droogteschade aan landbouw en natuur, en druk op waterbeschikbaarheid voor hoogwaardige toepassingen, zoals de productie van drinkwater. Om deze risico's beheersbaar te maken, worden, onder meer binnen het Deltaprogramma Zoetwater, strategieën ontwikkeld om de zoetwatervoorziening op de lange termijn veilig te stellen. Eén van de pijlers van deze strategieën is het verhogen van de regionale zelfvoorziening in de zoetwatervraag, zodat de afhankelijkheid van oppervlaktewateraanvoer afneemt en beschikbare waterbronnen efficiënter worden benut.

Het Deltaprogramma Zoetwater is helder over de zoetwaterproblematiek en de benodigde investeringen: "... Het aanbod van zoetwater is echter niet altijd toereikend voor de vraag. De deltasceario's laten zien dat in de toekomst vaker watertekorten kunnen optreden door klimaatverandering, verzilting en sociaaleconomische ontwikkelingen. ... Ook vinden stapsgewijze investeringen plaats om de aanvoer van zoetwater robuuster te maken en het gebruik zuiniger. De deltabeslissing Zoetwater geeft de kaders voor een nieuwe aanpak voor het voorkomen van watertekorten."

In 2015 hebben waterschappen op de hoge zandgronden van Zuid en Oost het initiatief genomen een onderzoeksprogramma Lumbricus op te tuigen: Klimaatrobuuste inrichting van het bodem-watersysteem. Ook voor drinkwaterbedrijven is dit programma-in-wording van groot belang. Samenwerking tussen alle waterpartijen (drinkwaterbedrijven, waterschappen, agrariërs) en andere stakeholders is een van de sleutelfactoren voor een toekomst-robuuste zoetwatervoorziening voor alle functies.

Doel van dit project is het incorporeren van drinkwaterbelang in het onderzoeksprogramma Lumbricus, door (1) als KWR te participeren in Lumbricus, (2) initiatie van projecten binnen Lumbricus waarbij de drinkwatersector is aangehaakt, (3) koppeling van BTO WiCE thema Zuinig met Zoet en Lumbricus.

Opbrengsten, stand van zaken

Het project is gestart begin december 2016 en beoogt de volgende opbrengsten:

- Een samenwerkingsovereenkomst tussen waterschappen, STOWA, kennisinstellingen (waaronder KWR) en MKB voor langjarige kennisontwikkeling rond robuuste oplossingen voor bodem- en waterproblematiek op de hoge zandgronden.
- Initiatie van (tenminste) 1 - 2 projecten binnen Lumbricus waarbij de drinkwatersector is aangehaakt. Startdatum 1-januari-2017 of eerder.
- Koppeling van het BTO WiCE thema Zuinig met Zoet met Lumbricus.

Samenwerking

Lumbricus is een onderzoeksprogramma in wording waarin waterschappen, kennisinstellingen, MKB en andere stakeholders (agrariërs, drinkwaterbedrijven)

samenwerken aan onderzoek en ontwikkeling van Klimaatrobuuste inrichting van het bodem-watersysteem op de Hoge Zandgronden. Lumbricus wordt onder meer ondersteunt (en gefinancierd) door STOWA, Deltaplan Hoge Zandgronden (DHZ), Zoetwater Oost Nederland (ZON), en (mogelijk) Provincies in Zuid, Oost en Ministerie van I&M (KIBO).

2.5.3 Kennisimpuls waterkwaliteit

Onderzoekers

Gertjan Medema, Annemarie van Wezel, Stefan Kools

Doel project

De waterkwaliteit is in grote delen van het land de afgelopen jaren duidelijk verbeterd, maar onvoldoende om alle doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) te halen en onze ambities waar te maken. Er zijn in de afgelopen jaren veel inrichtingsmaatregelen uitgevoerd ten behoeve van de waterkwaliteit. Het 5e Actieprogramma Nitraatrichtlijn (2014-2017) en eerdere actieprogramma's leiden tot verbeteringen. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) geeft aan dat het oppervlaktewater nu meestal van voldoende kwaliteit is voor veel gebruiksfuncties, zoals de drinkwaterproductie, zwemmen en andere vormen van waterrecreatie. Het PBL heeft in de laatste analyse ook geconstateerd dat het huidige maatregelenpakket in veel wateren nog onvoldoende is om alle waterkwaliteitsdoelen te halen.

Ook de opgave voor de zoetwatervoorziening neemt toe. Hieraan geeft het Deltaprogramma Zoetwater op nationaal en regionaal niveau een stevige invulling. Wel kan een betere verbinding met waterkwaliteit in sommige gebieden meerwaarde opleveren en vereist de aanpak van verdroging van natuurgebieden aandacht. De belangrijkste stakeholders hechten groot belang aan het realiseren van een goede waterkwaliteit en de doelen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en zijn zich bewust van nieuwe opgaven voor de waterkwaliteit en hebben de Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoet Water opgesteld en 16 november 2016 ondertekend. Met de Delta-aanpak wordt bestuurlijke focus aangebracht in het waterkwaliteitsdossier. Het beperken en tegengaan van nutriënten/mest, gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten in het grond- en oppervlaktewater zijn daarbij als prioriteiten benoemd. In dat licht hebben STOWA, KWR en TKI ook een partnership programma Contaminants of Emerging Concern in the Water Cycle gelanceerd. Doel van dit project is koppelen van de KWR en het drinkwaterbelang/drinkwaterbedrijven aan het STW partnership Contaminants of Emerging Concern en in het Deltaplan Waterkwaliteit en Zoet Water door als KWR te participeren in (1) projectaanvragen in het STW partnership, (2) het samen met andere kennispartijen opzetten van een kennisimpuls voor het Deltaprogramma waarbij de drinkwatersector is aangehaakt, (3) koppeling van BTO WiCE thema Kwaliteit in de Keten met deze initiatieven.

Opbrengsten, stand van zaken

Het project start in december 2016 en resulteert in de volgende opbrengsten:

- Een internationaal aansprekend en nationaal verbindend kennisprogramma voor chemisch schoon en ecologisch gezond water, in samenspraak met WER, Deltares en RIVM en gesteund door STOWA, PBL en WVL (kennisimpuls).
- Initiatie van 1 - 2 projecten binnen het STW partnership waarbij KWR en de drinkwatersector zijn aangehaakt. Start in 3e kwartaal 2017.
- Koppeling van het BTO WiCE thema Kwaliteit in de Keten met het partnership programma en de Kennisimpuls.

Samenwerking

Het project beoogt het aangaan van een samenwerking op een aantal gebieden. Hierbij wordt samengewerkt met drinkwaterbedrijven, Waterschappen, STOWA en kennisinstellingen (Deltares, TUD, UU, WU, WER (voorheen Alterra))

2.5.4 Circulaire Economie: Comparing future visions

Onderzoekers

Henk-Jan van Alphen en Laurens Hessels

Doel project

In veel toekomstvisies op het gebied van economie en duurzaamheid krijgt de Circulaire Economie (CE) een prominente plaats. De transitie van een lineaire naar een circulaire economie gezien wordt alom omarmd als een mogelijkheid om economische groei lost te koppelen van milieudruk en grondstoffengebruik. Hoewel de een aantal duidelijke principes kent, kunnen concrete uitwerkingen van die CE nogal verschillend zijn. Zo denken partijen bijvoorbeeld heel verschillend over de rolverdeling tussen markt en overheid, het belang van decentrale systeem en de mate waarin grondstoffen en energie kunnen worden hergebruikt.

Dit onderzoek geeft inzicht in de visies op het gebied van CE die in verschillende sectoren en bij verschillende organisaties bestaan. We richten ons daarbij op onderwerpen die centraal staan in het thema 'Waarde in de Keten'

- Hoe ziet een CE eruit?
 - Wat is er anders dan het huidige systeem?
- Hoe wordt de circulaire economie georganiseerd?
 - Welke partijen zijn in de CE actief?
 - Wat zijn hun rollen en verantwoordelijkheden?
 - Hoe worden kosten en baten verdeeld?
 - Wat is de rol van kennis in de CE?
- Op welke schaal wordt de CE georganiseerd?
 - Wat is de verhouding centraal/decentraal?

De CE staat hoog op de agenda bij alle sectoren die te maken hebben met grondstoffen- en energiegebruik. Een gedeeld beeld van de toekomst of een gedeelde doelen kunnen bevorderlijk zijn voor samenwerking, terwijl de afwezigheid daarvan juist belemmerend kan werken. Op deze manier biedt het onderzoek inzicht in welke richting de diverse actoren bewegen:

- in welke mate er een gedeelde toekomstvisie of gedeelde doelen bestaan tussen actoren;
- welke drijvende krachten voor verandering verschillende actoren zien en hoe ze die veranderingen in hun omgeving waarderen;
- hoe de actoren elkaar waarderen: zijn de strategische keuzen van de ene actor een bron van onzekerheid voor de andere actor?

Opbrengsten, stand van zaken

Het onderzoek is recent gestart en geeft naar verwachting de volgende opbrengsten:

- een overzicht van de belangrijkste visies op de CE en doelen van de onderzochte organisaties;

- een analyse van overeenkomsten en verschillen en belangrijke raakvlakken of conflictpunten tussen de verschillende actoren.

Samenwerking

Samenwerking wordt niet specifiek voorzien. Wel wordt geput uit het netwerk van KWR en daarbuiten om kennis m.b.t. de CE te betrekken in het onderzoek.



3 Thinking Ahead

3.1 Water Wise Concepts – Phase 1

Onderzoekers

Christos Makropoulos, Luc Palmen, Stefan Kools, Andrew Segrave, Dirk Vries, Stef Koop, Henk-Jan van Alphen, Erwin Vonk en Peter van Thienen.

Doel project

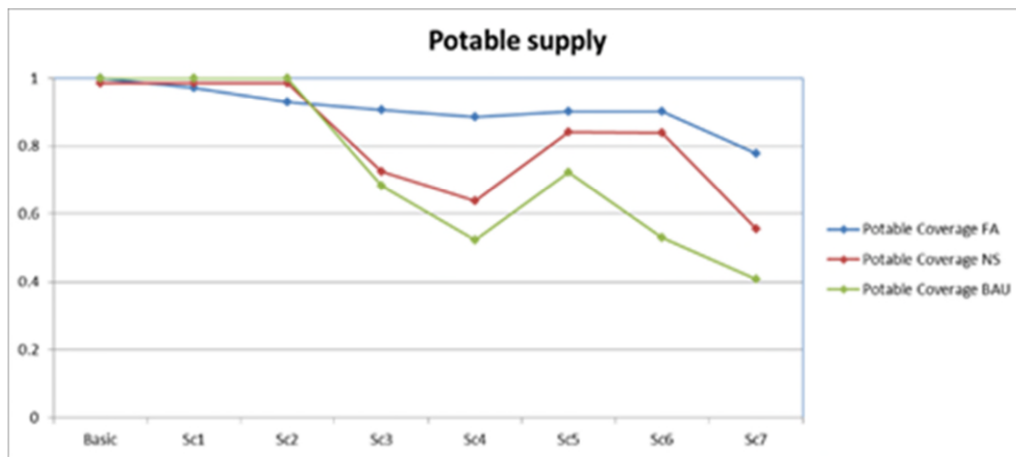
De doelen van de waterbedrijven zullen in de (nabije) toekomst niet sterk verschillen van de huidige doelen: leveringszekerheid, kwaliteit, klanttevredenheid, minimalisering van kosten, zorg voor het milieu en voor een circulaire watervoorziening. Hoe goed waterbedrijven deze doelen kunnen behalen, zal op de langere termijn sterk afhangen van toekomstige veranderingen in klantwensen, regelgeving, urbanisatie, industrialisatie, klimaat etc. Is verder centraliseren een robuuste route? Of juist decentrale watersystemen? Zouden zeewater of afvalwater als bron waardevol kunnen worden? Er is behoefte aan een evidence-based methode om mogelijke toekomstige configuraties van het watersysteem te evalueren, waarbij een kwantitatieve inschatting gemaakt wordt hoe goed zij de waterbedrijven instaat stellen hun doelen te realiseren onder uiteenlopende toekomstige omstandigheden. Op dit moment zijn de prestaties van individuele technologieën en gespecialiseerde subsystemen vaak goed te begrijpen, maar dat is moeilijker voor de prestaties van het overkoepelende systeem. Dit vergt een dynamisch model van het watersysteem waarin de beschikbare kennis geïntegreerd wordt en de invloed van omgevingsveranderingen op de watersector kan doorrekenen. Een dergelijk model kan bijdragen aan goed onderbouwde ontwerp- en investeringsbeslissingen in de watersector en de ontwikkeling van water wise cities.

Opbrengsten

Het model is nog in ontwikkeling. Kwantiteit en kwaliteit van de waterlevering zijn op dit moment de belangrijkste prestatiedoelen die worden bekeken, op termijn zullen ook factoren die met milieu en klant te maken hebben worden meegenomen. Betrouwbaarheid is gedefinieerd als het vermogen van het systeem om aan prestatiedoelen te voldoen, falen – nu voor de eenvoud uitsluitend uitgedrukt in falende kwantiteit van de waterlevering (onderbroken of falende waterlevering) – is dus een vermindering van de betrouwbaarheid. Door het systeem met verschillende toekomstscenario's onder druk te zetten, ontstaat een beeld van de veerkracht: de betrouwbaarheid in verschillende mogelijke toekomsten.

Virtuele stad

Het model is toegepast op een virtuele stad, WaterCity, waarvan drie verschillende configuraties zijn gebouwd: Business As Usual (BAU), Next Step (NS) en Further Ahead (FA). Deze drie configuraties beschikken over verschillende technologiebundels en hebben uiteenlopende ambitieniveaus. BAU vertegenwoordigt het huidige technologische niveau van toepassingen en diensten, NS verschilt van BAU door innovatie en circulaire economie (zeewaterontzouting en hergebruik in industrie en tuinbouw); FA gaat uit van decentralisatie ("Sneek-concept" en multi-source RO) en vindt ook hergebruik in industrie en tuinbouw plaats.



De resultaten uit de simulaties zijn weergegeven in de figuur. Alle configuraties blijken redelijk robuust in de eerste scenario's (x-as), waar nog relatief weinig stress ontstaat. Bij toenemende stress is de FA configuratie het meest robuust. Overall is FA het meest veerkrachtig. In FA faalt er in de sterk gedecentraliseerde watersystemen wel vaker iets, maar hebben de gevolgen minder impact.

Samenwerking

In het vervolgonderzoek wordt samengewerkt met o.a. Oasen om het model te testen in een echte case. Het huidige model is getest op een virtuele stad.

Voorstel voor implementatie en/of vervolg onderzoek

Het Water Wise Concepts model kan dienen ter ondersteuning van keuzes over investeringen in de toekomst van het stedelijke watersysteem. Dit rapport rond de eerste fase van het project af. De tweede fase richt zich op een verdere ontwikkeling en onderbouwing van het methodologische raamwerk door het toe te passen op reële casestudies uit de drinkwatersector. Dit moet leiden tot een "Water Wise Resilience Assessment Study" die ondersteuning biedt bij strategisch assetmanagement en langetermijnplanning van watersystemen in dienst van een meer veerkrachtige watersector.

3.2 Trends en relevante kennisvragen rond urban hydroinformatics en 'big data' voor de drinkwatersector

Onderzoekers

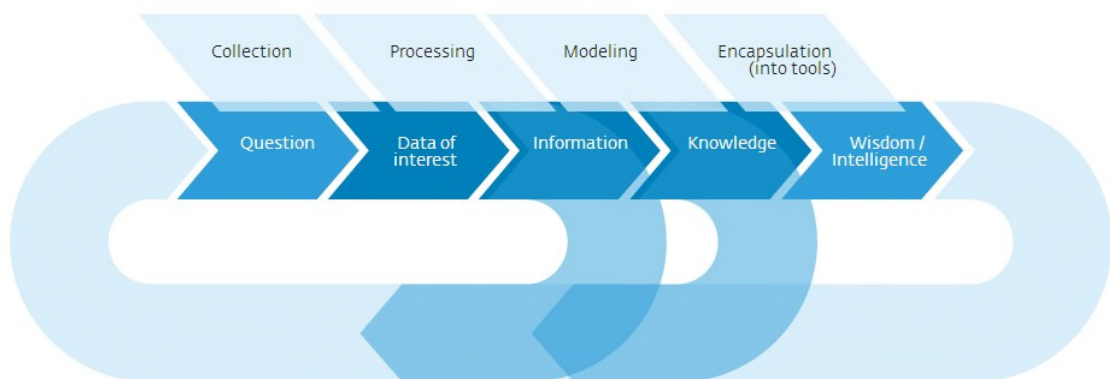
Miranda Pieron en Dirk Vries

Doel project

In beeld brengen van de betekenis van (urban) hydroinformatics voor de drinkwatersector, huidige activiteiten van KWR op dit gebied, en waargenomen uitdagingen en bijbehorende aanbevelingen voor het onderzoeksveld. Het overzicht dient gebruikt te kunnen worden als input voor visievorming rond 'hydroinformatics' bij KWR.

Opbrengsten

Hydroinformatics literally means: the science of information applied to a water related context. In the first edition of the Journal of Hydroinformatics it was defined as a type of meta knowledge: knowledge about developing knowledge in water related sciences by means of information technologies. Lately, hydroinformatics has become more of a buzzword in the (drinking) water sector, together with concepts such as 'big data analytics' and 'decision support system design'. 18 Interviews with KWR experts in various fields of research formed the basis for this scan, and revealed that most people interpret hydroinformatics as a very broad, hard to define concept that includes various activities in the water sector associated with information technology. In line with this broad definition, it is proposed to conceptualize hydroinformatics as a cyclical sequence of chain of activities ranging from data collection to tool development:



The interviews served to map different activities related to hydroinformatics that are conducted within KWR to be able to address current research questions, for example within the joint research programme of the Dutch water companies (BTO). Moreover, the interviewees have reflected on three aspects: (1) the present state of affairs (from a KWR perspective), (2) the resulting challenges, and (3) recommendations towards a more effective and efficient hydroinformatics practice.

An overview of the results is presented in report BTO 2014.014.

The following conclusions can be drawn on the basis of this scan:

Activities in the field of hydroinformatics leading to 'toolboxes' can be very valuable for the water sector since they provide a way to developing knowledge by means of ICT technology. One of the major challenges is to 'wrap' the water related knowledge – developed by human intellect – into sophisticated supportive information tools, because firstly, two different kinds of expertise/disciplines are involved ('water' science and information science), and secondly, knowledge that is required to address water challenges is dependent on so many dynamic

variables that it is (with the current available technology) very hard to encapsulate it in a 'tool'.

The field has developed in a very fragmented way (due to this 'toolbox' character), and together with the current lack of awareness regarding (potential) benefits, it turns out to be very challenging to allocate sufficient resources (time and money) towards the development of a hydroinformatics knowledge development and communication toolbox.

Various recommendations from the interviewees boil down to the following needs: formulate a concrete explicit overarching (sector-wide) strategy on the role of hydroinformatics in water research and close cooperation and long-term partnerships between the watersector and ICT experts to jointly develop tools.

THE WAY TO GO: (URBAN) WATER CYCLE MODEL

In order to be able to find answers to complex water challenges, an overarching framework is required in which the fragmented partial hydroinformatics solutions that have been and are presently developed can be brought together. That way all water related activities, models, data and expertise can be integrated in a meaningful way. Knowledge development (by means of tools) should thus take place on a higher level, to be able to link solutions to one another and prevent isolated approaches. Any such strategy must rely on explicit and defensible postulates regarding the processes that are assumed to transform data into information and then knowledge, since these processes are evidently essential to further development of hydroinformatics practices.

Samenwerking

- Met BTO-themagroep *Trends* (trendalert en effectenstudie 'Big Data')
- Met input van 18 KWR onderzoekers en leden van de Wetenschapsraad uit diverse onderzoeksvelden, teams en afdelingen.

Voorstel voor implementatie en/of vervolg onderzoek

De resultaten van dit verkennend onderzoek geven op een gestructureerde manier inzicht in de status, uitdagingen en aanbevelingen rond het onderzoeksveld van 'hydroinformatics' vanuit de diverse perspectieven binnen KWR. Tevens brengt het huidige onderzoeksactiviteiten en toekomstige kennisvragen in beeld die aan het thema zijn gerelateerd. De inzichten worden gebruikt als input voor visie- en strategievorming rond hydroinformatics binnen KWR, en als startpunt voor de Chief Information Officer.

3.3 Visie op invulling onderzoek naar sensoren binnen BTO en KWR

Onderzoekers

Auke Kronemeijer, Albert Brandt, Stefan Kools

Doel project

Op basis van uitvoerig overleg met interne en externe partijen is een nieuwe invulling gegeven aan de visie op sensoronderzoek binnen het BTO. Intern en extern zijn personen benaderd die relevant zijn binnen het sensorenonderzoek. Met hen is uitvoerig gesproken over invulling van dit onderzoeksonderwerp binnen KWR en het BTO. De resultaten van deze gesprekken zijn uitvoerig besproken binnen de themagroep *Nieuwe meetmethoden en sensing* en het Coördinerend Overleg, zij hebben veel invloed kunnen uitoefenen op de uiteindelijke visie op sensorenonderzoek.

Opbrengsten

Door dit proces is een breed gedragen visie ontstaan op de invulling van het onderwerp Sensoring binnen het BTO. Binnen het BTO gaat KWR zich bezighouden met de realisatie van Sensoring binnen de watersector door:

- business cases op te stellen voor het gebruik van sensoren
- nieuwe technologie te scouten en te testen
- concepten te ontwikkelen voor het verbinden van technologie, data en organisatie
- sensoren te valideren en te implementeren.

Binnen deze aanpak zal KWR een coördinerende rol spelen tussen technologie-leveranciers en de watersector. KWR zal een platform zijn voor de kennis op het gebied van sensing en zal samenwerken met externe partners in gestructureerde, multidisciplinaire projecten. De visie staat meer uitvoerig beschreven in het rapport *Future of Sensoring at KWR* (BTO 2014.023).

Samenwerking

De BTO-themagroep *Nieuwe meetmethoden en sensing* en het Coördinerend Overleg hebben grote invloed uitgeoefend op het ontstaan van deze visie.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Deze visie is in de vergadering van 16 juni 2014 onderschreven door het Coördinerend Overleg van het BTO, dat vervolgens KWR heeft verzocht om aan deze visie daadwerkelijke invulling te gaan geven door het opstellen van concrete projectvoorstellen.

3.4 Initial evaluation of innovative electrochemical sensor technology for pH

Onderzoekers

Auke Kronemeijer, Eline van den Berg, Albert Brandt

Doel

De nieuwe visie op het sensorenonderzoek benoemt het scouten en testen van nieuwe sensortechnologie als opdracht. Daarom is binnen het BTO Verkennend Onderzoek een nieuwe elektrochemische sensortechnologie van het Holst Centre in Eindhoven getest op toepasbaarheid binnen de sector.

Holst Centre heeft 15 pH-sensoren en randapparatuur bij KWR geleverd, die zijn gebruikt in laboratoriummetingen in discrete watermonsters en in continue waterstromen.

Controlemetingen zijn met een standaard pH-elektrode uitgevoerd en doseringsexperimenten met zuur en base zijn uitgevoerd om de pH van de matrices te veranderen.

Bij dit project voor de drinkwaterbedrijven is als maat voor de generieke technologie gekozen voor het testen van pH sensoren. Metingen van pH in drinkwater geven bijvoorbeeld een indicatie van de kalkafzetbaarheid van het water. Dit is vooral relevant in het distributienet, waar water uit verschillende bronnen met een variabele kwaliteit wordt gemengd. Afhankelijk van de mengratio zal de consument (on)tevreden zijn over kalkafzetting in huishoudelijke apparatuur. Dit kan met een simpele meting van de pH ondervangen worden. Binnen het BTO-project 'Soft sensors voor monitoring van de waterkwaliteit' is dit onderwerp vanuit modellerings-perspectief bekeken.

In de ecohydrologie en milieuwetenschappen wordt pH gebruikt als een algemene indicator voor processnelheden en waterkwaliteit. In het algemeen is de beschikbaarheid van voldoende data een probleem voor verdere modelontwikkeling van processen in de ondergrond en geoptimaliseerde bedrijving van ondergrondse technologie zoals bijv. de Freshmaker. Nieuwe sensing-technologie kan mogelijk een kosteneffectieve oplossing bieden voor ondergrondse data acquisitie en kan hierdoor meerwaarde gaan betekenen in risicobeoordelingen voor ingrepen in het milieu, optimalisatie van ondergrondse technologieën of ecologische herstel.

Opbrengsten

De resultaten van de verschillende metingen laten zien dat de sensoren identieke initiële kalibratiewaarden vertonen in buffer-oplossingen bij KWR en bij Holst Centre. Echter, kalibraties tussen verschillende sensoren zijn nog niet reproduceerbaar genoeg in drinkwatermonsters. Verder verlopen de meetwaarden van de pH-sensoren in de tijd nog te veel. Stabiele, reproduceerbare metingen zijn alleen verkregen over een tijdspanne van uren, te kort voor daadwerkelijke implementatie.

De resultaten van het onderzoek laten zien dat huidige technologie zeker potentieel heeft, maar op dit moment nog niet toepasbaar is binnen de drinkwatersector. Vooral de reproduceerbaarheid tussen sensoren en de stabiliteit van de sensoren over langere termijn is een aandachtspunt voor monitoringstoepassingen.

De resultaten van dit Verkennend onderzoek zijn meer uitvoerig beschreven in rapport 'Initial Evaluation of Innovative Electrochemical Sensortechnology for pH Detection' (BTO 2014.024).

Samenwerking

Holst Centre is een 'open innovation' onderzoeksinstituut dat werkt op het gebied van

Wireless Autonomous Sensor Technologies en Flexible Electronics. Bij Holst zijn succesvol elektrochemische sensoren ontwikkeld voor het detecteren van gassen en ionen in oplossing, bijvoorbeeld voor toepassing in zogenoemde Body-Area Networks (BAN) waarmee menselijk zweet real-time wordt doorgemeten. In samenwerking met de flexibele elektronicaprogramma's worden sensors op dunne flexibele folies ontwikkeld waardoor 'high-throughput' fabricage-methodes kunnen worden gebruikt, zoals roll-to-roll printing. Lagere kosten en mechanische flexibiliteit kunnen mogelijk de barrières voor het plaatsen en potentieel vervangen van sensoren in het veld verlagen.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Door in de komende jaren nauw bij de ontwikkelingen betrokken te blijven, kan het BTO zorgen dat het de verder ontwikkelde technologie op het juiste moment in de toekomst nogmaals kan onderzoeken. Bovendien maakt die nauwe betrokkenheid het mogelijk de eisen uit de drinkwatersector goed te laten landen bij de technologieontwikkelaars.

3.5 Scouten wetenschappelijke ontwikkelingen

Onderzoeker

Auke Kronemeijer

Doel

Na interne signalering en externe opmerkingen dat het scouten van wetenschappelijke ontwikkelingen beter zou moeten worden ingebed, en concreter als taak zou moeten worden omschreven, binnen KWR/BTO, leeft binnen BTO Programmamanagement de vraag óf dit daadwerkelijk speelt, en welke oplossingen hiervoor gevonden zouden kunnen worden ter verbetering.

Als op basis van de huidige werkwijzen binnen KWR/BTO namelijk blijkt dat het tijdig signaleren van (wetenschappelijke) ontwikkelingen onder druk staat, bestaat de zorg dat KWR zijn missie om vooraanstaand onderzoek en hét aansprekende kennisinstituut van de watersector te zijn niet goed invult en achter te feiten dreigt aan te gaan lopen met betrekking tot het introduceren van nieuwe kennis en innovatie in de Nederlandse watersector. Als KWR deze taak niet goed op orde heeft, hoewel dit kan worden gezien als een interne KWR aangelegenheid, heeft dit ook consequenties voor het BTO-programma en dus de drinkwaterbedrijven en zullen deze ook last ondervinden van een verminderde kennisbasis (en kennisnetwerk) van de medewerkers van KWR.

Naar aanleiding van bovenstaand is een inventarisatie bij de themagroepcoördinatoren uitgevoerd over de invulling van bovenstaand omschreven taak binnen de themagroepen en binnen KWR in het algemeen.

Opbrengsten

De meerderheid van themacoördinatoren onderschrijft dat de wetenschappelijke component van bijhouden van literatuur, vooral activiteiten waarbij de kosten ervan duidelijker naar voren komen zoals het bijwonen van congressen en het houden van meetings met de sector, onder druk staan. Sommige themagroepen hebben deze activiteiten tot op zekere hoogte wel geprogrammeerd, zoals bijvoorbeeld impliciet geprogrammeerd in breed gebudgetteerde projecten of projecten die vanuit de inhoud deze ruimte. Andere themagroepen bieden in geheel geen ruimte. Er ligt hierdoor wel een basis om dit binnen KWR of BTO beter te organiseren omdat deze activiteiten wel als belangrijk bestempeld worden. Een mogelijkheid om dit te realiseren zou zijn om de activiteiten meer expliciet te maken waardoor de meerwaarde en de kosten van dit soort activiteiten duidelijk worden. Dit zal de externe communicatie over deze activiteiten ook positief beïnvloeden.

Mogelijkheden om scouten expliciet te maken

Als dit type activiteiten expliciet gemaakt moeten worden, zullen activiteiten en opbrengsten concreet gedefinieerd moeten worden. Deze zullen echter vooral gerelateerd zijn aan:

Activiteiten	Opbrengsten
• Literatuur bijhouden	• Lopende Technolgieedocumenten
• Congressen bezoeken	• Technologiescouts – ‘Trend Alerts’
• Contactmomenten met sector realiseren	• Kennisuitwisseling met de sector

Meningen over betere inbedding van de activiteiten (‘financiering’) lopen uiteen over wat het juiste format hiervoor zou moeten zijn (mits voor betere inbedding gekozen wordt). Het grootste verschil in opvatting zit in het feit of de huidige situatie de verantwoordelijkheid van KWR en/of BTO is.

Oplossingen binnen BTO

1. Inbedding binnen de afzonderlijke themagroepen

Suggesties aangaande meer concrete inbedding in de afzonderlijke themagroepen zijn:

- Beter inbedden in het 5-jaren plan. Er zou binnen de plannen een natuurlijk verloop moeten zijn hoeveel scouten van ontwikkelingen aan het begin van een cyclus zou moeten worden uitgevoerd en hoe dit naar beneden geschaald kan worden in de loop van de periode.
- Omdat het CO in principe de opdracht aan BTO geeft om deze rol daadwerkelijk voor de water sector te vervullen, zou een boodschap naar en van het CO moeten kunnen komen dat deze activiteiten beter belegd moeten worden. Suggesties zijn:
 - Doorlopende afzonderlijke projecten.
 - Grotere projecten definiëren waarin activiteiten natuurlijker geprogrammeerd worden.
 - Richtlijnen voor projecten met vastgestelde reservering.

2. Inbedding in themagroep Trends

In de themagroep Trends, met in meer of mindere mate de betrokkenheid van inhoudelijk onderzoekers / experts. Voordeel hiervan zou kunnen zijn dat de structuur en manier van werken van de activiteiten bestaat.

3. Verkennend onderzoek

Hoewel deel van het BTO heeft KWR meer regie op dit onderzoek. Sommige personen suggereerden dat het huidige Verkennend Onderzoek van origine de rol van de vrije ruimte binnen de oude PBCs zou vervangen.

Doordat dit deel van BTO ondertussen anders belegd is, is dit mogelijkwijs een reden waardoor de activiteiten minder belegd worden. Er wordt echter ook geobserveerd dat de huidige manier van beleggen van VO wel een goed gremium biedt voor exploratieve projecten.

Interne oplossingen KWR

Andere personen zijn van mening dat het interne KWR aangelegenheid is of medewerkers van kennisinstituut KWR inhoudelijk op de hoogte zijn en een goed kennisnetwerk onderhouden. Alle klanten van KWR verwachten dit impliciet en de opgedane kennis komt dan ook ten goede aan alle klanten van KWR, dus niet alleen BTO.

Hierdoor zou ook een interne oplossing binnen KWR gevonden moeten worden om dit te garanderen. Er is ook gesuggereerd dat het een taak voor de Wetenschapsraad is om deze zaak te signaleren en verder op te pakken.

Een suggestie is om de impliciete taak expliciet te maken. Hiervoor zou voor medewerkers meer (indirecte) tijd vrij gemaakt moeten worden (bijv. met bijschrift 'literatuurstudie').

Tegelijkertijd moet er dan gezorgd worden dat de verrekenbaarheid niet onder druk komt te staan, dus hier zou dan extra ruimte voor moeten komen.

Pragmatisch wordt over bovenstaand geobserveerd dat het geen behendige (snelle) route is om intern KWR anders te organiseren. Dit omdat de huidige structuur van de organisatie er niet naar is, maar zeker ook omdat via andere routes al veel signalen naar het MT hierover zijn afgegeven. Het blijft echter goed om de boodschap uit te dragen, ook vanuit het huidige inhoudelijke perspectief.

4 Sustainable Water Cycle

4.1 Inventarisatie concentraties en herkomst van methaan in voor drinkwater onttrokken grondwater

Onderzoekers

Gijsbert Cirkel, Niels Hartog en Beatriz de la Loma

Doel project

Het aantal activiteiten in de diepe ondergrond (onder andere geothermie, schaliegaswinning, gasopslag, CO₂-opslag, afvalwater injectie) zal komende jaren waarschijnlijk steeds verder toenemen. Bij verdere groei van deze activiteiten is het van belang om te weten of ze kunnen leiden tot ongewenste migratie van gassen en mogelijk vloeistoffen naar aquifers waaruit drinkwater wordt gewonnen. Een methode om in beeld te brengen of en in welke mate er contact is tussen de diepe ondergrond en voor drinkwaterwinning bestemde aquifers is een analyse van de herkomst van methaan. Onderscheid tussen thermogeen (inkoling en bituminisatie bij hoge temperatuur op diepte) en biogeen (ondiep, door bacteriën) gevormd methaan is mogelijk door analyse van de stabiele isotoop koolstof-13 en het deuterium-gehalte van methaan. Aanvullend geeft de concentratie (en isotopensamenstelling) van hogere alkanen inzicht in de herkomst van aangetroffen gassen. Doel van dit project is het voor Nederland uitwerken van een methode voor het bemonsteren, analyseren en karakteriseren van methaan en hogere alkanen in ondiepe aquifers, om zo de herkomst van gassen te achterhalen. Hiermee kan voorafgaand aan nieuwe activiteiten de nulsituatie worden vastgelegd. Het belang van het vastleggen van de nulsituatie is onder meer gebleken in de VS waar het bij lekkages van gassen naar het grondwater moeilijk blijkt om aan te tonen dat de schaliegasput de bron van het zogenaamde 'stray gas' is. Om deze reden wordt inmiddels op meerdere plaatsen in de wereld (onder andere VS, Canada, UK) een start gemaakt met het uitwerken van methodes en het uitvoeren van nulmetingen.

De fasen van dit project zijn:

- Een literatuur en datastudie, waarbij relevante gegevens over methaanconcentraties in grondwater en herkomst van dit methaan op een rij worden gezet.
- Het op basis van literatuur uitwerken van een methode voor karakterisering van de herkomst van methaan en hogere alkanen in aquifers
- Het uitwerken van een bemonsterings- en analysemethode
- Opzet van een meetcampagne waarbij bij een (beperkt) aantal relevante pompputten en peilbuizen (meer dan 10 mg/l methaan) de concentratie methaan, hogere alkanen en de isotopen samenstelling wordt gemeten.

Opbrengsten

- Overzicht van methaanconcentraties in voor de drinkwatervoorziening relevante aquifers in Nederland.
- Methode voor het bemonsteren en analyseren van gassen specifiek gericht op het bepalen van stabiele isotopen koolstof-13 en deuterium van methaan en hogere alkanen.
- Literatuuroverzicht en uitgewerkte methode voor het op basis van concentraties en isotopensamenstelling karakteriseren van de herkomst van methaan. Samen met bovenstaande punten maakt deze methode het mogelijk om eventuele gaslekkages op

te sporen en een nulmeting uit te voeren voordat in een gebied diepe booractiviteiten worden uitgevoerd.

- Voorbereiding van een eerste nulmeting ten aanzien van methaanconcentraties en -herkomst in voor drinkwater onttrokken grondwater. Deze nulmeting is van belang gezien de snelle ontwikkelingen in gebruik van de diepe ondergrond en de discussie rond schalie- en steenkoolgas.

Samenwerking

In dit project voor het overzicht van methaanconcentraties in Nederland en de voorbereiding van een eerste nulmeting, is samengewerkt met de volgende drinkwaterbedrijven: Vitens, Evides, Brabant Water, Waterbedrijf Groningen, WMD en WML. Daarnaast is voor de isotopen analyse samengewerkt met Isolab Neerijnen, een in methaan isotopen analyse gespecialiseerd laboratorium voor de olie- en gasindustrie.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De bemonsteringscampagne voor de eerste nulmeting is uitgevoerd binnen het verkennend onderzoek 'Schaliegas en drinkwater' in april 2014, waarbij de isotopen- en gassamenstelling en sporenelementen zijn geanalyseerd. De metingen zijn uitgevoerd bij pompputten en peilbuizen van Evides, Vitens, Brabant Water, WML, WMD en Waterbedrijf Groningen. Deze analyse is de eerste verkenning naar de herkomst van methaan in ondiep grondwater in Nederland. Hoewel er in het verleden vaak is uitgegaan van een biogene herkomst van ondiep aangetroffen methaan, is dit nooit door metingen bevestigd. De methode wordt gevalideerd op basis van ervaringen tijdens monsternamen en analyse en verwerking van de resultaten. De gevalideerde methode komt vervolgens beschikbaar om toe te passen bij voorgenomen activiteiten in de diepe ondergrond zoals schaliegaswinning.

4.2 Preparedness of the water sector

Onderzoeker

Adriana Hulsmann

Doel project

Het ontwikkelen van een (quick-scan) methode waarmee de watersector op een snelle manier inzicht krijgt in de uitdagingen van klimaatverandering (specifieke risico's) en de mate waarin de sector hierop voorbereid is (pakket van maatregelen) in normale en rampomstandigheden.

Het project was beperkt tot een korte verkennende studie om na te gaan of de ontwikkeling van een quick-scan vergelijkbaar met de city blueprint-methode haalbaar zou zijn.

Opbrengsten

De methode die is gebruikt voor de quick-scan is een vragenlijst (circa 25 vragen) om de bedreigingen en de daaraan verbonden risico's in kaart te brengen en tevens aan te geven in welke mate de watersector in een bepaald gebied in Nederland maatregelen heeft getroffen om het risico te beperken. Op basis van de antwoorden kunnen de resultaten door middel van een 'spinnenweb' gevisualiseerd worden. Nadat een eerste versie van de vragenlijst was geproduceerd is deze uitgetoetst in drie verschillende gebieden: Eindhoven, Wageningen en Amsterdam. Hierbij is gebleken dat op elke locatie met verschillende spelers in de waterketen gesproken moet worden omdat zowel risico-inschatting als adaptatiemaatregelen onder verschillende verantwoordelijke instellingen vallen zoals bijvoorbeeld waterschap, drinkwaterbedrijf en gemeente. Op basis van de proef in de drie gebieden is de vragenlijst verschillende keren aangepast.

Uitkomsten verkennende studie:

- Het visualiseren van de risico's en maatregelen is een eenvoudige manier om snel inzicht te krijgen in de stand van zaken met betrekking tot impacts van klimaatverandering in een gebied.
- Het samenvoegen van mogelijke risico's en maatregelen in één figuur (spinnenweb) is verwarrend. Het is daarom beter per gebied twee figuren te produceren (apart voor risico's en maatregelen).
- Om alle antwoorden te krijgen op de vragen is het nodig meerdere verantwoordelijke spelers te benaderen. Uit de soms conflicterende uitkomsten is gebleken dat diverse betrokkenen niet altijd voldoende op de hoogte zijn wat de andere partijen doen. Dit lijkt een weinig ideale situatie waar verbetering in de samenwerking en besluitvorming gewenst is.
- De watersector kan de resultaten in de vorm van de spinnenwebben gebruiken om te benchmarken met andere gebieden in Nederland.
- De methodiek kan buiten Nederland toegepast worden om te vergelijken op internationaal niveau.

4.3 Simdeum-Pro: Simulation of warm water demand and its related energy

**Onderzoeker**

Mirjam Blokker

Doel project

Kwantitatief bepalen van de dynamische relatie tussen huishoudelijk warmwaterverbruik en energieverbruik voor verschillende type woningen.

Opbrengsten

- Informatie verzameld over primair energiegebruik per huishoudelijk apparaat (zowel elektrisch als gas) voor SIMDEUM; hierbij is ook gekeken naar opties voor energiebesparing (zoals douchewarmteterugwinning).
- SIMDEUM is uitgebreid met een post-processing stap om de dagelijkse watergerelateerde patronen voor primair energiegebruik voor verschillende type woningen te kunnen modelleren: SIMDEUM-PRO. Naast energieverbruik van verwarming met gas en elektriciteit, kunnen ook warmteverliezen worden beschouwd.
- SIMDEUM-PRO wordt ingezet in het BTO-project 'Efficiënte bereiding warm tapwater'

Samenwerking

Uneto-VNI en energie-adviesbureau Ecofys hebben een in-kind bijdrage geleverd; daarnaast is vooral uitgegaan van literatuur.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De resultaten van dit verkennend onderzoek zijn direct toegepast in een in 2014 gestart BTO-project van het thema Water en Energie. In het BTO-project 'Efficiënte bereiding warm tapwater' wordt SIMDEUM-PRO ingezet om te kunnen bepalen waar energie valt te besparen voor het verwarmen van drinkwater, rekening houdend met de systemen voor ruimteverwarming die in verschillende type woningen ingezet worden. In het licht van steeds beter geïsoleerde woningen met steeds minder vraag naar ruimteverwarming is de warmtapwatervraag een steeds bepalendere grootte voor dimensionering van de HR-ketel.

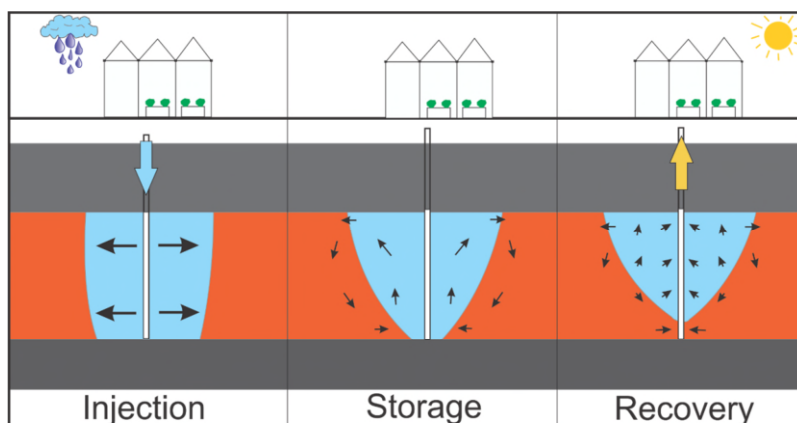
4.4 De Multiput brengt drinkwaterwinning onder controle

Onderzoekers

Annemieke van Doorn, Koen Zuurbier en Auke Kronemeijer

Doel project

Doel van het onderzoek is om samen met de drinkwaterbedrijven de mogelijkheden van en eisen aan de Multiple Partially Penetrating Well (MPPW) voor de drinkwaterwinning vast te stellen. Welke rol kan de put spelen en welke technische eisen en randvoorwaarden zijn daaraan verbonden?



Opbrengsten

De opbrengsten van het verkennende onderzoek zijn vastgelegd in rapport BTO 2014.030, en komen samengevat op het volgende neer:

De MPPW biedt nieuwe mogelijkheden om putverstopping en bedreigingen door aanwezigheid van verschillende waterkwaliteiten in het grondwatersysteem tegen te gaan. Veel drinkwaterbedrijven zien mogelijkheden voor de techniek om problemen op hun eigen puttenveld te helpen oplossen of verlichten. Wel dient nader onderzocht te worden of (1) de techniek ook op de lange termijn effectief blijft, (2) het ontwerp nog verder geoptimaliseerd kan worden, en (3) hoe de kosten- batenanalyse uitpakt.

Samenwerking

Op 10 juni heeft een expertbijeenkomst plaatsgevonden om de randvoorwaarden voor de MPPW-techniek te verkennen. Voor deze bijeenkomst waren alle drinkwaterbedrijven uitgenodigd, en gaven Vitens, Oasen, WML en Dunea acte de présence.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De techniek heeft zich in de tuinbouwsector in enkele pilots van 1 tot 2 jaar vooralsnog bewezen. Of de drinkwatersector op eenzelfde wijze winst kan behalen met de techniek moet nog bewezen worden; een pilot hiervoor is een eerste stap. Het uitvoeren van een pilot op een puttenveld waar grootschalige (renovatie)werkzaamheden gepland zijn, zal weinig extra kosten met zich meebrengen en maakt het mogelijk de vergelijking te maken met conventionele putconcepten. Als de techniek er inderdaad in slaagt om waterkwaliteitstypen te scheiden en/of putverstopping te voorkomen of uit te stellen, dan kan de winst in onderhouds- en/of zuiveringskosten aanzienlijk zijn.

Dunea staat ervoor open om de mogelijkheden voor een pilot tijdens de renovatiewerkzaamheden in 2015/2016 op pompstation Scheveningen te verkennen.

4.5 Drinkwaterbedrijven in de water-energie-voedsel nexus

Onderzoeker

Tom van der Voorn

Doel project

Voedselzekerheid, waterverbruik en beschikbaarheid van energie hangen met elkaar samen. Het belang en de potentiële duurzaamheidswinst bij een integrale benadering van de water-energie-voedsel (WEV) nexus wordt breed onderkend (World Economic Forum, 2011; IWA World Congress on Water, Climate and Energy, 2012) ook in de Nederlandse watersector (Innovatiecontract Waternet, 2012; Route kaart Afvalwaterketen 2030, 2012). Het doel van deze scan is tweeledig: enerzijds beoogt het de benodigde integrale benadering van de WEV-nexus te beschrijven en anderzijds een beeld te schetsen van wat de Nederlandse drinkwaterbedrijven al doen op het gebied van de WEV-nexus.

Opbrengsten

De scan heeft geresulteerd in:

- Een beschrijving van de WEV-nexus en de benodigde integrale benadering.
- Een inventarisatie van lopende projecten bij de drinkwaterbedrijven.

De scan laat zien dat een integrale benadering van de WEV-nexus kansen biedt voor verdere verduurzaming van de nexus. Een dergelijke benadering kent zowel een inhoudelijke als een organisatorische dimensie. Inhoudelijk gaat het om de thema's en onderwerpen die op het grensvlak van water-energie-voedsel relevant zijn. Het gaat dan bijvoorbeeld om het terugwinnen van warmte, biogas en fosfaat uit afvalwater, en ondergrondse opslag van water voor de glastuinbouw. Organisatorisch gaat het om productieve samenwerkingsrelaties tussen betrokken partijen uit de water-, energie- en voedselsector.

Daarnaast laat de scan zien dat de Nederlandse drinkwaterbedrijven zich nog niet bezighouden met een integrale benadering van water, energie en voedsel zoals bedoeld in de WEV-nexus. Lopende activiteiten beperking zich tot een van de basiscomponenten van de WEV-nexus (water-energie, water-voedsel).

Samenwerking

Tijdens het themagroepoverleg *Water en energie* van 18 juni 2013 is er een inventarisatie uitgevoerd naar lopende WEV-nexus projecten onder de betrokken drinkwaterbedrijven: Waternet, Vitens, WML, Waterbedrijf Groningen, Dunea en Brabant Water.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De volgende vervolgstappen worden voorgesteld:

- Vervolgonderzoek naar gewenste samenwerkingsrelaties in de nexus voor het verzilveren van de potentiële duurzaamheidswinst.
- Bespreken van de WEV-nexus binnen Europa in European Water Sector Intelligence activiteiten.

4.6 Verkenning mogelijkheden van Momentmethode voor lokale modellen



Onderzoeker

Willem Jan Zaadnoordijk

Doel project

Het doel van het project is te komen tot inzicht in de meerwaarde van de tijdreeksanalyse en de daarbij bepaalde momenten van de impulsresponsfuncties voor grondwatermodellen met ruimte- en tijdschalen relevant voor de drinkwaterbedrijven. Het gebruik van de impulsresponsmomenten voor toetsing en ijking van model(simulaties) wordt aangeduid met de term 'momentenmethode'. In het kader van de Vewin-bijdrage aan het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is een opschalingsmethode uitgewerkt waarmee peilbuismetingen vergelijkbaar gemaakt kunnen worden met de grove schaal van het NHI-grondwatermodel. Deze opschaling is minder relevant voor de beheervraagstukken en simulatie-instrumenten van de drinkwaterbedrijven zelf. Voorbeelden van andere toepassingen, die meer van belang zijn voor de drinkwaterbedrijven, zijn:

- Impulsresponsmomenten als beoordelingscriteria of calibratiedoelen
- Systeemidentificatie, het onderscheiden van zones die geohydrologisch verschillend gedrag vertonen.

Deze verkenning heeft als doel hier meer inzicht in te krijgen.

Opbrengsten

De algemene conclusie van de verkenning is dat modelcalibratie baat heeft bij analyse van de meetgegevens waarmee gecalibreerd wordt. Toegepast voor grondwater betekent dit dat tijdreeksanalyse van stijghoogtemetingen een waardevol hulpmiddel is om een gebiedsdekkend model te verbeteren.

Meer specifiek zijn de volgende inzichten verkregen:

- Data-gebaseerde methoden, zoals (vlakdekkende) tijdreeksanalyse en de momentenmethode kunnen de efficiëntie sterk vergroten van het verkrijgen van inzicht in het grondwatersysteem ten opzichte van het gebruik van een enkel grondwatermodel.

- Tijdreeksanalyse is een adequaat instrument om te beoordelen of grondwatermeetreeksen zinvol zijn voor de toetsing van een grondwatermodel.
- Gebruik van meetreeksen met verschillende frequenties voor ijking van een model vraagt betere weging van ijkwaarden dan nu gebruikelijk;
- Hoogfrequente reeksen vragen om een andere vergelijking tussen model en meting dan verschil in waarde op het tijdstip van de meting (in dat geval kan een kleine verschuiving in de tijd grote afwijkingen suggereren).

Deze inzichten worden onderschreven door 'peers' (met name: Randy Hunt van USGS in Wisconsin, James Craig van University of Waterloo in Canada, Kees Maas van .Maas GA, John Doherty van Watermark Computing in Australië (ontwikkelaar van de wereldwijd gebruikte optimalisatie software PEST), Jim Rumbaugh van ESI in de VS (ontwikkelaar GW Vista, door modelleers best aangeschreven gebruikersschil voor MODFLOW), Kevin Hayley van het Canadese adviesbureau Matrix Solutions).

Samenwerking

De opbrengsten werden verkregen aan de hand van twee presentaties, discussie en diverse gesprekken tijdens twee congressen. De congressen werden aaneensluitend gehouden in Golden, Colorado, USA:

- AEM2013, 6th International Conference on the Analytic Element Method, van vrijdag 31 mei tot en met zondag 2 juni 2013, een select gezelschap van mensen toegewijd aan analytische methoden voor simulatie van grondwater, waarbij gestreefd wordt naar het identificeren van de belangrijkste processen en het adequaat beschrijven hiervan met kopstukken als Otto Strack (University of Minnesota MN, USA), Henk Haitjema (Indiana, USA), Mark Bakker en Theo Olsthoorn (TU Delft).
- MODFLOW and More 2013, groot twejaarlijks congres van 2 tot en met 5 juni 2013 dat modelexperts van over de hele wereld samenbrengt; het wordt georganiseerd door het Integrated Groundwater Modeling Center (IGWMC).

In de voorbereiding is intensief samengewerkt met Mark Bakker (TU Delft).

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De belangrijkste aanbeveling is om stelselmatig tijdreeksanalyse toe te passen op grondwatermeetreeksen voordat deze gebruikt worden voor de toetsing of beoordeling van een model(simulatie). Het maken van ruimtelijke overzichten van de karakteristieken van de grondwaterrespons op verschillende invloeden geeft hierbij extra inzicht. De impulsresponsmomenten lijken ook geschikt voor het maken van een enkel beoordelingscriterium (doelfunctie) van een model, waarmee de beoordeling geobjectiveerd kan worden en efficiëntere kalibratie (door veel kortere rekentijden bij automatische parameteroptimalisatie) mogelijk wordt. Hiervoor moet nog wel een geschikte formulering van een doelfunctie bepaald worden die monotoon daalt bij een betere overeenkomst tussen modeluitvoer en metingen. (Een gewogen kwadraten som van de afwijkingen van de momenten voldoet niet aan deze voorwaarde.) Een aanbeveling voor vervolgonderzoek is daarom het bepalen van een dergelijke formulering.

De opbrengsten en aanbeveling zijn gedeeld in het inhoudelijk ecologen- en hydrologenoverleg, de opvolger van de PBG Hydrologie en Ecologie.

4.7 Schaliegas en drinkwater: betrouwbaarheid

Onderzoekers

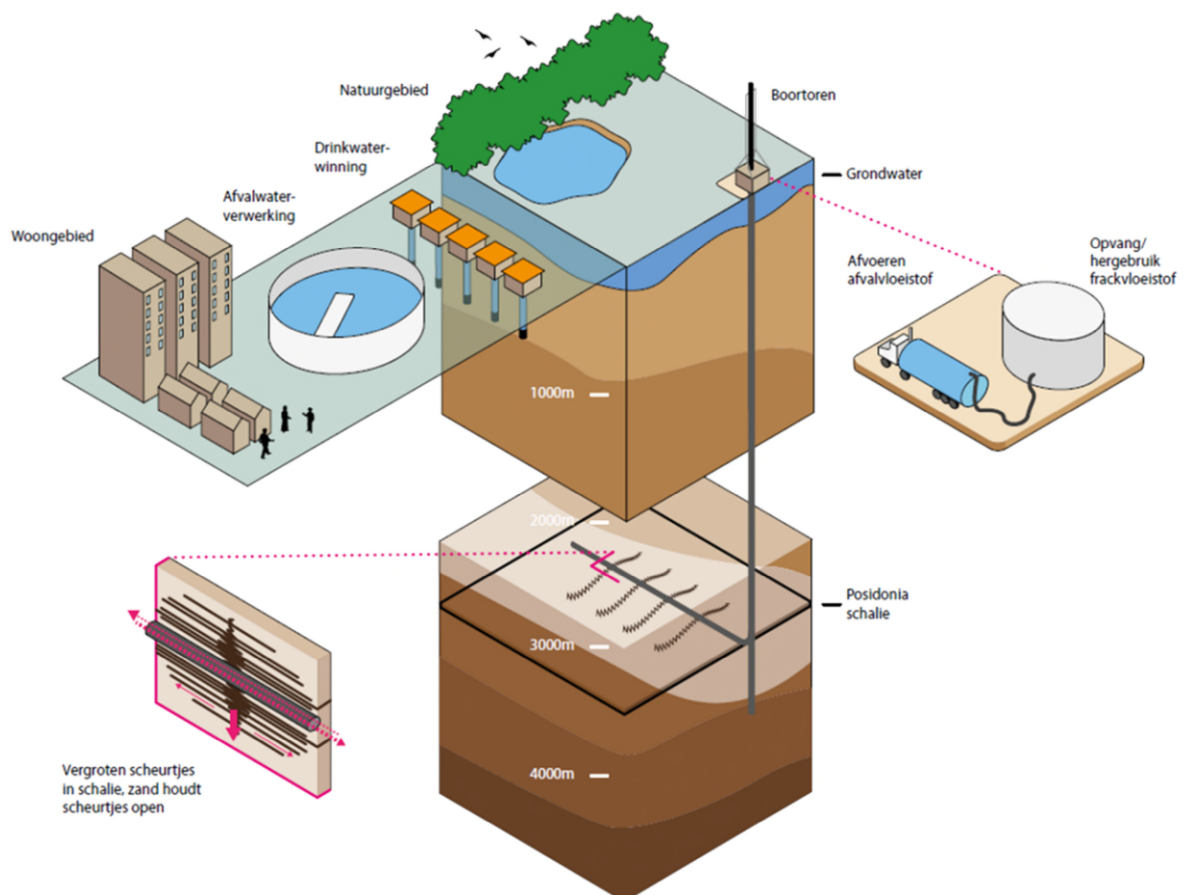
Annemarie van Wezel en Gijsbert Cirkel

Doel

In de discussie rondom schaliegas zijn drinkwaterbedrijven sterk betrokken. Er staat voor drinkwaterbedrijven mogelijk veel op het spel. Het gaat daarbij om de betrouwbaarheid van drinkwater. Dit verkennend onderzoek heeft tot doel de Nederlandse drinkwaterbedrijven en Vewin te ondersteunen bij de voorbereiding op:

1. Besluitvorming en deelname aan politieke, beleidsmatige en maatschappelijke discussies over schaliegas en de ondergrond: multidisciplinaire kennis over schaliegas en de ondergrond is een belangrijke bouwsteen voor gesprekken met het ministerie van EZ en I&M en andere partijen in bijvoorbeeld de totstandkoming van de plan-MER.
2. Mogelijke opsporing en/of winning van schaliegas: mocht dit gaan plaatsvinden, dan wil de drinkwatersector de betrokken partijen en met name de initiatiefnemer een programma van eisen meegeven waaraan de winning moet voldoen ten einde het grondwater optimaal te beschermen.

Bij betrouwbaarheid van drinkwater gaat het om de feitelijke kwaliteit van (de bronnen voor) drinkwater en de eventuele bedreigingen die de boring, inbouw, fracking, exploitatie en onderhoud van schaliegasputten met zich mee brengen. Centraal staat de vraag hoe de betrouwbaarheid van drinkwater gegarandeerd kan blijven. Hiertoe werd onderzoek gedaan naar faalkansen, effecten, risico's en monitoring. In het verlengde daarvan werden handelingsopties geformuleerd.



Opbrengsten

Faalkansen gekwantificeerd

Allereerst zijn de faalmechanismen geïdentificeerd. Het gaat om mechanismen veroorzaakt door menselijke fouten in schaliegasexploratie aan maaiveld of rond boringen. Vervolgens zijn de daarbij vrijkomende volumina met chemicaliën naar drinkwaterbronnen gekwantificeerd. Bronnen hiervoor zijn databases van overheden uit de VS. Het gaat hier om de frequentie en volumina van vermorsingen en lekkages over de laatste 5 jaar. Maximum waarden van frequenties van vermorsingen aan maaiveld betreffen geproduceerd water (4,4%), boorvloeistof (2,8%) en olie (2,8%). Maximum waarden van de gemiddelde volumina van vermorsingen aan maaiveld zijn gerelateerd aan boorvloeistof (294 m³) en blow outs (3206 m³ geproduceerd water). Maximum waarden van frequenties van vermorsingen door putfalen zijn respectievelijk 0,4%, 2,1% en 1,6% voor lekkage aan put aansluiting, door corrosie en door onvoldoende cementering. De volumina vrijkomend op putdiepte zijn kleiner dan volumina van de vermorsingen aan maaiveld. Zowel de frequenties als volumina zijn per type faalkans en stroom gegeven als bandbreedte. Voor zover de data vergeleken kunnen worden met literatuurgegevens komen de resultaten goed overeen.

Effecten en risico's betreffende toegevoegde en vrijkomende stoffen

Hoe zit het met de effecten en risico's betreffende toegevoegde en vrijkomende stoffen bij schaliegaswinning? Typische volumepercentages van toegevoegde chemicaliën in de frack vloeistoffen zijn laag. Maar, gezien de volumina vloeistoffen die per put gebruikt worden, gaat het toch om aanmerkelijke vrachten. De toegevoegde stoffen zijn veelal voor een deel openbaar gemaakt door betrokken industriële partijen. Dat gebeurde in de USA onder andere via www.fracfocus.org. Hierin zijn ca. 750 verschillende stoffen opgenomen. Het registreren is echter geen vereiste. De schatting is dat in de meerderheid van de registraties één of meer stoffen geheim is gehouden. Er bestaat ook geen systematische review. Over de chemische samenstelling van vrijgekomen vloeistoffen is beperkt informatie beschikbaar. De geproduceerde waters zijn erg zout. Ze bevatten hoge concentraties organisch koolstof, koolwaterstoffen en anorganische elementen. Van 81 veelgebruikte fracking chemicaliën zijn de toxiciteitsgegevens in de literatuur geëvalueerd. Voor een derde van de stoffen was in de gebruikte bronnen geen toxiciteitsdata beschikbaar. Een groot deel van de stoffen was laag of matig toxisch, hoewel er ook sterk giftige of carcinogene verbindingen bij zijn. Onder andere biociden zijn een stofcategorie met zorg. Een meer verfijnde hazard assessment op basis van meer uitgebreide chronische toxiciteitsstudies gericht op verschillende eindpunten, is noodzakelijk om tot een meer gebalanceerde risicobeoordeling te komen. Hiervoor is echter een volledig overzicht van aard en concentraties van de chemicaliën die worden toegevoegd een randvoorwaarde. Om ondanks het onvolledig overzicht van de gebruikte chemicaliën en de concentraties van stoffen in de verschillende stromen een onderbouwde uitspraak te doen over risico's, is teruggesproken op het concept van de 'Threshold of Toxicological Concern' (TTC) als conservatieve maar realistische eerste schatter van de risico's. De TTC wordt als maximum gehanteerd voor concentraties grondwater. Dit wordt vergeleken met de geïdentificeerde bandbreedte aan volumes die bij incidenten vrijkomen, en de grondwateraanvulling via regenwater bij een bandbreedte van dichtheid van putten. Aangenomen is dat incidenten gelijkmatig verspreid voorkomen over ruimte en tijd, dat de ondergrond volledig doorlaatbaar is en er geen afname van concentraties van stoffen plaatsvindt. Omdat de exacte gebieden van schalie-exploratie niet gekend zijn, kan niet met locatiespecifieke bodemopbouw gemodelleerd worden. De modellering is zowel uitgevoerd per type fout, als cumulatief voor alle incidenten. De concentratie waarbij geen risico's te verwachten zijn wordt vergeleken met gegevens over volumefracties aan fracking chemicaliën, teneinde een

uitspraak te doen over de mogelijkheid van het optreden van risico's voor de humane gezondheid. De som van de op volumefracties uit de literatuur gebaseerde concentratie in de frack vloeistof ligt in de worst-case berekeningen (hoge dichtheid putten en hoge spillvolumina) boven de maximale concentratie waarop geen risico's zijn te verwachten. Risico's zijn dus niet op voorhand verwaarloosbaar te achten of uit te sluiten. Dit geldt zowel als gerekend wordt met de cumulatie van verschillende spill-routes, als wanneer alleen gerekend wordt met de incidenten rond frack-vloeistof. In de best case berekeningen, zijn daarentegen geen risico's te verwachten.

Effecten op grondwatertemperatuur en grondwaterstroming

Zoet grondwater is de belangrijkste bron van drinkwater in Nederland. Het stabiel houden van het zoet-zout grensvlak en het vermijden van 'upconing' van brak water en verzilting van drinkwaterbronnen is van groot belang voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Door het onttrekken of injecteren van hete vloeistoffen of gassen kan de directe omgeving van een injectie- en winput opwarmen, en kan convectieve stroming ontstaan waardoor de verschillende waterlagen mengen. Naast menging langs zoet - zoutgrensvlakken is ook het mengen van redox gradiënten van belang voor de productie van drinkwater.

Via een verkennende berekening is een temperatuurprofiel van een Nederlandse schaliegasput opgesteld. Als wordt uitgegaan van een productiedebiet van 200.000 m³/d en een temperatuur op winddiepte van 100 °C, resulteert dit in temperaturen tot boven 40 °C op een diepte van circa 50 m-mv. Na ca. 2 jaar zakt de productiesnelheid onder 50.000 m³/dag en zal de temperatuur in de gasput op deze diepte tot onder 20 °C dalen. De opwarming kan kwaliteitsveranderingen van het grondwater veroorzaken, vanwege effecten op de oplosbaarheid van mineralen en gassen, verandering van de microbiologische populaties, mobilisatie van geadsorbeerde neutrale en negatief geladen (oxy)anionen, adsorptie van positief geladen kationen (zoals zware metalen). Bij temperatuur verhoging neemt de oplosbaarheid van gassen in grondwater af, waardoor in bijzondere gevallen ontgassing kan optreden en de grondwaterstroming beïnvloed wordt.

Bij realistische aannames is voor conventionele olie- en gaswinning gemodelleerd dat door opwarming van het grondwater rond de putten vermenging van zoet-zout grensvlakken kan optreden. De mate waarin dergelijke vermenging van zoet- en zoutwaterlagen plaatsvindt hangt af van de temperatuur van de putverbuizing, het zoutconcentratieverschil, de permeabiliteit en mate van anisotropie. De verwachte temperatuur bij een schaliegasput is aanzienlijk lager dan bij conventionele winning. Modelleren van zoet-zout vermenging bij een voor schaliegasput realistische temperatuur van 40 °C voor de eerste 5 jaar en 20 °C voor de daaropvolgende jaren bij verschillende zoutconcentraties laat zien dat convectiestroming lager is en de verspreiding van zoutwater verwaarloosbaar is vergeleken met conventionele gas- en oliewinning en geothermische energiewinning.

Monitoring

De bij het boren en fracken gebruikte chemicaliën en de tijdens de productiefase opgepompte stoffen (olie, gas, formatiewater) zijn potentieel bedreigend voor de grondwaterkwaliteit en daarmee voor de kwaliteit van drinkwater. Monitoring van de effecten van schaliegaswinning op de grondwaterkwaliteit staat internationaal echter nog in de kinderschoenen. Verhoudingsgewijs zijn bodembescherming, monitoring en toezicht op Nederlandse mijnbouwlocaties waaronder toekomstige schaliegaslocaties, goed geregeld. Toch zijn ook bij de Nederlandse praktijk een aantal kanttekeningen te plaatsen. De huidige monitoring op mijnbouwlocaties is bijvoorbeeld beperkt tot een viertal monitoringsfilters in het freatische grondwater rond de productielocatie en het meten van annulaire drukken in de put. Deze metingen stoppen wanneer de put wordt afgedicht en verlaten. Monitoring van de grondwatersamenstelling in dieper gelegen watervoerende pakketten vindt in het geheel niet plaats, terwijl ook hier lekkages van gassen en vloeistoffen kunnen optreden. De annulaire

drukmetingen geven hiervoor wellicht een indicatie, maar geven geen inzicht in de aard en omvang van de geleiakte stoffen. Zeker na het verlaten van de putten, wanneer de annulaire drukmetingen worden gestaakt is monitoring in alle voor kwetsbare functies als drinkwatervoorziening relevante watervoerende pakketten cruciaal. Het huidige analysepakket is beperkt en dient te worden uitgebreid met minimaal analyse op opgeloste gassen en de isotopensamenstelling van methaan en hogere alkanen, aanvullende macro ionen en sporenelementen zoals bromide, arseen, boor etc. en specifieke aan schaliegasproductie gerelateerde chemicaliën. Voorliggende studie laat zien dat met de analyse van de stabiele isotopensamenstelling van methaan en hogere alkanen de herkomst van deze gassen eenduidig kan worden vastgesteld. Hiermee was het mogelijk om aan te tonen dat 50 jaar na de blowout bij Sleen nog steeds migratie van gassen van grote diepte naar het aardoppervlak plaatsvindt.

Bij effectmonitoring moet rekening worden gehouden met dichtheidsverschillen die de transporteigenschappen van geleiakte stoffen beïnvloeden. Zoute formatievloeistoffen zijn zwaarder en zullen uitzakken, terwijl koolwaterstoffen juist naar de bovenkant van het watervoerende pakket zullen migreren. Monitoringsfilters moeten dan ook minimaal boven en onder scheidende (klei)lagen worden geplaatst. Gezien de mogelijkheid van sterke fluctuatie in zoutgehalte is frequente monitoring van het elektrisch geleidingsvermogen aan te bevelen. Om het proces van thermische convectie goed te kunnen bewaken, is tevens frequente monitoring van de temperatuur met de diepte, rond diepe putten gewenst. Voor succesvol identificeren van verontreinigingen is een gedegen nulmeting cruciaal. Juist het ontbreken van goede nulmetingen maakt het in de Verenigde Staten moeilijk om waterkwaliteitsveranderingen als gevolg van schaliegaswinning hard aan te tonen en de veroorzaker aansprakelijk te stellen. In de Nederlandse situatie wordt de nulsituatie vooralsnog alleen vastgelegd voor het ondiepe grondwater en voor een beperkt aantal stoffen. Deze nulmeting moet worden uitgebreid naar alle relevante watervoerende pakketten en stoffen en moet een representatief beeld geven van ruimtelijke en temporele variatie.

Ten aanzien van het proces wordt aanbevolen om in te zetten op een officiële adviesrol van drinkwaterbedrijven bij vergunningverlening inclusief de beoordeling van zowel de monitoringsprogramma's als de grondwaterkwaliteitsrisico's bij eventuele incidenten. De initiatiefnemer is verantwoordelijk voor het opstellen, het laten uitvoeren en de kosten van het monitoringsprogramma. Aanbevolen wordt om de uitvoering van monsternamen en chemische analyses zowel bij nulmetingen als effectmonitoring uit te laten voeren door een gecertificeerde onafhankelijke partij. In het kader van transparantie wordt aanbevolen de analyserapporten gerelateerd aan de nulmeting en effect monitoring vrij beschikbaar te stellen voor belanghebbenden.

Handelingsopties

Gebaseerd op de bevindingen zijn aan het einde van deze studie praktische handelingsopties geformuleerd om de betrouwbaarheid van drinkwater onverminderd hoog te houden. De handelingsopties gaan vergezeld van vereisten gekoppeld aan vergunningverlening en betreffen:

- Openheid over de aard en hoeveelheid van toe te passen chemicaliën
- Locatiespecifieke risicobeoordeling met gedetailleerde opbouw van de ondergrond
- Nulmetingen van de grondwaterkwaliteit voorafgaand aan mijnbouwactiviteiten
- Effect-monitoring rond schaliegasputten tijdens en na opsporing en winning
- Planmatig(e) hergebruik en verwerking van retourstromen

4.8 Ondergrondse verwijdering OMV-DEMEAU

Onderzoekers

Niels Hartog en Andreas Antoniou

Doel

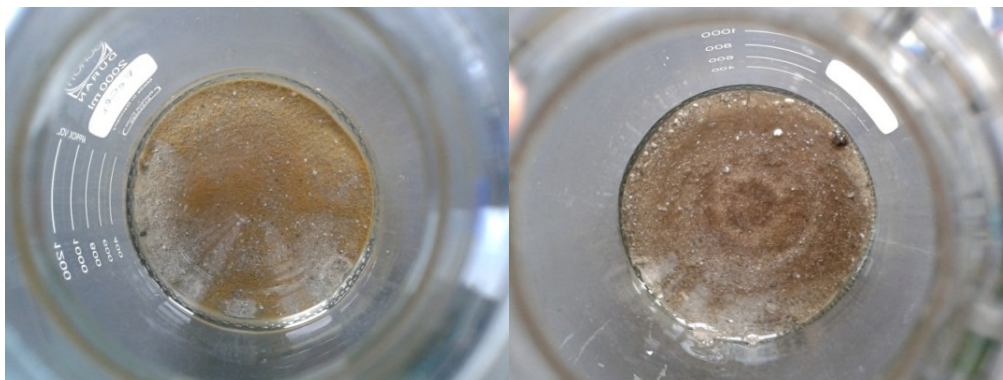
In deze studie is verkend wat de mogelijkheden zijn voor ondergrondse waterzuivering bij grondwateronttrekkingen. Hierbij wordt de reactiviteit van het sediment rondom een onttrekkingsput verhoogd, waardoor er (voor)zuivering plaatsvindt al voor het grondwater de onttrekkingsput bereikt. Specifiek is er in deze studie gekeken naar de verwijdering van 11 geselecteerde organische microverontreinigingen (OMVs) door aanrijking van het sediment met ijzerhydroxide dan wel mangaanoxide.

Opbrengsten

Resultaten lieten een verbeterde verwijdering zien van een aantal OMV's in de met ijzerhydroxides en/of mangaanoxides aangerijkte sedimenten ten opzichte van het onbehandelde referentiesediment. Het duidelijkst was de verbeterde afbraak van glyfosaat en AMPA. In onze studie was de aanrijking met ijzerhydroxiden en mangaanoxiden in de behandelde sedimenten slechts klein (0,01% van het beschikbare porievolume). Daarom kan een aanzienlijke stijging van OMV verwijdering snelheden worden verwacht met sterkere aanrijkingen. Alleen de verwijdering van sulfamethoxazool, werd sterk nadelig beïnvloed in de behandelde sedimenten ten opzichte van het onbehandelde sediment.

Een algemene evaluatie van de mogelijkheden voor het toepassen van ondergrondse waterzuivering suggereert dat het verhogen van de sedimentreactiviteit rond een put kan zorgen voor een efficiënte optie om OMV te verwijderen uit grondwater voordat het wordt gewonnen. Het grote beschikbare porievolume in de sedimenten rondom een put maakt het mogelijk de sediment aan te rijken met relatief grote hoeveelheden deeltjes of neerslagen, zonder dat deze de permeabiliteit significant verminderen. De langere reistijden richting de put maken langere contacttijden voor OMV verwijdering mogelijk dan beschikbaar tijdens bovengrondse behandeling. Dit kan zelfs langzame verwijderingsprocessen efficiënt maken in de verwijdering van OMVs. Zo zouden, voor de meest voorkomende put- en onttrekkingscondities, reacties met een halveringstijd tot 30 uur 95% verwijdering opleveren binnen een behandelde zone met een straal van 25 meter rond de put.

De resultaten zijn beschreven in rapport BTO 2013.053 'The potential of near-well subsurface water treatment - Testing the enhanced removal of 11 organic micropollutants using iron and manganese oxide precipitates'.



Figuur 1. Left: Fe-hydroxide precipitates after $FeCl_2$ treatment. Right: Mn-oxide precipitates after MnO_4^- treatment

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Om tot praktijktoepassing van ondergrondse waterbehandeling te komen, zouden toekomstige studies moeten kijken naar geschikte methoden voor het verhogen van de sedimentreactiviteit rond een put, zowel in termen van kosteneffectiviteit, de benodigde mate van (her)behandeling van sediment en verwijderingsrendementen. Ook moeten mogelijke negatieve effecten op de waterkwaliteit en de werking van de put worden beschouwd.

In deze studie werden sedimenten aangerijkt met ijzerhydroxide en mangaanoxide. Ook zou het aanrijken van het sediment rond een grondwateronttrekkingsput met andere reactieve neerslagen of deeltjes (bijvoorbeeld adsorben of nano-ijzer) kunnen worden overwogen. Deze afweging zou afhankelijk van de eigenschappen van de te verwijderen OMV en locatiespecifieke omstandigheden gemaakt kunnen worden. Om nauwkeuriger de effecten van ondergrondse behandeling te kunnen anticiperen, moeten toekomstige studies de verwijdering van specifieke OMV's te onderzoeken, onder in meer detail nagebootste veldomstandigheden, gebruikmakend van locatiespecifieke kenmerken als grondwaterkwaliteit en sedimenteigenschappen.

5 Enabling Technologies

5.1 Autonome inspectierobots

Onderzoekers

Peter van Thienen, Ralph Beuken, Ina Vertommen

Doel project

Effectief assetmanagement vergt gegevens over de toestand van leidingen, waarbij met name leidingen met een hoge faalkans en een groot effect bij falen prioriteit verdienen. Er bestaan diverse technieken om de toestand in situ vast te stellen, maar deze zijn nog niet perfect en universeel toepasbaar. In dit onderzoek (fase 0) wordt onderzocht wat de kansen en mogelijkheden zijn van Autonome Inspectierobots (AIR).

Opbrengsten

Om aan alle specifieke vereisten die de speciale aard van het leidingnet met zich meebrengt te voldoen, wordt een concept voor inspectie voorgesteld dat afwijkt van alle op dit moment toegepaste benaderingen. Het gaat hierbij om een systeem van autonoom opererende robots (AIRs, autonome inspectierobots) die zich permanent in het leidingnet bevinden en die voorzien zijn van diverse sensoren voor onder andere toestandsbepaling van leidingen. Ter vergelijking zijn enkele alternatieve concepten uitgewerkt. Een inventarisatie van de ontwikkelbehoeften van de bedrijven voor technieken voor enerzijds het vaststellen van het optreden of voortschrijden van specifieke degradatiemechanismen en anderzijds voor aanvullende inspectiebehoeften (zoals visuele inspectie, xyz-bepaling, monsternamen, etc.) zijn gebruikt om vast te stellen in hoeverre het autonome robotsysteem voorziet in een behoefte bij de waterbedrijven. Ter vergelijking is dezelfde analyse op de alternatieve concepten toegepast. Vervolgens zijn de benodigde karakteristieken van een dergelijk systeem uitgeschreven, een businesscase ervoor doorgerekend, en zijn de contouren voor een ontwikkeltraject voor dit robotsysteem geschetst.

Toepassing van de hierboven beschreven analyse laat zien dat de AIR duidelijk meer oplossingen biedt die beter aansluiten op de door de bedrijven geuite ontwikkelingsbehoefte dan twee andere concepten. Hiermee kan een voorkeur voor dit concept boven de alternatieve concepten worden uitgesproken voor ontwikkeling. Inzet van de autonome inspectierobot kan een aanzienlijk financieel voordeel brengen: besparingen door voorkomen van te vroege vervanging, reductie van lekverlies en reductie van storingen bedragen naar beste inschatting in totaal 22,7 miljoen euro per jaar voor heel Nederland. Dit levert een financiële ruimte voor toepassing van de robots van maximaal 38 k€ per robot per jaar op bij tweemaal jaarlijks inspectie van het volledige toegankelijke netwerk. Daarnaast bestaan diverse bijkomende voordelen, die weliswaar moeilijker te becijferen zijn, maar wel degelijk ook een financiële waarde vertegenwoordigen, zoals de mogelijkheid tot monitoring bij werkzaamheden en systeemverbetering. De kosten voor aanschaf en exploitatie van robots, inclusief de kosten van een systeem voor energievoorziening en dataverwerking, zijn geschat op 45 k€ per robot per jaar. Hiermee kunnen we concluderen dat de financiële baten en lasten van een vergelijkbare orde grootte zijn. Dit feit, in combinatie met de niet kwantificeerbare voordelen, leidt tot de conclusie de business case als positief te beoordelen.

Samenwerking

In het onderzoek naar de AIR, fase 1, is specifiek aandacht besteed aan de drinkwatersector. Vanuit verschillende bedrijven is input geleverd m.b.t. inspectiebehoeften, wat heeft geleid tot een brede inventarisatie.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Aanbevolen wordt om de ontwikkeling van een autonoom robotsysteem daadwerkelijk uit te gaan voeren in fase 1. Toepassing van autonome inspectierobots zal de kennisbasis voor assetmanagementbeslissingen vergroten en de kwaliteit van de elementen die de basis vormen voor deze beslissingen verbeteren. Bovendien wordt de algehele systeemkennis verbeterd. Hiermee kunnen ingrepen in het systeem gericht en accurater worden uitgevoerd en worden ook modelberekeningen waarop operationele, tactische of strategische beslissingen worden gebaseerd betrouwbaarder.

5.2 Digitale droplet PCR



Onderzoeker

Bart Wullings

Doel project

De doelstelling van de scan is om in enkele pilotexperimenten te onderzoeken of de 'digitale droplet PCR' (ddPCR) voldoet om nauwkeurig lage concentraties DNA-moleculen te bepalen en referentie-DNA nauwkeurig te kwantificeren.

Opbrengsten

Moleculair-biologische methoden maken het mogelijk om snel(er) en nauwkeurig(er) de microbiologische drinkwaterkwaliteit te bepalen. Voor betrouwbare detectie van ziekteverwekkers tussen de 'zee' van micro-organismen in water is het van groot belang om zeer nauwkeurig zeer lage aantallen micro-organismen in de vorm van DNA-kopieën te bepalen. Een nieuwe ontwikkeling op PCR-gebied is de digitale droplet PCR (ddPCR) die dit nog beter mogelijk moet maken en hiermee een aanvulling zou kunnen zijn op de 'standaard' qPCR-methode. Het principe van de ddPCR berust op het uitvoeren van een groot aantal PCR-reacties in kleine gesloten vetbolletjes (druppel/micellen). Een DNA-monster wordt samen met een PCR-mix gemengd met een speciaal vetmengsel waarna in de zogenaamde 'droplet generator' het DNA wordt verdeeld over ongeveer 15.000 tot 20.000 druppels. In deze emulsie van druppels wordt vervolgens een PCR-reactie uitgevoerd. De PCR-reacties vinden plaats in de individuele druppeltjes met een volume van ongeveer 10nl. Na afloop van de PCR-reactie wordt een scan uitgevoerd van de afzonderlijke druppels. Met behulp van een fluorescent gelabelde DNA-probe of een DNA-kleurstof (Sybrgreen) wordt geanalyseerd of het specifieke DNA-fragment is vermenigvuldigd. Door het tellen van het aantal fluorescent gelabelde micellen wordt de concentratie bepaald (+ of -).

In overleg met de leverancier (Biorad) was het mogelijk om dit systeem enkele dagen in het laboratorium op proef te plaatsen en experimenten uit te voeren. De drinkwaterlaboratoria waren allen zeer geïnteresseerd in deze techniek en wilden graag aansluiten bij deze pilot.

Om aan deze wens te voldoen is gedurende de testperiode een workshop georganiseerd waarbij vertegenwoordigers van drie laboratoria aanwezig waren. Het doel van deze workshop was om de laboratoria zowel theoretisch als praktisch kennis te laten maken met het systeem.

Gedurende de testperiode zijn verschillende commercieel verkrijgbare en intern gebruikte DNA-standaarden gekwantificeerd met de ddPCR. Deze DNA-standaarden worden in de qPCR gebruikt om DNA-ijklijnen te genereren voor kwantificatie. Het was echter tot op heden zeer moeilijk om dit referentie-DNA nauwkeurig te kwantificeren. De ddPCR zorgt hier voor een doorbraak omdat nu voor het eerst de gehele DNA-kalibratierange zeer nauwkeurig kan worden gekwantificeerd. Ook de kwantificatie van DNA-kopieën tussen 1-1000 kopieën is met ddPCR preciezer en, indien gewenst, een aanvulling op de qPCR-methode. Beperkingen van de ddPCR zijn dat de uitvoering van de ddPCR meer 'hands on time' vraagt, de verbruiksgoederen duurder zijn en er per dag minder monsters kunnen worden geanalyseerd.

Samengevat kan worden geconcludeerd dat de ddPCR een belangrijke aanvulling is op de 'standaard' qPCR omdat voor het eerst mogelijk is een DNA-kalibratiesuspensies nauwkeurig te kwantificeren en tevens is het mogelijk DNA-kopieën in watermonsters zeer nauwkeurig te kwantificeren.

Samenwerking

Gedurende de workshop heeft intensieve kennisuitwisseling plaatsgevonden met vertegenwoordigers van de drinkwaterlaboratoria.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Voorgesteld wordt om het ddPCR-systeem bij KWR en mogelijk bij een of meer drinkwaterlaboratoria aan te schaffen. In 2014 is een BTO-project gestart binnen het thema Nieuwe meetmethoden en sensing waarin de ddPCR wordt toegepast om de qPCR-methoden verder te valideren.

5.3 De mogelijkheden voor ondergrondse grondwaterzuivering rondom putten

Onderzoekers

Niels Hartog en Andreas Antoniou

Doel project

Organische microverontreinigingen (OMVs) vormen voor veel kwetsbare grond- en oevergrondwaterwinningen een continue bedreiging die een hoge zuiveringsinspanning vereisen. Veel van de OMVs die in ruw water worden aangetroffen zijn relatief polair. Hierdoor interacteren deze stoffen weinig met apolaire bestanddelen in de ondergrond zoals organisch materiaal en kooldeeltjes, en zijn ze relatief mobiel. Recent is het voor een aantal OMVs duidelijk geworden dat zij sterk interacteren met hydrofiele minerale fasen. Zo is voor glyfosaat, AMPA en metolachloor bekend dat deze stoffen adsorberen aan ijzer- en mangaan(hydr)oxiden, en onder invloed van deze stoffen kunnen afbreken (bijvoorbeeld Barrett and McBride, 2005 en Lee and Benson, 2004).

Echter, deze ijzer- en mangaan(hydr)oxiden zijn van nature slechts in lage gehalten (<1%) aanwezig in aquifersedimenten. Daarom zouden deze gehalten lokaal kunnen worden verhoogd door het creëren van een ondergronds reactief scherm nabij winningsputten. In een recent speerpuntonderzoek, waarbinnen de toepassingsmogelijkheden van ondergrondse in-situ technieken ten behoeve van drinkwaterproductie werden verkend, kwam het lokaal verhogen van de reactiviteit van de ondergrond al naar voren als een kansrijke techniek. Tevens zijn er waarnemingen die erop wijzen dat de toepassing van ondergrondse ontijzering (in Nederland voornamelijk door Vitens en Oasen toegepast), de gehalten aan organische micro- verontreinigingen in het ruwwater vermindert. Een voor de hand liggende hypothese is dat dit door de ondergrondse aanrijking met ijzerhydroxiden komt, maar dit is nog niet onderzocht.

Door gebruik te maken van de ruimte en de tragere stromingssnelheden in de ondergrond, in vergelijking tot bovengrondse zuivering, kan met ondergronds zuiveren een langere blootstellingsduur gerealiseerd worden, wat kan bijdragen aan een hoger verwijderingsrendement voor polaire organische micro- verontreinigingen.

In dit onderzoek zijn voor 11 van de meest voorkomende OMVs vastgesteld of, en in welke mate, deze adsorberen dan wel afbreken tijdens interactie met verhoogde gehalten aan ijzer- dan wel mangaanhydroxiden in aquifersedimenten. Op basis hiervan is vastgesteld onder welke condities en voor welke OMVs de toepassing van deze ondergrondse in-situ techniek meerwaarde kan bieden in aanvulling op bestaande bovengrondse behandelingsmethoden.

Opbrengsten

- In laboratoriumonderzoek is bepaald welke van de onderzochte organische microverontreinigingen versterkt verwijderd werden onder invloed van mangaan- en ijzerhydroxiden, en in welke mate. Dit geeft voor welke OMVs de aanrijking met deze mineralen extra verwijdering te verwachten is bij ondergrondse waterzuivering. Van de 11 geteste OMVs, werd met name de verwijdering van glyfosaat en het afbraakproduct AMPA gestimuleerd. Voor de overige geteste OMVs was er geen of geen duidelijke stimulering van de verwijdering. Mogelijk dat bij sterkere aanrijkingen en/of meer op de veldsituatie gelijkende condities een sterkere verwijdering zal optreden.
- De resultaten zijn getoetst aan de condities van ijzer- en mangaan(hydr)oxide neerslagen zoals die optreden bij ondergrondse ontijzering en aquifer storage and recovery (ASR) gegenereerd worden. Er is vastgesteld dat deze hoeveelheden heel laag zijn en dat verhoging tot betere OMV verwijdering kan leiden.

- Op basis van individuele putgegevens (filterlengte, filterdiameter en onttrekkingsdebiet) zijn de beschikbare ruimte voor ondergrondse waterzuivering (reactorvolume) en de reistijden naar de put (contacttijd) simpel vast te stellen.
- Er is voor ondergrondse waterzuivering generiek vastgesteld welke mate van behandeling nodig is om een bepaalde mate OMV verwijdering te kunnen realiseren. Deze afleiding is generiek en kan dus gebruikt worden elke toe te passen verwijderingsreactie voor ondergrondse water zuivering. Enige inputgegevens die hiervoor nodig zijn (1) de halfwaarde tijd van de verwijderingsreactie die door reactiviteitsverhoging van sediment gerealiseerd wordt (bv. door aanrijking met ijzer- en mangaanhydroxiden) blootstellingsduur) en (2) de straal van sediment rondom de winningsput waar de reactiviteitsverhoging gerealiseerd wordt.

Samenwerking

Er is vooral samengewerkt WML (Birgitta Putters).

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Voorstel is om de resultaten van dit onderzoek te bespreken binnen de themagroepen *Duurzame bronnen en watersystemen* en *Drinkwatertechnologie van de toekomst*. Op basis hiervan kan verkend worden hoe en in welke mate de verdere ontwikkeling van deze techniek in BTO Thematisch Onderzoek, Speerpuntonderzoek of in academisch onderzoek kan worden opgepakt.

5.4 CompActief Kool

Onderzoekers

Emile Cornelissen en Luc Palmen

Doel project

Vaststellen in welke gevallen de efficiëntie van actiefkoolfiltratie (AKF) verhoogd kan worden door voorgeschakelde anionenwisseling (AIX) voor het verwijderen van NOM.

Opbrengsten

- Een kort overzicht van beschikbare kennis uit rapporten en wetenschappelijke literatuur over combinaties tussen anionenwisseling en actiefkoolfiltratie;
- Met Compactief Kool (AIX-AKF) is een besparing van ca. 20% mogelijk ten opzichte van alleen AKF in een nieuwbouw situatie;
- Voor bestaande AKF installaties is geen besparing mogelijk door deze om te bouwen tot Compactief Kool;
- De resultaten zijn gepresenteerd in het rapport BTO 2013.056.

Samenwerking

In samenwerking met de volgende bedrijven en personen zijn aanvullende gegevens over actiefkool en de kostenberekening verkregen: WML (Willem van Pol voor actiefkool gegevens en reactivatiekosten van actief kool) en RHDHV (Marcel Bakker over kostenberekening).

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Er zijn onzekerheden met betrekking tot de effectiviteit van de toepassing van voorgeschakelde AIX. Zo is nog onbekend welk NOM-type het meest invloed heeft op de effectiviteit en welke procentuele verwijdering van dit NOM-type door AIX behaald kan worden. Deze onzekerheden kunnen worden weggenomen in een eventuele vervolgfase van het project waarbij geschikte AIX-harsen moeten worden geselecteerd voor het Compactief-Koolprincipe. Voorgesteld wordt om een experimenteel vervolgonderzoek uit te voeren in het Verkennend Onderzoek.

De resultaten zijn beschreven in het rapport BTO 2013.056, dat is gedeeld met de samenwerkende drinkwaterbedrijven en de themagroep *Drinkwatertechnologie van de Toekomst*.

5.5 Actief-koolfilters: Operatie geslaagd, dokter overleden?

Onderzoeker

Luc Palmen

Doel project

De meeste drinkwaterproductielocaties die oppervlaktewater of oeverfiltraat als bron voor drinkwaterproductie gebruiken zijn uitgerust met actiefkoolfiltratie. Ook zijn verschillende grondwaterproductielocaties uitgerust met actief kool. De redenen voor toepassing van kool lopen uiteen, vaak is adsorptie van organische microverontreinigingen het doel. De kool dient regelmatig gereactiveerd worden om de adsorptiecapaciteit te herstellen. De reactivatiefrequentie is in het verleden vaak proefondervindelijk bepaald, eventueel in overleg met de koolleverancier, om doorslag van de targetcomponent te voorkomen. Tegenwoordig zijn de betreffende targetcomponenten vaak nauwelijks meer meetbaar aanwezig. In dat geval is het reactivatiecriterium daarmee niet meer actueel.

Uit BTO-onderzoek in de periode 2010-2012 is naar voren gekomen dat het te overwegen is om niet altijd de waterkwaliteit als uitgangspunt te nemen voor reactivatie, maar in plaats daarvan de koolkwaliteit. Het zou immers zo kunnen zijn dat de filtraatkwaliteit voor lange tijd voldoende is, maar dat te lange looptijden (zonder doorslag) ertoe leiden dat de kool een slechte kwaliteit krijgt en daardoor moeilijk te reactiveren is. Dit leidt tot kostbare reactivatie met veel koolverlies of kostbare vervanging van de kool. Ook zijn gevallen bekend waarin de koolkwaliteit reden voor de koolleverancier was om de kool niet voor reactivatie te accepteren. In dergelijke gevallen geldt: operatie geslaagd (het water is gezuiverd), maar de dokter is overleden (ten koste van de kool).

Uit het voorgaande onderzoek is gebleken dat statistische correlaties bestaan tussen koolkwaliteit, bedrijfsvoering en waterkwaliteit, en dat het zelfs mogelijk is iets te zeggen over hoe sommige koolparameters binnen acceptabele grenzen gehouden kunnen worden door de reactivatiefrequentie af te stemmen op de waterkwaliteit. Echter, die studie heeft niet geleid tot een eenduidig of overtuigend nieuw reactivatiecriterium. De correlaties werden namelijk gevormd op basis van de ruw- en reinwaterkwaliteit (REWAB). Door toepassing van de ruw- en reinwaterkwaliteit zijn de correlaties vertroebeld omdat waterkwaliteitsparameters voor en na actiefkoolfiltratie kunnen veranderen ten opzichte van de ruw- en reinwaterkwaliteit. Het is nauwkeuriger om de correlaties te vormen op basis van de influent- en effluentkwaliteit van de actiefkoolfilters.

Het doel van dit verkennend onderzoek is te achterhalen of het met een beperkte set van waterkwaliteitsdata mogelijk is om te komen tot betekenisvollere en meer overtuigende correlaties en mogelijk tot nieuwe reactivatiecriteria. Is het mogelijk om een bandbreedte aan te geven voor een reactivatiefrequentie van actief-koolfilters waarbinnen de koolkwaliteit gehandhaafd blijft ten einde grote reactivatieverliezen te voorkomen?

Opbrengsten

- Ten opzichte van de voorgaande onderzoeken is een groter aantal statistische correlaties gevonden en zijn de correlaties bovendien sterker. De gevonden correlaties kunnen richtinggevend zijn bij het (opnieuw) vaststellen van de reactivatiefrequentie in het geval dat koolkwaliteit daarbij een belangrijke rol speelt. Het doel van toepassing van de correlaties is tweeledig: i) voorkomen dat relevante koolparameters (jodiumgetal, calciumgetal) leiden tot een ongewenste kool classificatie, en ii) voorkomen dat de kool te snel gereactiveerd wordt.
- Voor bestaande actiefkoolinstallaties met een duidelijk reactivatiecriterium, zoals de doorslag van een bepaalde waterkwaliteitsparameter, is het niet noodzakelijk om de

- gegeven correlaties toe te passen, mits de standtijd niet te lang wordt.
- Voor bestaande installaties waarbij het oorspronkelijke reactivatiecriterium niet meer van toepassing is of waarbij reactivatie niet op basis van een waterkwaliteitsparameter is gebaseerd, kunnen de relaties met standtijd en waterkwaliteit (cumulatieve koolbelasting) een indicatie geven van de reactivatiefrequentie.
 - Voor nieuwe actiefkoolinstallaties (in geval van een nieuwe zuiveringslocatie, een veranderde grondstof, of verse kool) kunnen de gevonden correlaties met standtijd en waterkwaliteit (cumulatieve koolbelasting) een indicatie geven van de reactivatiefrequentie, aanvullend op kennis over doorslag en de informatie van de koolleveranciers.
 - Om een inschatting te maken van het vervangingsmoment van de kool kunnen de gevonden correlaties met de levenslange koolbelasting mogelijk worden toegepast.
 - Het lijkt nauwelijks haalbaar om de kool zodanig te reactiveren, dan wel de waterkwaliteit zodanig aan te passen, dat de kool in de hoogste classificering terecht komt (klasse I). Wel kunnen de correlaties toegepast worden om te voorkomen dat de kool in de laagste classificering terecht komt (klasse III).

Samenwerking

In samenwerking met de volgende bedrijven en personen zijn aanvullende gegevens over waterkwaliteit en bedrijfsvoering verkregen: Brabant Water (H. van der Rakt, J. Gude), Evides (R. van Asperen, R. Schurer), PWN (B. Lohmann, I. Worm), Vitens (F. Schoonenberg), Waternet (R. van der Aa, F. van Schooten), WLN (M. Boorsma), WML (W. van Pol).

Voorstel voor implementatie

Verschillende drinkwaterbedrijven voeren onderzoek uit naar reactivatiecriteria en de reactivatiefrequentie van actief kool. De gevonden correlaties kunnen in dergelijk onderzoek van toegevoegde waarde zijn. De waarde van de gevonden correlaties kan middels proefonderzoek getoetst worden, of in de praktijk worden aangetoond. De resultaten zijn beschreven in het rapport BTO 2013.239(s), dat gedeeld wordt met de samenwerkende drinkwaterbedrijven en de themagroep *Drinkwatertechnologie van de toekomst*.

5.6 Affiniteitsadsorptie verwijdering organische microverontreinigingen

Onderzoekers

Roberta Hofman-Caris en Patrick Bäuerlein

Doel project

Organische microverontreinigingen komen steeds meer voor in bronnen voor drinkwater. In veel gevallen blijken deze verontreinigingen door de drinkwaterzuivering in onvoldoende mate verwijderd of omgezet te worden. Uit eerder onderzoek is gebleken dat affiniteitsadsorptie geschikt is voor de verwijdering van speciale doelstoffen, en bovendien heel specifiek stoffen verwijdert, waardoor de techniek minder gevoelig is voor de aanwezigheid van andere stoffen in de watermatrix. Dit maakt affiniteitsadsorptie een veelbelovende zuiveringstechnologie die op verschillende plaatsen in de watercyclus inzetbaar kan zijn om te voorkomen dat organische microverontreinigingen in het drinkwater terechtkomen:

- in de drinkwaterzuivering als polishing step. Diverse van de nu toegepaste processen blijken heel geschikt te zijn om een breed scala aan organische microverontreinigingen te verwijderen c.q. om te zetten (membraanfiltratie, geavanceerde oxidatie, actief kool), maar voor bepaalde verbindingen zijn deze processen niet geschikt, of alleen tegen heel hoge kosten c.q. een heel hoog energieverbruik. In dat geval kan affiniteitsadsorptie als extra filtratiestap worden ingezet om juist die verbindingen alsnog te verwijderen.
- aan de bron. Veel organische microverontreinigingen (zoals geneesmiddelen) komen via het effluent van RWZI's terecht in bronnen voor drinkwater. Dit kan voorkomen worden door aan de bron (d.w.z. in de toiletpot via toiletpapier of -blokjes met een adsorbens) dergelijke stoffen al te adsorberen, zodat ze bijvoorbeeld tegelijk met het slib van een RWZI kunnen worden afgevoerd. Juist geneesmiddelen zijn vanwege hun structuur bij uitstek geschikt om ze via affiniteitsadsorptie te verwijderen, vooral ook omdat concurrentie vanuit de matrix hier een kleinere rol lijkt te spelen.

Beide mogelijkheden hebben de interesse van de drinkwaterbedrijven, die willen voorkomen dat organische microverontreinigingen in het drinkwater terechtkomen. Op het ogenblik staat affiniteitsadsorptie echter nog in de kinderschoenen, en er is nog veel onderzoek nodig naar allerlei aspecten ervan. Samen met de drinkwaterbedrijven (themagroep *Drinkwatertechnologie van de toekomst*), universiteiten (TU Delft en UvA) en Waterschap Roer en Overmaas, is afgesproken om een groot onderzoek te starten met financiering via STW en/of subsidies. Om dat te kunnen doen is eerst deze haalbaarheidsstudie uitgevoerd in het kader van het BTO Verkennend Onderzoek. Hierin is uitgezocht wat de mogelijkheden voor toepassing en de economische en technologische aspecten daarvan zijn. Ook is aangesloten bij het project TAPES1), waarin projectpartner TZW het plan heeft om kolomproeven met nieuwe adsorbentia uit te voeren.

Opbrengsten

- 'Proof of principle' met gemodificeerde silicadeeltjes. Deze deeltjes zijn eenvoudig te maken en (deels) ook commercieel verkrijgbaar. Ze zijn in te zetten voor zowel drinkwaterzuivering (als 'polishing step') als voor zuivering direct aan de bron (in het toilet). Bij die laatste toepassing hebben deze deeltjes het voordeel dat ze relatief zwaar zijn, en dus in een RWZI eenvoudig verwijderd kunnen worden. Wanneer ze met het slib worden verbrand blijft onschadelijk silica over.
- 'Business case': op het ogenblik is het nog lastig om een reële kostenschattting te maken, omdat deze adsorbentia nog niet op de gewenste schaalgrootte verkrijgbaar zijn. In vergelijking met bijvoorbeeld polymeren-adsorbentia zijn ze wel goedkoper en

eenvoudiger in te passen in drinkwater- of afvalwaterzuivering. Verwijdering aan de bron, waar relatief hoge concentraties van specifieke geneesmiddelen voorkomen, is mogelijk effectiever en efficiënter dan tijdens drinkwaterzuivering, waar een breed scala geneesmiddelen in heel lage concentraties verwijderd moet worden.

- Toepassingsmogelijkheden in afvalwaterzuivering: Van Houtum B.V. (leverancier van hygiënapapier in innovatieve oplossingen voor toilethygiëne), wil meewerken aan een pilot, waarbij dergelijke adsorbentia bijvoorbeeld via een doseersysteem in de stortbak worden toegepast. Het Academisch Ziekenhuis Utrecht heeft toegezegd te willen meewerken aan de proef.
- Er zijn drie verschillende subsidietrajecten mogelijk: 1) TKI (voorstel ingediend via TU Delft) voor onderzoek naar technologische aspecten, 2) via de faculteit farmacie in Utrecht wordt een WMO- aanvraag gedaan voor een MVI-call (maatschappelijk verantwoord innoveren), waarbij de nadruk ligt op hoe mensen te motiveren dit soort technieken te gebruiken, 3) binnen KWR is de mogelijkheid verkend om een voorstel te schrijven voor een call in het kader van H2020 voor 2015.

Samenwerking

Er is samengewerkt met de TU Delft (prof. J.P. van der Hoek en prof. L.C. Rietveld), Universiteit Utrecht (prof. Pietersen), prof. Pim de Voogt (KWR en UvA), Huize Aarde, Van Houtum B.V., Waterschap Roer en Overmaas (Harry Tolkamp), WBL (Ad de Man), TZW (Brigitte Haist-Gulde) en FHNW (Thomas Wintgens) in het kader van Tapes. Dit heeft geresulteerd in enkele voorstellen voor samenwerking, twee 'subsidie'- aanvragen en de toezegging mee te werken aan een pilotonderzoek op grotere schaal.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De resultaten zijn in de themagroep *Drinkwatertechnologie van de toekomst* gemeld. Vervolgonderzoek zou in eerste instantie gericht moeten worden op technologische aspecten (optimalisatie modificatie van silica-deeltjes, adsorptie-kinetiek, onderzoek naar invloed NOM). Wanneer een iets grotere batch adsorbentia beschikbaar is, kan die worden uitgetest in het ziekenhuis. Hierbij kan zowel worden gekeken naar technologische aspecten (als effectiviteit) als naar acceptatie door artsen en patiënten.

5.7 CT-scan voor begraven leidingen

Onderzoeker

Peter van Thienen

Doel project

Het doel van dit project was om te bepalen of een akoestische tomografische conditiebepaling van begraven leidingen op basis van voortplanting van geluid door de buiswand mogelijk is en meerwaarde biedt ten opzichte van bestaande niet-destructieve conditiebepalingstechnieken.

Opbrengsten

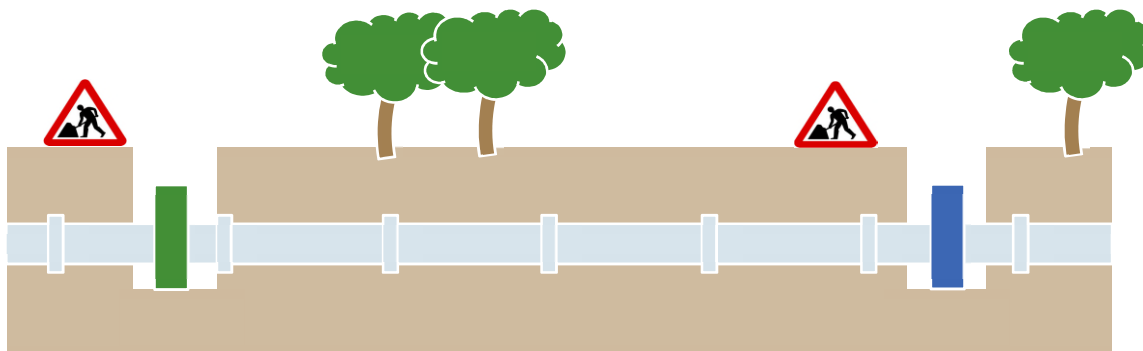
Op basis van dit verkennende onderzoek lijkt de grootste hindernis voor toepassing van ultrasonische tomografie op begraven leidingen de demping van de golf te zijn, die met enkele meters de golfenergie met een factor 1000 of meer kan doen afnemen. Voor alle materialen vindt er bovendien een aanzienlijk lekkage van golfenergie naar de ondergrond plaats. Hiermee blijft de mogelijke toepassing van de methodiek beperkt tot afstanden kleiner dan 10 meter (lengterichting buis) voor staal en gietijzer. Zo wordt toepassing van deze methode niet minder ingrijpend dan die van bestaande niet-destructieve inspectiemethoden.

Samenwerking

Twee medewerkers van TNO met expertise op het gebied van de ultrasonische tomografische inspectie van olie- en gasleidingen hebben inhoudelijke kennis bijgedragen aan het project.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Aangezien de toepassing van tomografische conditiebepaling op begraven drinkwaterleidingen op dit moment weinig kansrijk lijkt, wordt aanbevolen nu geen energie te steken in de ontwikkeling van methoden op dit gebied specifiek gericht op drinkwatermaterialen. Het kan echter interessant zijn om de methodiek zoals deze reeds door TNO wordt toegepast op stalen leidingen een keer in het veld te beproeven op een stalen of gietijzeren drinkwaterleiding, voordat deze wordt uitgenomen voor destructieve conditiebepaling. Zo kan worden vastgesteld of de tomografische methode bruikbaar is voor het bepalen van de noodzaak van uitname van leidingsegmenten. De ontwikkelingen staan echter niet stil. Het is denkbaar dat meer geavanceerde technieken zullen worden ontwikkeld, die de toepasbaarheid op drinkwaterleidingen mogelijk vergroten. Daarom wordt aanbevolen de ontwikkelingen op het gebied van tomografische conditiebepaling, met name de zogenaamde diffractietomografie, buiten de watersector te blijven volgen.



5.8 Een nieuwe kans voor ozon? Geavanceerde oxidatie op basis van O_3/MnO_2 voor drinkwaterbehandeling

Onderzoekers

Roberta Hofman-Caris en Wolter Siegers

Doel project

Het doel van dit onderzoek is na te gaan of ozon in combinatie met MnO_2 leidt tot een effectief geavanceerd oxidatieproces voor organische microverontreinigingen, zonder dat hierbij bromide wordt omgezet in bromaat.

Opbrengsten

- Ozon blijkt een krachtige oxidator te zijn voor een breed scala aan organische microverontreinigingen als geneesmiddelen. Processen gebaseerd op ozon vereisen over het algemeen minder energie dan andere processen als UV/ H_2O_2 of membraanprocessen.
- Het lijkt erop dat de aanwezigheid van MnO_2 de omzetting van organische verbindingen, die minder gemakkelijk door ozon worden omgezet, bevordert. Dit betekent dat een lagere ozonconcentratie nodig is om toch een goede omzetting te bewerkstelligen.
- Het is bekend dat een lagere ozonconcentratie leidt tot een beperking van de bromaatvorming. Om vast te stellen of de toepassing van O_3/MnO_2 processen inderdaad leidt tot minder bromaatvorming is meer onderzoek nodig. Hiervoor moet de beschikbare laboratoriumopstelling geoptimaliseerd worden.

Samenwerking

Bij dit onderzoek is samengewerkt met Nijhuis Ozone Solutions. Zij hebben de beide keramische blokken, met en zonder MnO_2 -coating, geleverd, waaromheen door KWR een reactor is ontworpen en gebouwd.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Ondanks de veelbelovende resultaten roept het proces dat plaatsvindt op het MnO_2 -oppervlak nog veel vragen op. Om met zekerheid te kunnen vaststellen dat toepassing van MnO_2 als katalysator inderdaad leidt tot een lagere benodigde ozondosis en beperkte bromaatvorming is meer onderzoek nodig. Hiervoor moeten de reactor en de ozongenerator beter op elkaar worden afgestemd, zodat met een vaste en bekende ozondosis gewerkt kan worden. Tevens is het van belang na te gaan wat de invloed is van factoren als pH en het type MnO_2 in de coating op het proces. Hierbij zal worden samengewerkt met Nijhuis Ozone Solutions.

5.9 qPCR voor Fusarium

Onderzoekers

Leo Heijnen en Paul van der Wielen

Doel project

Achterhalen of kwantitatieve PCR-methoden voor de detectie van Fusarium beschikbaar zijn en, indien beschikbaar, deze methoden zijn in te zetten voor de specifieke en kwantitatieve detectie van (ziekteverwekkende) Fusarium-soorten in drinkwater.

Aanleiding

Het vóórkomen van ziekteverwekkende micro-organismen vormt een potentieel risico voor de gezondheid van de consument en voor de betrouwbaarheid van drinkwater zonder desinfectieresidu. In het BTO heeft de afgelopen jaren onderzoek plaatsgevonden naar opportunistische pathogenen in drinkwater, omdat opwarming van het drinkwater door klimaatverandering en stijging van het aantal mensen met een verzwakt immuunsysteem twee trends zijn die het risico op infecties met opportunistische ziekteverwekkers via drinkwater kunnen verhogen. In het BTO-onderzoek is onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van diverse opportunistische pathogenen in drinkwater, maar om te kunnen beoordelen of potentieel ziekteverwekkende Fusarium-soorten in drinkwater aanwezig zijn, zijn momenteel geen methoden beschikbaar waarmee deze schimmel in water kan worden gekwantificeerd. Mogelijk levert de ontwikkeling van een specifieke kwantitatieve PCR (qPCR) methode, waarmee de pathogene Fusarium- soorten in drinkwater kunnen worden gekwantificeerd, een goede en eenvoudige methode waarmee inzicht wordt verkregen over het vóórkomen van Fusarium in het Nederlandse drinkwater. Het gebruik van dergelijke PCR-methoden zorgt er voor dat de drinkwatersector verder is voorbereid op eventuele toekomstige bedreigingen van de drinkwaterkwaliteit.

De resultaten van dit onderzoek zijn samengevat in een document met hierin:

- Een overzicht van, in de wetenschappelijke literatuur beschreven, PCR-methoden voor de detectie van pathogene Fusarium soorten en een beoordeling van de mogelijkheden van deze methoden voor de kwantitatieve detectie in het Nederlandse drinkwater.
- Advies voor vervolgstappen bij de ontwikkeling van qPCR methoden voor kwantitatieve detectie van opportunistische pathogene Fusarium-soorten in het Nederlandse drinkwatermilieu.

Opbrengsten

De resultaten van dit verkennend onderzoek zijn in meer detail beschreven in een korte rapportage (BTO 2014.204(s)). Uit de resultaten van deze scan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In de wetenschappelijke literatuur zijn geen qPCR-methoden beschreven die direct ingezet kunnen worden voor het betrouwbaar kwantificeren van pathogene Fusarium-soorten in (drink)watermonsters.
- Methoden die tot doel hebben om detectie van de mens-pathogene-Fusarium soorten mogelijk te maken, dienen zich vooral te richten op de Fusarium-soorten die verwant zijn aan *Fusarium solani* (FSSC) en *Fusarium oxosporum* (FOSC).
- Voor de ontwikkeling van synthetische DNA-moleculen (primers) waarmee het DNA van mens- pathogene Fusarium-soorten specifiek kan worden aangetoond met qPCR lijken gensequenties van het TEF-1a gen van deze Fusarium-soorten geschikt.
- Op basis van een groot aantal TEF-1a gensequenties zijn er in dit onderzoek veelbelovende primersequenties ontworpen voor qPCR-methoden waarmee het

waarschijnlijk mogelijk is om mens-pathogene *Fusarium* -soorten (FSSC en FOSC) gevoelig en specifiek aangetoond kunnen worden in (drink)watermonsters.

Voorstel voor vervolgonderzoek

Voor de ontwikkeling van een qPCR-methode die gebruikt kan worden voor kwantitatieve detectie van mens-pathogene *Fusarium*-soorten kunnen in vervolgonderzoek de volgende stappen worden uitgevoerd:

- Optimalisatie van primersequenties en reactieomstandigheden qPCR:
- Testen van de specificiteit van de qPCR methode voor FSSC en FOSC.
- Ontwikkeling van een ijklijn t.b.v. kwantificatie van genkopieën van FSSC en FOSC.
- Toepassing van de qPCR-methode in de drinkwaterpraktijk om te achterhalen of en in welke hoeveelheid FSSC en FOSC in het Nederlandse drinkwater vóórkomen.



5.10 Oxidatie, coagulatie en desinfectie in één stap met stabiel ferraat?

Onderzoekers

Roberta Hofman-Caris en Wolter Siegers

Doel project

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen of toepassing van ferraat in drinkwaterzuivering inderdaad kan leiden tot een effectief zuiveringsproces, waarin oxidatie en desinfectie worden gecombineerd met coagulatie.

Opbrengsten

- Beknopt overzicht van recente literatuur over het gebruik van ferraat in waterzuivering
- Informatie over de stabiliteit van ferraat. Waterige oplossingen van ferraat zijn niet lang stabiel, en dit gaat ten koste van de effectiviteit van ferraat in de omzetting van organische microverontreinigingen en desinfectie. Droog ferraat is daarentegen onder droge condities wel stabiel.
- Proof of principle: ferraat (Fe(V) en Fe(IV)) is een krachtige oxidator, die erg effectief organische microverontreinigingen als geneesmiddelen kan omzetten. Voor bepaalde medicijnen (als metformine), waarvoor andere oxidatietechnieken minder goed werken, lijkt juist ferraat bijzonder geschikt te zijn.

Samenwerking

Het ferraat is via prof. Virender Sharma van het Center of Ferrate Excellence (Florida Institute of Technology) geleverd door dr. Libor Machala van het Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Palacký, University in Olomouc, Tsjechië.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Aangezien het ferraat (een "groen" chemicalie) een bijzonder effectieve oxidator blijkt te zijn voor organische microverontreinigingen, is het de moeite waard een vervolgonderzoek te doen. Belangrijke aandachtspunten hierin zijn de stabiliteit van ferraatoplossingen te verbeteren, desinfectie en omzetting van organische microverontreinigingen onder praktijkomstandigheden. Op het ogenblik is het stabiele ferraat van prof. Sharma nog niet commercieel verkrijgbaar, en daarom is nu nog geen kostenraming te maken van dit proces. Een voorstel voor vervolgonderzoek is ingebracht in de themagroep *Drinkwatertechnologie van de toekomst*.

5.11 Verkeersbelasting en leidingfalen

Onderzoekers

Andreas Moerman en Bas Wols

Doel project

Kennis van leidingfalen is een belangrijk onderdeel binnen het assetmanagement van drinkwaterbedrijven. In de kern gaat het erom dat drinkwaterbedrijven begrijpen waarom en hoe leidingen falen. Met de implementatie van USTORE bij zeven drinkwaterbedrijven is er ten opzichte van het verleden meer kennis over het falen van leidingen en wordt steeds meer kennis over het falen van leidingen opgebouwd.

Bij het falen van leidingen speelt niet alleen de leiding zelf, maar ook de omgeving een belangrijke rol. In leidingen onder wegen ontstaan door bovenbelasting van verkeersbewegingen grotere spanningen dan in leidingen die niet onder wegen liggen. Het is niet duidelijk waar de grootste verkeersbelastingen op leidingen optreden. Mogelijk is er een relatie tussen de aanwezigheid van verkeersdrempels en leidingfalen vanwege de grotere dynamische verkeersbelasting nabij verkeersdrempels in vergelijking met een vlak weggedeelte.

Het doel van dit onderzoek was het verkennen van de koppeling van storingsgegevens uit USTORE met geodatabronnen over weginfrastructuur om relaties te kunnen leggen tussen leidingfalen en verkeersbelasting.

Opbrengsten

Om statistisch onderzoek naar relaties tussen verkeersbelasting en leidingfalen mogelijk te maken is USTORE-data gecombineerd met verschillende geodatabronnen waaronder de TOP10NL topografische kaart en wegendata van negen gemeenten. Uit analyses van deze dataverzameling blijkt dat er rond specifieke wegvakken, zoals kruisingen, tot een factor 3 hogere storingsfrequenties voorkomen. Verder blijkt dat er geen significante relatie is tussen het falen van leidingen en de aanwezigheid van verkeersdrempels, maar ook dat er te weinig data is om betrouwbare uitspraken te doen over de effecten van verkeersdrempels. De aanwezigheid van wegen in de nabijheid van leidingen blijkt in het algemeen niet duidelijk bij te dragen aan het falen van leidingen.

De uitkomsten van het onderzoek leiden tot meer begrip van het storen van leidingen. Tevens laten deze uitkomsten zien dat de registratie van de verkeerssituatie zoals deze nu in USTORE plaatsvindt beter vervangen kan worden door de aanwezigheid van specifieke verkeersobjecten zoals verkeersdrempels.

Om het falen van leidingen door verkeersbelasting fysisch beter te kunnen begrijpen is binnen het onderzoek een spanningsmodel ontwikkeld waarmee spanningen in leidingen als gevolg van onder meer statische en dynamische verkeersbelastingen berekend kunnen worden. Dit model is een uitbreiding op het eerder door KWR geïntroduceerde spanningsmodel COMSIMA (COMputation of Stresses In MAins). Met het model is onderzocht bij welke combinaties van leidingmateriaal en grondsoort de grootste spanningen optreden als gevolg van verkeersbelastingen. Vooral grijsgieterij leidingen met grotere diameters in veengrond blijken gevoelig voor dynamische belastingen. Het spanningsmodel is zeer nuttig om richting te geven aan vervolgonderzoek naar specifieke leidingcohorten. Het verdient aanbeveling om dit model verder te ontwikkelen en te valideren met praktijkmetingen.

Het blijkt dat de meeste bedrijven de huidige situatie van hun leidingnet in beeld hebben, maar niet de situatie uit het verleden. Voor meer betrouwbare analyses waarbij gezocht wordt naar relaties tussen het falen van leidingen en omgevingsfactoren (bijvoorbeeld verkeersbelasting) is het van belang dat bedrijven een geografische leidinghistorie opbouwen. Het is mogelijk om software tools te ontwikkelen die de bedrijven hierbij helpen.

Voorstel voor vervolgonderzoek

Het spanningsmodel dat ontwikkeld is binnen het onderzoek kan ook gebruikt worden om de invloed van andere belastingen te bepalen, zoals de invloed van interne druk in de leiding, zetting van de grond of geïnduceerde belastingen zoals aardbevingen. Daarnaast kan het spanningsmodel gebruikt worden om te bepalen welke belastingsituaties het meest in aanmerking komen om daadwerkelijk spanningen in leidingen te meten en zo het model te valideren.

Uit het onderzoek blijkt dat bepaalde leidingcohorten in theorie gevoelig zijn voor dynamische belastingen. Statistisch vervolgonderzoek naar deze specifieke cohorten kan inzicht verschaffen of dit gegeven in de praktijk ook daadwerkelijk een probleem is.



5.12 Betere beheersing van biofouling van hoge drukmembranen door ontharding van water met ionenwisseling



Onderzoekers

Emile Cornelissen, Ludmila Bereschenko en Wim Hijnen

Doel project

Vaststellen dat de verwijdering van calcium door ontharding van water met ionenwisseling leidt tot minder biofilmvorming in hogedrukmembranen, die bovendien gemakkelijker te verwijderen is met verschillende reinigingsmiddelen waaronder een peroxide/detergent mengsel als alternatief voor chloor.

Opbrengsten

- Volledige calciumverwijdering door ontharding van water met ionenwisseling voor hogedrukmembranen resulteert in:
 - een reductie van de drukvaltoename in de membranen;
 - een verandering van de samenstelling van bacteriën op membraan en PVC-P oppervlakken;
 - een reductie van actieve biomassa en koolhydraten fractie van EPS¹ van biofilms op membraan, PVC-P en glasoppervlakken;
 - een verminderde weerstand van de biofilm tegen mechanische en chemische stress.
- De belangrijke rol van ontharding van water met ionenwisseling op biofilmvorming werd duidelijk uit:
 - de hoge reductie van calcium uit drinkwater gekoppeld aan drukvaltoename in de membranen;
 - de significant hogere calciumaccumulatie in de membranen gevoed met drinkwater;
 - de verschillen in biofilmvorming tussen PVC-P (met calcium uitloging) en glasplaatjes;

¹ Extracellular Polymeric Substance (EPS) of exopolysaccharide

- het effect van calciumdosering op EPS-ontwikkeling op PVC-P plaatjes gevoed met onthard water.
- Poster waarin de resultaten zijn gepresenteerd voor de themagroepen *Biologische activiteit* en *Drinkwatertechnologie van de toekomst*.
- Master thesis van Frederik Schulz (Universiteit Duisburg-Essen) met een literatuuroverzicht van de rol van calcium op biofilmvorming.

Samenwerking

De resultaten van het onderzoek zijn gecommuniceerd met verschillende personen binnen Evides Drinkwater (Rinnert Schurer) en Evides Industriewater (Wilbert van den Broek).

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Ontharding van water met ionenwisseling voor hogedrukmembraanfiltratie is interessant om twee redenen. Zo kan de recovery van de RO worden verhoogd door verwijdering van calcium (hoge recovery RO concept) omdat scaling (neerslagvorming van anorganische zouten) wordt beperkt. Daarnaast blijkt uit dit verkennend onderzoek dat biofouling waarschijnlijk beter kan worden beheerst (zie hierboven al genoemd). Een combinatie van deze voordelen kan leiden tot een concept met hogere wateropbrengsten (door hoge recovery) en minder operationele problemen (door betere beheersing van biofouling). Er zijn aanwijzingen in de praktijk die dit ondersteunen, maar er is meer onderzoek nodig om de effecten in de praktijk te valideren.

Er resteren nog een aantal vragen zoals (i) wat is het effect van specifiek calciumverwijdering in een praktijksituatie, (ii) hoe diep moet worden onthard om een gunstig effect te sorteren (wat is de invloed van de concentratie van hardheidsionen), (iii) wat is de rol van andere ionen zoals magnesium, ijzer, etc. en (iv) ontharding met ionenwisseling versus pelletontharding.

Voorgesteld is om samen met geïnteresseerde drinkwaterbedrijven dit onderwerp voor te stellen in de themagroepen *Biologische activiteit* en *Drinkwatertechnologie van de toekomst*. Verder wordt gedacht aan het eventueel speerpuntonderzoek bij Evides en een TKI-project.

5.13 Methode-ontwikkeling voor gedetailleerde zettingskaarten

Onderzoeker

Bernard Raterman

Doel project

Landelijk gezien wordt minimaal één op de zes storingsaan waterleidingen veroorzaakt door verzakkingen van de bodem (zetting). Dit blijkt uit een analyse van USTORE-gegevens. Informatie over zettingen is van belang om leidingen te selecteren die voor vervanging in aanmerking komen en voor het classificeren van groepen leidingen als basis voor een langetermijn-investeringsprognose.

Het gedetailleerd in kaart brengen van zettingen van de bodem is een lastige zaak. Vaak worden modelmatige voorspellingen gedaan op basis van bodemprofielen uit boringen en sonderingen.

SkyGeo (voorheen Hansje Brinker, Delft) biedt datasets aan met puntmetingen die de relatieve zetting in een bepaalde periode beschrijven. Deze data is met behulp van radarbeelden via satellieten ingewonnen. Recent onderzoek van KWR maakt duidelijk dat er geen goede analysemethode bekend is om deze satellietgegevens (in dit geval: puntdata) op een goede wijze te interpreteren en te vertalen naar vlakdata.

Het doel van dit verkennende onderzoek is het inventariseren van bestaande methoden om puntdata om te zetten naar vlakdata (zettingenkaart). Hiervoor is het van belang om een duidelijke specificatie te hebben van de behoefte van zettingsdata voor beheer van ondergrondse infra en de eigenschappen te beschrijven van databronnen, i.c. satelliet- en zettingsmetingen.

Opbrengsten

Het project heeft inzicht verschaft in:

- de specifieke behoefte aan zettingsdata door enkele beheerders van ondergrondse infrastructuur;
- de door SkyGeo aangeboden zettingsdata, de totstandkoming, complexiteit en mogelijke beperkingen van deze data;
- de diverse geostatistische (interpolatie) methoden in ArcGIS (Geografisch Informatie Systeem) om puntdata naar vlakdata om te zetten, vergelijking van deze methoden voor een proefgebied in Noord-Holland.

Zettingsgevoeligheid van de bodem is een van de parameters waarvan wordt aangenomen dat het van invloed is op de storingsgevoeligheid van leidingen. Ook volgens PWN speelt zetting bij veel beheervragen een rol, het veroorzaakt onderbrekingen van de waterlevering en beïnvloedt de veroudering van assets. Goed inzicht in potentiële risicolocaties zorgt ervoor dat beheersmaatregelen beter kunnen worden gepland.

SkyGeo verwerkt radarbeelden van satellieten (onder andere Envisat en Radarsat) met als doel om deformatie (zetting) in beeld te brengen. De gebruikte methode heet radarinterferometrie, hierbij wordt op basis van twee tijdstippen het verschil in afstand van de satelliet tot het aardoppervlak bepaald. Dit gebeurt door de faseverschillen in de gereflecteerde radargolven te analyseren. Bruikbare reflecties kunnen komen van diverse objecten zoals lantarenpalen, straatputdeksels etc. De precisie ligt in de orde van 1 mm per jaar. De ruimtelijke resolutie is met de Radarsat beelden nog beperkt maar kan met de nieuwere satellieten tot 3x3 meter worden verfijnd. Met behulp van ArcGIS zijn vier

geostatistische interpolatiemethoden uitgetest voor een geselecteerd proefgebied in Noord-Holland. De resultaten van de interpolaties vertonen een grote afhankelijkheid ten aanzien van de ruimtelijke verdeling van de puntdata. In stedelijk gebied zijn er doorgaans meer bruikbare punten met reflecties beschikbaar dan in landelijk gebied.

Samenwerking

In dit project is samengewerkt met PWN (Arnoud Drevijn) en Alliander (Jeroen van der Zwan). Deze bedrijven hebben gezamenlijk een dataset van Skygeo aangeschaft en in het kader van dit verkennend onderzoek aan KWR ter beschikking gesteld. Er is overleg geweest met Skygeo (Mathijs Schouten, Frank van den Heuvel) over de totstandkoming van de zettingsdata. Dit was nodig om verdere verwerking naar vlakgegevens op een gefundeerde wijze uit te kunnen voeren.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De ruimtelijke resolutie van de zettingsdata bleek een beperkende factor te zijn bij het verder relateren van deze metingen aan leidingen en storingen. Recentelijk zijn echter meer gedetailleerde metingen beschikbaar gekomen. Deze worden in het BTO-onderzoeksproject 'Fysieke kwetsbaarheid leidingen voor klimaatverandering' gebruikt. In dit project wordt onder meer voor een pilotgebied van Oasen gebruik gemaakt van de hogeresolutie-radarbeelden (TerraSAR-X, 3x3 meter) die door SkyGeo zijn bewerkt. Ook hier moeten de puntdata naar vlakdata worden omgezet om een mogelijke relatie met storingen in het leidingnet te kunnen onderzoeken. De resultaten van dit verkennend onderzoek worden daarom opgenomen in dit BTO-project.

5.14 Strategic planning of drinking water infrastructure

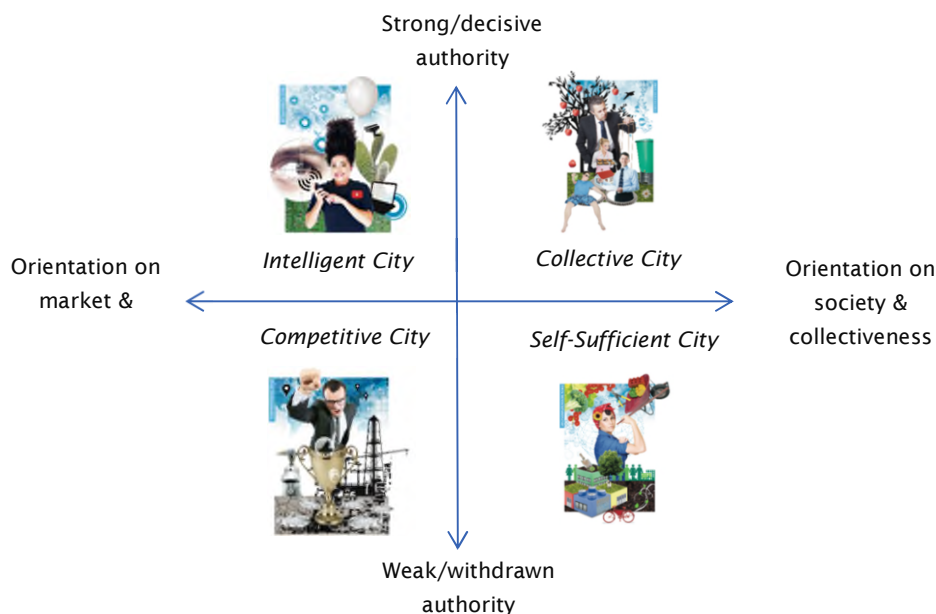
Researchers

Mirjam Blokker, Chris Büscher, Luc Palmen, Claudia Agudelo-Vera

Summary

Since investments in drinking water infrastructure are usually for the long term, it is important to consider the future in which the infrastructure has to operate. The future is not entirely open because of past and present drivers, conditions and physical state, plus the future in itself is uncertain. This research provides an approach and building blocks and inspiration for strategic planning of drinking water infrastructure by looking at past and present, defining alternatives for investments and testing robust options in various possible futures. Drivers for investment are shown to be largely determined by the societal context, and currently cost, sustainability and customer satisfaction compete. Potential transitions in the infrastructural chain from source to tap typically take 20 to 30 years. Even if changes take a long time, the infrastructure is both robust and flexible and changes can be made.

We advise the water companies to monitor key uncertainties, or even to try to influence them with suitable partners. The four context scenarios of cities that were developed are useful in discussions with various stakeholders in thinking about long term investments.



This research is described in the report 'Strategic planning of drinking water infrastructure: a conceptual framework and building blocks for drinking water companies' (BTO 2015.048).

Approach: *considering past, present and possible futures*

We treat drinking water infrastructure (extraction, treatment and distribution) as a socio-technical system, where the technical aspects and the social context in which the infrastructure functions are considered. We have described the historic development in the Netherlands and in more detail into water companies investments in infrastructures. Also, we looked at transitions in the choice of source water, treatment schemes, networks design and drinking water demand.

We developed context scenarios for future cities along the axes of A) the size and strength of local authorities and B) the prevailing societal structure that orients and steers actors. The

scenarios were described, enriched and an illustration was developed to get a quick feel for what the scenarios entailed.

Results: *transitions take 20 to 30 years and may be influenced; context scenarios for future cities valuable*

The report provides insight into drivers for investments over the past 100 to 150 years. Early choices for water sources and locations of treatment works have a decisive influence on all future planning, we found evolution rather than revolution in infrastructures. Drivers for investment were shown to be largely determined by the societal context: in the past water quantity (supplying all) and then water quality were main drivers; currently cost, sustainability and customer satisfaction compete. We showed that transitions in the choice of source water, treatment schemes, networks design and drinking water demand typically take 20 to 30 years and may either lead to full transitions, limited transitions or back lashes. There is flexibility in infrastructure, but changes take a long time. We advise the water companies to monitor key uncertainties, or even to try to influence them with the suitable partners.

We have included some examples on investment dilemmas: 1) to continue with centralized treatment facilities or move towards more decentralized facilities, 2) to prevent any possible inconvenience or manage customers' expectations, 3) Dunea's process towards a new five-year strategic plan .

We developed context scenarios with illustrations for the collective city, the self-sufficient city, the competitive city and the intelligent (or smart) city. These proved valuable in determining the robustness of investment options.

Implementation: foundation and inspiration for approaching the future drinking water infrastructure

This report can be used by the water companies in different ways to construct their own strategic planning process on their drinking water infrastructure. The sections can be used as a foundation (use as is), as a starting point (i.e. expand on this with extra studies along the lines described here, or made more specific for own use), or as an inspiration (and own studies will be used instead). We do not offer building blocks in every step, as some of the steps are very company specific; we do offer inspiration as we have held workshops with a delegation of the Dutch water companies and a specific implementation of Dunea.

The descriptions and illustrations of the four cities, can be used in discussing the investment consequences in the various possible futures with a multi-disciplinary team of people. These scenarios can easily be enriched, made more specific for a region or be used for discussion with not just water company decision makers but also with other stakeholders. We advise water companies to apply the method to current investment dilemma's.

5.15 Verkenning naar de meerwaarde van interactieve risicokaarten voor multi-assetmanagement



Onderzoeker

Peter van Thienen

Doel project

Verken de haalbaarheid (technisch en organisatorisch), specifieke behoeften en mogelijke toepassingen van een multi-netwerkbenadering voor integrale risicoanalyse op basis van een te ontwikkelen GIS-applicatie voor interactieve risicokaarten.

In deze verkennende fase is op basis van literatuuronderzoek en diverse gesprekken met experts van Alliander en KWR de behoefte aan de ontwikkeling van een GIS-tool voor interactieve risicokaarten voor multi-assetmanagement geïnterpreteerd. Vervolgens is de nadruk gelegd op de technische aspecten van ruimtelijke analysemethodieken en de mogelijkheden voor visualisatie van meerdere netwerken binnen één interactieve kaart. Het toepassen van alternatieve analyse- en visualisatiemethodieken kan tot vernieuwde inzichten voor het opstellen van onderhouds- en vervangingsplannen leiden.

Opbrengsten

Uit het literatuuronderzoek blijkt dat er goede analysemethodieken voorhanden zijn die onderlinge beïnvloeding tussen verschillende netwerken kunnen bepalen. Deze methodieken kunnen gekoppeld worden met GIS, waardoor de onderlinge effecten ook inzichtelijk worden gemaakt. De behoefte aan dergelijke gedetailleerde kaarten blijkt op dit moment echter (nog) beperkt te zijn, er is vooral behoefte aan meer samenwerking tussen netwerkbeheerders.

Momenteel vindt er al samenwerking plaats in de uitvoeringsfase, maar er liggen kansen op het delen van kennis en het doen van gezamenlijk onderzoek. Een GIS-tool kan hieraan een bijdrage leveren, door te fungeren als platform waar de uitwisseling van kennis en data plaatsvindt. Daarnaast zal het voor de algemene toepassing van GIS binnen de drinkwatersector een meerwaarde zijn als er één interactieve GIS-tool wordt ontwikkeld,

waarin bestaande en toekomstige onderzoeken worden geïntegreerd. Hierdoor zal het opnieuw uitvoeren van bestaand onderzoek met actuelere data of data van andere bedrijven eenvoudiger en efficiënter uitgevoerd kunnen worden. Verder zal het dan ook beter mogelijk zijn om voort te bouwen op bestaand onderzoek.

De resultaten zijn beschreven in het rapport BTO 2013.042 'Kennisbasis voor interactieve risicokaarten'.

Samenwerking

Netbeheerder Alliander

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Hoewel er op dit moment (nog) geen behoefte is aan gedetailleerde risicokaarten voor onderlinge beïnvloeding van netwerken is geconstateerd, liggen er wel kansen op het gebied van samenwerking tussen netwerkbeheerders. Vooral door het delen van kennis en het doen van gezamenlijk onderzoek is efficiënter multi-assetmanagement mogelijk. Zo zijn de toegepaste materialen voor gasleidingen en riolering veelal gelijk aan de gebruikte materialen voor drinkwaterleidingen, wat gezamenlijk materiaalonderzoek aannemelijk maakt. Door het delen van de kennis over de bodem en storingsgegevens van leidingen kan de veroudering van leidingen nauwkeuriger bepaald worden. Daarnaast kunnen door het inzicht geven in elkaars verouderingsmodellen locaties geïdentificeerd worden waar in de toekomst samengewerkt kan worden. De ontwikkeling van een interactieve GIS tool biedt dus op twee punten een duidelijke meerwaarde: het stimuleren van samenwerking tussen verschillende netwerkbeheerders én het verankeren van constructief GIS-onderzoek binnen de drinkwatersector.

6 Health

6.1 Microplastics in de waterketen II

Onderzoeker

Stefan Kools

Doel project

Door toenemende aandacht in de media wordt het werkveld rondom waterkwaliteit geconfronteerd met microplastics. Begonnen vanuit de aandacht voor plastic in de oceanen ('plastic soep') verplaatste de aandacht zich naar de plastics in cosmetica en de bronnen van plastic op het vasteland. Het onderzoek toont aan dat plastics wijdverspreid zijn en de aandacht groeit voor plastics in zoetwater. Ook blijkt dat deze deeltjes worden opgenomen door allerlei organismen. Zo lijkt het vooralsnog een primair ecologisch probleem, maar leeft de vraag ook (steeds meer) bij drinkwaterbedrijven want zij kunnen vragen verwachten over de plastics in bronnen, gedrag in de zuiveringen en de mogelijke risico's voor mensen vanuit drinkwater.

Conclusies

Door het verkennen van nieuwe meetmethoden is een start gemaakt met het aantonen van plastic deeltjes die kunnen voorkomen in de waterketen. Met een combinatie met bestaande en nieuwe meetmethoden (MS, FFF, pyrolyse en concentratiemethoden) kunnen polymeren aangetoond en geïdentificeerd worden. Dit rapport beschrijft experimenten om de deeltjes te kunnen identificeren (pyrolyse GC/MS) en hun grootte te bepalen (FFF). Hiermee kunnen uiteindelijk meetgegevens verzameld worden om antwoorden te vinden op een nieuw aspect in het beschouwen van de waterkwaliteit, de aanwezigheid van micro- en nanoplastics. Dit onderwerp krijgt veel aandacht in media, beleid en wetenschap.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Met een combinatie van nieuwe en bestaande technieken zijn plastic deeltjes aangetoond en beschreven in (zoet) water. Voor een uitgebreide monstercampagne zal de ontwikkelde methode nog wel moeten worden uitgebreid met een validatie om de analyse robuust te maken. Tevens is het van belang een meetmethode te ontwikkelen voor de andere typen plastic deeltjes. Andere belangrijke plastic soorten zijn PVC (polyvinylchloride) en PP (polypropyleen). Of deze soorten plastic nu ook de belangrijkste vorm van vervuiling vormen is momenteel nog niet vast stellen met deze methode. Na deze validatie kan een monitoringsstudie duiden waar en in welke mate plastics voorkomen in de waterketen. Met de huidige methode kan al wel gestart worden om uitsluitend polyethyleen en polystyreen aan te tonen. Deze twee soorten plastic zijn samen goed voor meer dan een vijfde deel van de productievraag in Europa.

6.2 Herkomst en gedrag barbituraten in de watercyclus

Onderzoeker

Erik Emke, Pim de Voogt

Doel project

Dit project beoogt de herkomst van barbituraten in de watercyclus vast te stellen aan de hand van bureau en veldonderzoek en de effectiviteit van nieuwe materialen voor verwijdering van barbituraten uit water te onderzoeken

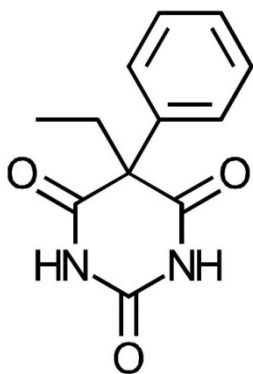
Opbrengsten

Barbituraten worden in Nederland vrijwel uitsluitend in de veterinaire praktijk toegepast, met uitzondering van fenobarbital dat ook humane toepassingen kent, zoals bij epilepsiebestrijding. De processen die voor de behandeling van oppervlaktewater worden gebruikt leiden tot volledige verwijdering van barbituraten uit het drinkwater. De verwijdering bij sommige productielocaties waar oeverfilteraat als grondstof wordt gebruikt is in enkele gevallen niet voldoende. In 12% van de onderzochte reine monsters werd barbital aangetroffen met een maximum concentratie van 12 ng/L, in 6% van de gevallen pentobarbital met een maximum concentratie van 6 ng/L en in 12% van de gevallen fenobarbital met een maximum van 26 ng/L. Deze in het kraanwater aangetroffen concentraties liggen ver beneden de grenswaarden voor humane gezondheid.

Conclusies

Barbituraten, een groep kalmerende en slaapverwekkende middelen, komen voor in grondwater en oppervlaktewater. Tijdens een survey door KWR en RIVM in 2009 werden deze stoffen ook in kraanwater gevonden. Daarvoor is een methode beschreven waarmee barbituraten in lage concentraties aan te tonen zijn (bepalingslimieten van 2 tot 5 ng/L voor oppervlakte- en kraanwater). Sinds die bevinding heeft KWR monsters uit de watercyclus verzameld en geanalyseerd om een beeld te krijgen van de verspreiding van barbituraten en de mate van verwijdering in de zuiveringsprocessen. De resultaten voor de periode 2010-2015 laten zien dat in sommige gevallen barbituraten in kraanwater kunnen doordringen,

maar de aangetroffen concentraties liggen met enkele ng/L ver beneden de grenswaarden voor humane gezondheid. Daarnaast is met behulp van literatuuronderzoek meer informatie verzameld over het gebruik en mogelijke bronnen van barbituraten. Barbituraten worden voor het merendeel in de veterinaire praktijk gebruikt, maar 17-30% van het fenobarbitalgebruik in Nederland is voor humane toepassingen. De keten van verwijderingsprocessen die voor de behandeling van oppervlaktewater wordt gebruikt verwijdert barbituraten volledig. Bij sommige productielocaties waar oeverfilteraat als grondstof wordt gebruikt is in enkele gevallen de verwijdering niet voldoende.



Structuurformule fenobarbital

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De methode beschreven in dit rapport voor de analyse van barbituraten in water is goed in staat deze stoffen in lage concentraties aan te tonen, met bepalinglimieten in de orde van 2-5 ng/L voor oppervlakte- en drinkwater. Aanbevolen wordt om oevergrondwaterwinningen en infiltratie-gebieden periodiek te controleren op het gehalte aan barbituraten. De verandering in het voorschrijven van diazepines in plaats van barbituraten zal ook in de komende jaren in het grondwater zichtbaar worden.

6.3 Identificatie nieuwe indicatororganismen

Onderzoeker

Luc Hornstra

Doel project

Het bepalen van de mate van verwijdering van ziekteverwekkende virussen door zuiveringsprocessen is essentieel voor de Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD). Deze bepalingen zijn lastig omdat de huidige indicatorvirussen, zoals somatische colifagen, in (te) lage concentraties in het water voorkomen. In dit project willen we een methode ontwikkelen om nieuwe indicatorvirussen te identificeren, die in hogere aantallen voorkomen in het ruwe water en in de zuivering. Deze zijn daardoor beter geschikt om de verwijdering van virussen door zuiveringsprocessen en bodempassage kosteneffectief vast te stellen.

Opbrengsten

Dit verkennend onderzoek heeft tot doel om het "proof of principle" van deze methode te laten zien in een full scale-zuivering. Hiertoe zijn de DNA en RNA sequenties bepaald van virussen in (1) ruw water, (2) water na coagulatie en sedimentatie en (3) water na snelfiltratie. Vastgesteld is of er virussen konden worden gevonden die in alle drie de monsters aanwezig zijn. Dit bleek het geval voor 24 virussequenties. Deze 24 vormen het uitgangspunt voor de ontwikkeling van een Q-PCR methode voor routinematige analyse van virusverwijdering in een full scale-zuivering.

Conclusies

Momenteel is het niet goed mogelijk om virusverwijdering in een full scale zuivering te meten, omdat de huidige indicator virussen in een te lage concentratie voorkomen in het ruwe water. Deze studie heeft, gebruikmakend van Next Generation Sequencing, gezocht naar virussen die wel in een voldoende hoge concentratie voorkomen in ruw water, met als doel om deze snel, en zonder bewerkelijke concentreringsstappen te kunnen bepalen. Er zijn 24 virussequenties geïdentificeerd, die kunnen dienen als nieuwe merkers in de zuivering. Deze virussequenties kunnen, na een vertaalslag naar een standaard moleculaire Q-PCR methode, worden ingezet om routinematig de verwijdering van virussen door zuiveringsprocessen te bepalen in een full scale zuivering. Tevens kunnen deze nieuwe virussen voor het eerst een relatie leggen tussen viruseigenschappen zoals grootte, lading, etc. en de verwijdering door zuiveringsprocessen. Dit geeft, naast een beter begrip van het gedrag van virussen in de zuivering, ook de mogelijkheid om op basis van deze informatie de verwijdering van onbekende virussen door zuiveringsprocessen beter in te schatten.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Op grond van de huidige resultaten blijkt de NGSmethode goed bruikbaar om nieuwe virussen te identificeren, die kunnen dienen als merkers voor de verwijdering van virussen in de full scalezuivering. Behalve de 24 sequenties die al met een beperkte screening werden gevonden zijn er waarschijnlijk veel meer virussen die aan de eisen voldoen. Dit maakt deze aanpak om nieuwe virusmerkers op te sporen veelbelovend. Ook veelbelovend is de mogelijkheid om bij een set van meerdere virusmerkers de eigenschappen van die virussen te koppelen aan de verwijdering ervan in de zuivering. Dit resulteert in vergroting van het fundamentele begrip over het gedrag van virussen in de praktijk van zuiveringsprocessen, wat uiteindelijk kan leiden tot gerichte verbeteringen in het zuiveringsproces.

6.4 Typeren van *Pseudomonas aeruginosa*

Onderzoeker

Gertjan Medema

Doel project

Het vóórkomen van ziekteverwekkende stammen van *P. aeruginosa* in drinkwater vormt een potentieel risico voor de gezondheid van de consument en voor de betrouwbaarheid van drinkwater zonder desinfectieresidu. Eerdere studies in het BTO hebben laten zien dat *P. aeruginosa* zich in het Nederlandse drinkwater kan vermeerderen en dat 20 procent van de drinkwatermonsters genomen uit het distributiesysteem *P. aeruginosa* kan bevatten. In eerste instantie lijkt het er dus op dat de verspreiding van in potentie ziekteverwekkende *P. aeruginosa* via drinkwater kan plaatsvinden in Nederland. Onderzoek door anderen heeft echter laten zien dat de genetische diversiteit van stammen van *P. aeruginosa* groot is en dat patiëntstammen genetisch verschillend kunnen zijn van stammen die worden gekweekt uit het milieu. Tot op heden is het onduidelijk of drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* ook daadwerkelijk ziekte veroorzaken bij mensen met een verzwakt immuunsysteem. Inzicht of ziekteverwekkende stammen van *P. aeruginosa* ook in drinkwater aanwezig zijn, is cruciaal om de levering van onberispelijk en betrouwbaar drinkwater te kunnen garanderen. Tevens is dergelijke informatie belangrijk in een maatschappij waar (i) het aantal personen dat gevoelig is voor infectie met *P. aeruginosa* (immunogecompromitteerden) de aankomende jaren verder zal stijgen en (ii) de groeiomstandigheden voor *P. aeruginosa* in drinkwater mogelijk verbeteren door hogere drinkwatertemperaturen veroorzaakt door opwarming als gevolg van klimaatverandering.

Onderzoekers hebben een methode ontwikkeld waarmee stammen van *P. aeruginosa* genetisch kunnen worden getypeerd en vergeleken. Deze methode wordt multilocus sequence based typing (MLST) genoemd en is gebaseerd op het bepalen van de DNA-volgorde van zeven verschillende genen van *P. aeruginosa*. Op basis van de DNA-volgorde van elk gen wordt een bepaalde code toegekend aan ieder gen, zodat uiteindelijk een code van zeven verschillende cijfers wordt verkregen. Die code wordt vervolgens omgezet tot een sequentietype en stammen die hetzelfde sequentietype bevatten zijn genetisch aan elkaar verwant. Het toekennen van de codes en sequentietype wordt gedaan door de gegevens op te sturen naar een internationale database. Tevens geeft de internationale database weer welke *P. aeruginosa* stammen hetzelfde sequentietype hebben. Op die manier kan worden onderzocht of bepaald stammen van *P. aeruginosa* overeenkomen met milieustammen of patiëntstammen. Dergelijke MLST-methoden worden vaak gebruikt in epidemiologisch onderzoek om de (milieu)bronnen van ziekteverwekkende stammen op te sporen.

Het doel van dit verkennend onderzoek is om deze MLST-methode in te brengen op het KWR-laboratorium en om een aantal *P. aeruginosa* stammen die zijn geïsoleerd uit het Nederlandse en Vlaamse drinkwater te typeren en te vergelijken met stammen in de internationale database.

Opbrengsten

Er zijn tien reeds getypeerde patiëntstammen van *P. aeruginosa* verkregen van het Universitair Medisch Centrum Utrecht (UMC). Als eerste is onderzocht of het voor iedere stam lukte om de DNA-volgorde van de zeven genen te bepalen, zodat een MLST-profiel kan worden verkregen. Na het doorvoeren van enkele optimalisatiestappen is voor elke stam en voor ieder van de zeven genen een betrouwbare DNA-volgorde bepaald. De DNA-volgorden van iedere *P. aeruginosa* stam zijn vervolgens naar de internationale database gestuurd, zodat voor elk gen een code is verkregen en voor elke stam een ST-type. Het ST-type dat op

deze manier voor elke stam wordt verkregen, is vervolgens vergeleken met het ST-type dat deze patiëntstammen eerder hebben gekregen na typering door het UMC. Het blijkt dat de ST-typen die door het KWR-laboratorium zijn gegenereerd identiek zijn aan de ST-typen die door het UMC zijn gegenereerd. Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat de MLST-methode voor typering van *P. aeruginosa* stammen succesvol kan worden toegepast door het KWR-laboratorium.

Vervolgens zijn elf drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* geïsoleerd uit vier verschillende drinkwatermonsters die zijn verkregen in Nederland en Vlaanderen en is van iedere stam het ST-type bepaald (Tabel 1). De ST-typen van de geanalyseerde *P. aeruginosa* drinkwaterstammen zijn verschillend tussen de drie verschillende voorzieningsgebieden, terwijl binnen twee locaties van voorzieningsgebied A het ST-type identiek is. Het lijkt dus dat elk voorzieningsgebied is gekoloniseerd door een andere *P. aeruginosa* stam, maar het aantal monsters is te beperkt om dergelijke generieke conclusies betrouwbaar te kunnen trekken.

Tabel 1. Geïsoleerde drinkwaterstammen van P. aeruginosa en het bijbehorende sequentietype (ST)

Regio	Voorzieningsgebied	Locatie	Stam	ST
Nederland	A	1	A1.I	712
Nederland	A	2	A2.I	712
Nederland	B	1	B1.I	395
Nederland	B	1	B1.II	395
Nederland	B	1	B1.III	395
Vlaanderen	C	1	C1.I	1025
Vlaanderen	C	1	C1.II	1025
Vlaanderen	C	1	C1.III	1025
Vlaanderen	C	1	C1.IV	1025
Vlaanderen	C	1	C1.V	1025
Vlaanderen	C	1	C1.VI	1025

De verkregen ST-typen zijn ook vergeleken met ST-typen in de internationale database. *P. aeruginosa* stammen van het ST-type 712, die is gevonden op twee locaties in voorzieningsgebied A, zijn vijf keer aanwezig in de database. Deze vijf stammen zijn geïsoleerd in Frankrijk, China en Roemenië en komen meestal uit milieubronnen, alleen in China is één patiëntstam met dit ST-type geïsoleerd.

Stammen van het ST-type 395, die is gevonden in een drinkwatermonster uit voorzieningsgebied B, komen 17 keer voor in de internationale database. Deze stammen zijn geïsoleerd uit water (9 keer) of uit patiënten (8 keer). Ook bij Nederlandse patiënten met cystic fibrose is deze stam een aantal keer aangetroffen.

Er is maar één stam met ST-type 1025, die is gevonden in een drinkwatermonster uit voorzieningsgebied C, aangetroffen in de internationale database, maar de bron (milieu vs patiënt) van deze stam is niet weergegeven. Deze stam is wel ingediend door een medische microbiologie groep uit Taiwan, dus het vermoeden is dat de stam is gerelateerd aan patiënten.

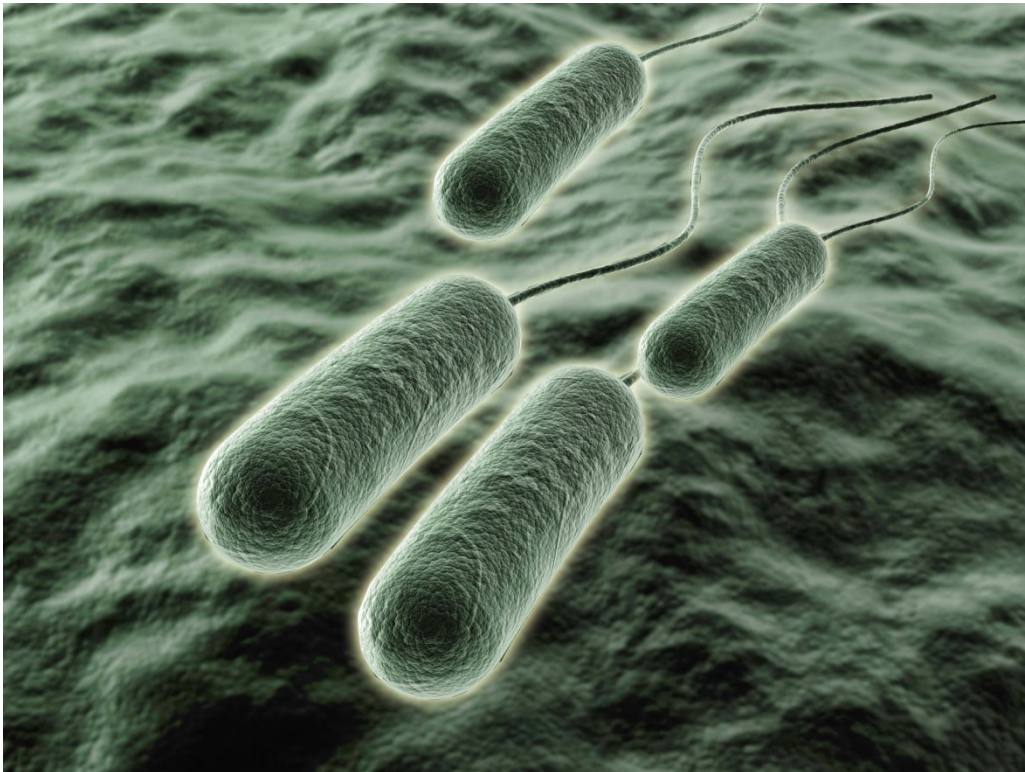
De resultaten laten zien dat drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* genetisch verwant kunnen zijn aan patiëntstammen van *P. aeruginosa*. De drinkwaterstammen uit voorzieningsgebied B waren zelfs verwant aan stammen van *P. aeruginosa* die zijn geïsoleerd bij Nederlandse patiënten. Het is daarom te verwachten dat sommige *P. aeruginosa* stammen in drinkwater een volksgezondheidskundige betekenis kunnen hebben.

Conclusies

- Het KWR-laboratorium kan *P. aeruginosa* stammen genetisch typeren met behulp van de MLST- methode;
- Nederlandse drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* kunnen verwant zijn aan patiëntstammen van *P. aeruginosa* en hebben daardoor mogelijk een gezondheidskundige betekenis;
- Een uitgebreidere typeringsstudie van drinkwaterstammen van *P. aeruginosa* is nodig om de precieze gezondheidskundige betekenis te achterhalen.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De omvang van deze verkennende studie is te klein om betrouwbare uitspraken te doen over de volksgezondheidskundige betekenis van *P. aeruginosa* stammen in drinkwater. Daarom is in samenwerking met de themagroep *Biologische activiteit* een projectvoorstel geschreven voor het collectieve BTO en dat als doel heeft om meerdere *P. aeruginosa* stammen uit het Nederlandse drinkwater te isoleren, het ST-type van elke stam te bepalen en onderling te vergelijken alsook met stammen die een volksgezondheidskundige betekenis hebben.



6.5 Normstelling anorganisch arseen

Onderzoeker

Merijn Schriks

Doel project

Het doel van het project is meerledig:

1. Onderzoek de achtergrond van de huidige norm voor anorganisch arseen;
2. Verken de ontwikkelingen binnen de US EPA op het gebied van normstelling;
3. Toets of er ontwikkelingen zijn op het gebied van normstelling van anorganisch arseen;
4. Formuleer concrete aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Opbrengsten

De belangrijkste opbrengsten van het project zijn onder andere:

Een beknopte rapportage met de onderbouwing van (i) de huidige WHO-norm voor anorganisch arseen, (ii) de achtergrond van de (provisorische) US EPA norm, (iii) het perspectief van de EU (EFSA)/WHO op deze (provisorische) norm, (iv) een indicatieve risicoanalyse met (drink)waterconcentraties en tenslotte (v) aanbevelingen voor vervolgonderzoek (samenvatten van inzichten en onderzoeksresultaten m.b.t. normstelling arseen).

Het rapport eindigt met conclusies waarvan de belangrijkste luiden dat:

1. De huidige drinkwaternorm voor arseen geen echte gezondheidskundige basis heeft, maar vooral berust op pragmatiek;
2. Blootstelling aan een concentratie arseen van 2 µg/L in drinkwater theoretisch één extra kanker geval levert op een populatie van 10,000 bij levenslange blootstelling;
3. Een verlaging van arseen in drinkwater een belangrijke bijdrage kan leveren in de totale blootstelling van consumenten aan arseen;
4. Er geen directe aanwijzing is dat de huidige arseennorm voor drinkwater (10 µg/L) op de korte of middellange termijn aangepast gaat worden.

Samenwerking

Een presentatie is verzorgd voor de expertgroep arseen (Dunea, Evides, Brabant Water en Oasen). Suggesties, commentaren en aanscherpingen op onderzoeksvragen zijn meegenomen in de rapportage.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Een nieuw voorstel voor verdiepend onderzoek naar normstelling arseen is ingebracht in de stuurgroep Kwaliteit en Bronnen van de Vewin en gegund in het kader van BTO onvoorzien. Dit vanwege de prangende behoefte vanuit de bedrijfstak om eigen standpunten te formuleren op het gebied van toelaatbare concentraties arseen in (bronnen van) drinkwater.

6.6 Groepsgewijze analyse en beoordeling van stoffen: de implementatie van 'structural alerts'

Onderzoeker

Annemieke Kolkman

Doel project

Bij het monitoren van de waterkwaliteit is het niet mogelijk en ook niet nodig om de aanwezigheid van alle stoffen te monitoren. Het ontwerpen van slimme meetstrategieën levert zowel kostenbesparing als een efficiënt meetprogramma op. Met behulp van QSARs (Quantitative Structure Activity Relationships) kan worden voorspeld welke functionele groepen van een molecuul een mogelijke toxische respons kunnen veroorzaken, gekoppeld aan specifieke 'modes of toxicological action', zoals hormoonverstoring, genotoxiciteit, neurotoxiciteit etc. Voorbeelden van deze zogeheten 'structural alerts' zijn epoxides, aromatische amines, nitroverbindingen en chloorfenolen. Het kan hierbij gaan om hele moleculen of delen van moleculen. De aanwezigheid van 'structural alerts' in een molecuul kan betekenen dat zo'n molecuul potentieel schadelijk is voor mens en dier. Het is elegant om de aanwezigheid van 'structural alerts' op te sporen in watermonsters en op die manier de stap te maken van het meten van individuele stoffen naar families van stoffen. Pas als een bepaalde 'structural alert' aanwezig is in een watermonster, kan er zondig vervolgonderzoek worden gedaan. Dit levert een sneller en completer overzicht op van de (relevante) organische microverontreinigingen die in water aanwezig kunnen zijn. Het doel van dit onderzoek is om een verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden van koppeling van toxicological structural analogs (OECD QSAR Application Toolbox) en chemische alerts (analytische chemie) voor de beoordeling van verontreinigingen in oppervlaktewater en drinkwater.

Opbrengsten

De resultaten van dit verkennend onderzoek zijn beschreven in BTO-rapport BTO 2013.059 'Groepsgewijze analyse en beoordeling van stoffen: implementatie van 'structural alerts' in waterkwaliteitsmonitoring' met bijbehorende managementsamenvatting.

In het rapport wordt i) een lijst van structural alerts gepresenteerd die relevant zijn voor genotoxiciteit. De relatie tussen genotoxische carcinogene stoffen en kanker is het best onderzocht en hiervoor bestaan dan ook de meeste en de beste voorspellende structural alerts; ii) een overzicht gegeven van de mogelijkheden die er analytisch chemisch zijn om specifiek een functionele groep aan te tonen; iii) een analytisch-chemische methode gerapporteerd die is ontwikkeld voor de kwalitatieve en kwantitatieve monitoring van het relevante structural alert "aldehyden" in watermonsters. De methode is gebaseerd op het derivatiseren van aldehyden met de stof 4-APEBA, die de ionisatie van aldehyden verbetert. De derivatiseringsmethode met 4-APEBA is toegepast op een selectie van 13 aldehyden in water. Vervolgens zijn de derivaten geanalyseerd met een directe injectie op de Orbitrap. Met behulp van verschillende massaspectrometrische technieken (data dependent (op het broom isotoop patroon) MS/MS scan, neutral loss scanning) is het gelabelde derivaat makkelijker "op te sporen". De recoveries voor de 13 aldehyden in zowel oppervlaktewater als drinkwater zijn goed (> 70%). De kalibratielijnen van de meeste aldehyden hebben een correlatiecoëfficiënt van meer dan 0,99. De geschatte aantoonbaarheidsgrens van de methode voor de alifatische aldehyden ligt op 10 µg/l en voor malondialdehyde, 4-chloorbenzaldehyde en 2,5-dimethylbenzaldehyde op 1 µg/l. De voornaamste reden voor deze relatief hoge aantoonbaarheidsgrens is dat er een hoge achtergrondconcentratie is van voornamelijk de alifatische aldehyden. Vervolgonderzoek zou moeten uitwijzen hoe de hoge achtergrondconcentraties van aldehyden te verminderen zijn.

Samenwerking

Er is een samenwerking gestart met de Vrije Universiteit, Amsterdam om de derivatisering van aldehyden met het 4-APEBA reagens toepasbaar te maken op watermonsters.

Voorstel voor implementatie en/of vervolg onderzoek

BTO-rapport 2013.059 is ingebracht in de themagroep *Nieuwe meetmethoden en sensing*.

Momenteel worden de mogelijkheden verkend om een projectvoorstel (NWO, STW, H2020) in te dienen samen met het team van de VU in het kader van ontwikkeling van derivatiseringsreagentia voor de analyse van "lastig analyseerbare" stoffen in water. Hierbij zou aansluiting van een drinkwaterbedrijf of drinkwaterlaboratorium een rol kunnen spelen.

6.7 Microplastics in de waterketen

Onderzoeker

Stefan Kools

Doel project

Inventariseren van het vóórkomen en de schadelijkheid van microplastics in de waterketen met een specifieke focus op bronnen van drinkwater.

Opbrengsten

De volgende conclusies komen uit deze inventarisatie:

- Onderzoek aan microplastics in zoetwater is sterk onderbelicht, de aanwezigheid in drinkwater is niet bekend. De relevantie voor de watersector is afhankelijk van de aanwezigheid in de verschillende compartimenten van de (drink)watercyclus.
- De mate van verwijdering bij behandeling van afvalwater en drinkwaterproductie ontbreekt nog.
- Van de kleinste fracties is het minst bekend. Kleine deeltjes kunnen in het menselijk lichaam worden opgenomen en onderzoek toont aan dat deeltjes tot 240 nm over de placenta naar ongeboren kinderen worden doorgegeven.
- Plastic bevat uitlogende additieven, zoals weekmakers en stabilisatoren, waarvan bekend is dat deze effecten hebben op mensen.
- Plastic fungeert als een carrier voor andere stoffen, chemische stoffen accumuleren op microplastic.
- Een adequate risicobeoordeling ontbreekt voornamelijk vanwege de onduidelijkheden over het voorkomen, de omvang en de effecten. De aanwezigheid en gedrag tijdens de productie van o.a. drinkwater is onbekend.

Het project en de BTO-rapportage zijn besproken in de themagroep *Nieuwe stoffen*. Ook is er een KWR brede presentatie geweest, waardoor het onderwerp ook binnen KWR bekend is geworden. Voor de sector is het rapport een state-of-the-art inventarisatie, die gebruikt kan worden voor meningvorming en positiebepaling op dit gebied, aangezien dit thema speelt bij het grote publiek.

Samenwerking

Bij de start is contact geweest met onderzoekers Heather Leslie (IVM-VU), Erwin Roex (Deltares), Gijsbert Tweehuysen (Plastic in de Maas). Zij geven aan vooral in de analysemogelijkheden van KWR geïnteresseerd te zijn. Via Annemarie van Wezel (KWR) is het onderzoek genoemd in overleggen bij het ministerie van I&M (Expertgroep microplastic, sept 2013) en meetings in kader van COST, JPI (EU onderzoek) om ook de aansluiting te vinden bij o.a. onderzoek naar nanodeeltjes.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Het onderzoek kent een vervolg in verkennend onderzoek voor 2013. Dit onderzoek richt zich vooral op uitbouw van kennis en op analysemogelijkheden. De voortgang wordt via de themagroepen gedeeld en er is contact gezocht met de drinkwaterlaboratoria om te zien hoe de analyses en problematiek van deze groep deeltjes een rol (kunnen) spelen. Daarnaast wordt via STW met een consortium een voorstel ingediend.

6.8 Is een universele microbiologische meetmethode haalbaar?

Onderzoeker

Leo Heijnen

Doel project

Met een universele microbiologische meetmethode kunnen meerdere micro-organismen in één analyse gekwantificeerd worden waardoor er meer gemeten kan worden tegen lagere kosten. In dit onderzoek is geïnventariseerd of de ontwikkeling van een universele microbiologische meetmethode, die toepasbaar is voor de analyse van water, haalbaar is.

Opbrengsten

Er is een inventarisatie uitgevoerd van de state-of-the-art op het gebied van detectie van micro-organismen, en er is beoordeeld wat de mogelijkheden zijn voor (ontwikkeling van) methoden waarmee, door het uitvoeren van één eenvoudige test, informatie kan worden verkregen over de aanwezigheid van alle verschillende relevante pathogene en indicator-micro-organismen in water. De belangrijkste conclusies zijn:

- Toepassing van qPCR maakt het mogelijk om een beperkt aantal organismen gelijktijdig te kwantificeren. Het aantal organismen dat per analyse kan worden aangetoond is beperkt maar momenteel voldoende om de meest relevante (zoals wettelijke parameters of organismen die een rol spelen bij zuiveringsprocessen) micro-organismen routinematig te detecteren.
- Bij het gebruik van multiplex hybridisatie methoden (microarray/DNA chips/luminex beads) is kwantificatie niet betrouwbaar mogelijk. Deze technieken moeten nog, vanwege de beperkte gevoeligheid, worden gecombineerd met specifieke PCR reacties. De meerwaarde voor drinkwateronderzoek is daardoor nog beperkt.
- Grootschalige sequentieanalyse (next generation sequencing) ontwikkelt zich mogelijk tot een aantrekkelijke universele detectiemethode waarmee zeer veel relevante informatie per analyse kan worden verkregen. De kosten dalen snel maar zijn momenteel nog te hoog voor routinematige toepassing. Voor de interpretatie van de data zijn er nog grote stappen te maken in de ontwikkeling van software en databases.
- De mogelijkheden van technieken waarmee op basis van de biochemische samenstelling van organismen kenmerkende fingerprints kunnen worden gegenereerd (MALDI-TOF/Raman spectrometrie) lijken veelbelovend, eenvoudig en goedkoop uit te voeren. Toepassing vraagt nu nog een kweekstap om voldoende gevoelig en betrouwbaar te meten. Er zijn ontwikkelingen naar "single-cell" typering, maar het is momenteel nog onduidelijk (en vraagt nog veel ontwikkeling) of het mogelijk gaat worden om deze technieken in te zetten om snel en routinematig alle individuele micro-organismen in een watermonster te identificeren.

Voor de ontwikkeling van een, routinematig toepasbare, universele detectiemethode (ook voor virussen) zijn er nog ontwikkelingen noodzakelijk op het gebied van het concentreren van micro-organismen uit watermonsters en de opwerking van een concentraat tot een monster waarin detectie met voldoende gevoeligheid mogelijk is (zoals extractie van DNA).

De resultaten van deze inventarisatie zijn vastgelegd in rapport BTO 2013.242(s).

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Er zijn in dit onderzoek diverse veelbelovende ontwikkelingen geïdentificeerd (next generation sequencing, Maldi-TOF en Raman fingerprinting) die mogelijk in de toekomst kunnen leiden tot een universele methode waarmee met één test een compleet overzicht wordt verkregen van de samenstelling van de complete microbiologische gemeenschap in een watermonster. Maar, stappen die gezet moeten worden om de technologie en software

voor data-analyse (verder) te ontwikkelen zijn nog groot en het is niet te verwachten dat deze stappen binnen enkele jaren te zetten zijn. Bij het toepassen van qPCR is het niet mogelijk om een compleet beeld te krijgen van de gehele microbiologische gemeenschap maar zijn er op kortere termijn (enkele jaren) wel mogelijkheden om de kwantificatie van een beperkt aantal relevante micro-organismen (zoals wettelijke parameters of organismen die een rol spelen bij zuiveringsprocessen) in één test bij elkaar te brengen. Aanvullend onderzoek zal inzicht geven in de mogelijkheden van qPCR voor het aantonen van meerdere relevante organismen in één test. Automatisering van het uitvoeren van qPCR-analyses zal voor de eenvoudige (en goedkope) uitvoering van dergelijke “universeel” qPCR-tests noodzakelijk zijn. Daarnaast zal de ontwikkeling van een eenvoudige universele methode voor het concentreren van alle organismen (ook virussen) uit water en de ontwikkeling van een eenvoudige en efficiënte methode voor extractie van het DNA/RNA uit het monsterconcentraat noodzakelijk zijn om qPCR-methoden routinematig te kunnen toepassen als “universele” detectiemethode.

6.9 Efficiënte DNA-extractiemethode

Onderzoeker

Leo Heijnen

Doel project

Het doel van het project is om de DNA-extractiemethode te optimaliseren en zo nodig aan te passen zodat DNA met hoge opbrengst en van voldoende kwaliteit kan worden geëxtraheerd uit ijzerhoudend (grond)water en drinkwater bereid uit dit watertype.

Aanleiding

Toepassing van moleculair-microbiologische methoden, waarbij het DNA van micro-organismen wordt gebruikt voor het detecteren en identificeren van de organismen, biedt veelbelovende mogelijkheden in het microbiologische onderzoek van water. Met moleculair-biologische methoden, zoals qPCR, is het namelijk mogelijk om zeer snel met grote gevoeligheid informatie te krijgen over de aanwezigheid en concentratie van specifieke micro-organismen in watermonsters. Methoden waarmee snel, reproduceerbaar, eenvoudig en met hoge opbrengst DNA kan worden geëxtraheerd uit een geconcentreerd watermonster zijn, voor de toepassing van qPCR-methoden, van groot belang. In het BTO-onderzoek van 2011 is een methode ontwikkeld waarmee het mogelijk is om met een hoge opbrengst (tussen ca. 30 en 50%) DNA te extraheren uit de filtraten van verschillende typen watermonsters (riool-, oppervlakte- en drinkwater); in diverse onderzoeken blijkt deze methode zeer goed te voldoen. Maar, bij een beperkt aantal monsters is de opbrengst van het DNA laag en bij een aantal projecten waarin analyse plaatsvond van grondwatermonsters met hoge concentraties ijzer en drinkwater bereid uit dit grondwater is de opbrengst van de DNA-extractieprocedure bij een vrij groot aantal monsters erg laag (<1%) en werd de toepassing van qPCR in deze monsters belemmerd.

Opbrengsten

De resultaten van deze verkenning zijn in meer detail beschreven in rapport BTO 2014.215(s). Uit de resultaten van deze verkenning kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De aanwezigheid van ijzer(hy)droxiden in watermonsters zorgt bij het isoleren van DNA uit filtraat van deze monsters voor een verlaagde opbrengst.
- Het, na filtratie, spoelen van het filter met een oplossing van 0,3M ammoniumoxalaat (pH 3,0) zorgt, in korte tijd, voor het oplossen van ijzerhydroxiden en daarmee voor een verbeterde opbrengst bij de DNA-isolatie.
- Het toepassen van een spoelstap met ammoniumoxalaat heeft verder geen invloed op het DNA van de bacteriepopulatie.

Voorstel voor vervolgonderzoek

De ontwikkelde verbetering zal worden geïmplementeerd in de standaardprocedure voor het isoleren van DNA uit watermonsters.

6.10 Methode analyse anorganische arseen

Onderzoeker

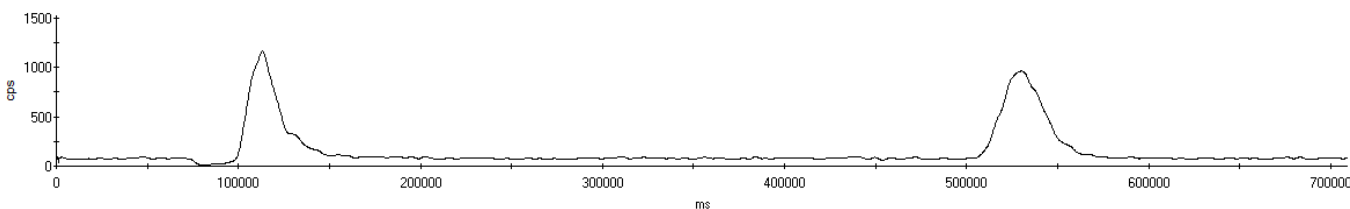
Merijn Schriks

Doel project

Anorganisch arseen wordt hoofdzakelijk in het milieu aangetroffen als arseniet en arsenaat. De Environmental Protection Agency (US EPA) stelt dat arseniet 50 maal toxischer is vergeleken met arsenaat. Omdat de huidige metingen (klassieke ICP-MS methode) van anorganisch arseen in het aquatisch milieu geen informatie verschaffen over speciatie is het nodig om een betrouwbare discriminerende analysemethode te ontwikkelen.

Opbrengsten

Er is een discriminerende methode voor arseniet en arsenaat ontwikkeld. De methode is gebaseerd op een chromatografische scheiding van arseniet en arsenaat met Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) als detectietechniek. Diverse analyseparameters zoals de kolomkeuze, eluens en injectievolume zijn geoptimaliseerd. In figuur 1 is een chromatogram te zien waarin de scheiding tussen arseniet en arsenaat te zien is. De laagste concentratie (LOD) die gemeten kan worden is vastgesteld op 0,05 µg/l voor zowel arseniet als arsenaat.



Figuur 1. Chromatogram van een standaard oplossing in ultra-puur water van 0,50 µg/l voor arseniet (1e piek) en arsenaat

Vervolgens zijn er acht oppervlaktewatermonsters geanalyseerd met de nieuw ontwikkelde methode om de hoeveelheid arseniet en arsenaat te bepalen. De gevonden concentraties van arseniet en arsenaat zijn vergeleken met de totaal concentratie arseen die gemeten wordt met de klassieke ICP-MS methode. Bij de klassieke ICP-MS methode kan er geen verschil gemaakt worden tussen de verschillende arseen species en kan alleen het totaal aan arseen bepaald worden. In tabel 1 staan de resultaten van deze analyses weergegeven.

Tabel 1. Concentraties arseniet, arsenaat en totaal arseen voor acht oppervlaktewatermonsters

Oppervlaktewater	Concentratie arseniet (µg/l) A	Concentratie arsenaat (µg/l) A	Concentratie totaal arseen (µg/l) B	Totaal arseniet en arsenaat t.o.v. totaal arseen (%)
1	-	0,31	0,58	53
2	0,05	0,70	1,2	63
3	-	6,3	6,4	98
4	-	5,8	6,4	91
5	-	5,2	5,8	90

6	-	0,76	1,0	76
7	0,05	0,71	1,5	51
8	-	0,98	1,7	58

A: bepaald met de speciatie methode

B: bepaald met de klassieke methode niet aangetroffen

Met de klassieke ICP-MS methode wordt er over de acht oppervlaktewatermonsters tussen de 0,10 en 0,70 µg/l meer arseen gevonden dan de concentraties van de twee species bij elkaar opgeteld. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door andere species die aanwezig zijn of andere verbindingen die ook arseen bevatten zoals bijvoorbeeld galliumarsenide. Er worden bij twee oppervlaktewatermonsters twee extra pieken in het chromatogram gevonden. Deze pieken zullen hoogstwaarschijnlijk een van de andere organische species van arseen zijn.

Samenwerking

De ervaringen en opbrengsten, waaronder deze notitie en de ruwe data, zullen gedeeld worden met onder andere Het Waterlaboratorium, Aqualab Zuid, Vitens en WLN. De eindrapportage is beschikbaar voor de drinkwaterbedrijven.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Omdat er toxiciteitsverschillen zijn tussen arseniet en arsenaat is het van belang voor de drinkwatersector om de verschillende species te kunnen bepalen. Tevens kan er onderzocht worden of de huidige drinkwaterbehandelingstechnieken voldoende zijn om de twee arseenspecies te verwijderen. Het is van belang om de species in dezelfde oxidatietoestand te houden vanaf het moment van monsternamen tot aan het moment van analyse. Hiervoor zijn er tijdens dit project een aantal verschillende conserveringsmethoden getest. Hiervoor zijn zowel arseniet en arsenaat op een niveau van 1 µg/l toegevoegd aan een oppervlaktewatermonster. Vervolgens is dit monster verdeeld en zijn er verschillende conserveringsmiddelen toegevoegd. Echter geen van de geselecteerde methode was toereikend om arseniet te conserveren. Bij toepassing van sommige conserveringsmiddelen wordt er 2 µg/l arsenaat terug gevonden, hieruit blijkt dat bij deze conserveringsmiddelen arseniet wordt omgezet in arsenaat. De conserveringsmethode zal in een vervolgonderzoek nader uitgezocht moeten worden. Om de analyse te kunnen automatiseren is aanvullende apparatuur nodig (autosampler en HPLC pomp). Nu worden de injecties handmatig uitgevoerd zodat de analyse arbeidsintensief is.

De resultaten van deze verkenning zijn ingebracht in de themagroep *Nieuwe stoffen* en de themagroep *Nieuwe meetmethoden en sensing*.

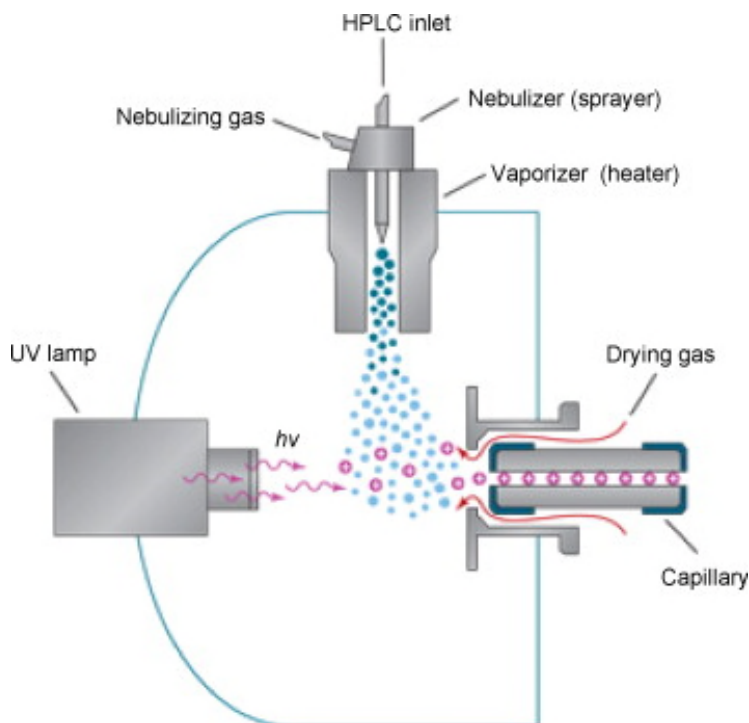
6.11 Verkenning "Atmospheric Pressure Photoionization"

Onderzoeker

Dennis Vughes

Doel project

Bij de monitoring van organische microverontreinigingen in de watercyclus worden diverse breed screenende multicomponentmethoden ingezet. Atmospheric Pressure Photoionization (APPI) is een nieuwe manier van ioniseren voor de koppeling van vloeistofchromatografie en massaspectrometrie (LC-MS) waarmee een grotere range aan verbindingen (polaire en apolaire, log KOW 0-12) in één analysegang kan worden geanalyseerd. APPI is complementair aan meer gangbare ionisatietechnieken zoals ESI en APCI en maakt analyse van verbindingen mogelijk die moeilijk of niet ioniseerbaar zijn met ESI of APCI. Om een goede inschatting te maken van het belang voor de monitoring op de veiligheid van de drinkwatervoorziening is het nodig een beeld te krijgen van de toepasbaarheid van APPI door een overzicht te maken van de in literatuur bekende toepassingen. Vervolgens kunnen we aangeven voor welke voor de waterwereld relevante stofgroepen APPI een meerwaarde biedt.



Figuur 1. Schematische weergave Syagen PhotoMate APPI Source (bron: Agilent technologies)

Opbrengsten

De resultaten van deze verkenning staan beschreven in rapport BTO 2013.236(s) 'Literatuurstudie "Atmospheric Pressure Photoionization" (APPI) techniek voor de analyse van organische microverontreinigingen'.

Door APPI toe te passen als ionisatietechniek voor de koppeling van vloeistofchromatografie en massaspectrometrie is het mogelijk voor KWR en de drinkwaterlaboratoria om een grotere range aan organische microverontreinigingen te analyseren. Op deze manier wordt tevens de keuze van analysetechnieken voor specifieke verbindingen vergroot.

Een voorbeeld van de meerwaarde van APPI voor de drinkwaterbedrijven is de analyse van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs). Deze groep van verbindingen dient volgens de wetgeving gemonitord te worden en wordt door de drinkwaterlaboratoria in de meeste gevallen met LC-FLD/UV geanalyseerd. Het nadeel van deze laatste analysetechniek is de beperkte selectiviteit ervan, waardoor deze techniek gevoelig is voor interferenties. Ook de ondubbelzinnige identificatie is moeilijker bij LC-FLD/UV omdat de spectrale informatie die wordt verkregen minder specifiek is dan die van een massaspectrum. Voor de analyse van PAKs biedt APPI een uitkomst: het is nu mogelijk om alle PAKs die volgens de wetgeving gemonitord moeten worden in een snelle eenvoudige methode te analyseren. Met de ontwikkelde methode worden goede gevoeligheden en reproduceerbaarheden behaald en wordt tevens voldaan aan de gestelde identificatiecriteria. Screening met behulp van APPI biedt ook de gelegenheid nauw verwante verbindingen waarvoor nog geen regulering bestaat, zoals N-PAKs en metabolieten van PAKs en N-PAKs te identificeren en kwantificeren.

Samenwerking

EAWAG in Zwitserland is bezocht en hierbij zijn ervaringen met betrekking tot APPI uitgewisseld. De reeds bestaande samenwerking met de UvA omvat mede de toepassing van APPI voor analyse van PAKs en N-PAKs.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De APPI Bron is inmiddels aangeschaft bij KWR en wordt al toegepast voor onderzoek van nanodeeltjes (fullerenen).

In het BTO-project 'Nieuwe tools in brede screening' binnen het thema *Nieuwe meetmethoden en sensing* wordt een vervolgonderzoek uitgevoerd naar de toepasbaarheid van APPI voor de hoge-resolutiescreeningsmethode van KWR (LOA-600, ESI-LC-Orbitrap). Dit onderzoek verschaft naar verwachting een goed beeld van welke onbekende verbindingen er in de watercyclus extra worden gevonden met APPI en biedt de mogelijkheid om ook verbindingen te detecteren die nog niet eerder zijn opgemerkt in de watercyclus.

Het APPI BTO-rapport is ingebracht in de themagroep *Nieuwe meetmethoden en sensing* op 26 september 2013.

6.12 Quarternaire ammoniumverbindingen in bronnen van drinkwater



Onderzoekers

Dennis Vughs, Annemieke Kolkman

Doel project

Het doel van dit onderzoek is om een meetmethode te ontwikkelen en een monitoringsstudie uit te voeren naar aanwezigheid van polaire quaternaire ammoniumverbindingen in bronnen van drinkwater.

Quaternaire ammoniumverbindingen of “quats” vormen een belangrijke groep van industriële chemische verbindingen. Zij worden ingezet voor een breed spectrum huishoudelijke, industriële, agrarische en medische toepassingen. Het RIVM heeft in 2010 onderzoek gedaan naar biociden in oppervlaktewater die mogelijk relevant kunnen zijn voor de drinkwaterproductie. Daarbij zijn quats geprioriteerd en is aanbevolen deze stoffen te monitoren om meer inzicht te krijgen in hun werkelijke vóórkomen in oppervlaktewater.

Opbrengsten

Gestart is met een inventarisatie van quats in milieu matrices (water, slib, sediment etc) door middel van een literatuurstudie. Hierbij is een selectie gemaakt van 27 relevante quats in de watercyclus. Kwantitatieve en kwalitatieve analyse van quats is een uitdaging, vooral vanwege de permanente lading op het stikstofatoom en de grote diversiteit van de geselecteerde verbindingen. Een literatuurstudie naar bestaande analysemethoden leidde tot de beslissing om twee chromatografische methoden te ontwikkelen.

De eerste methode is gebaseerd op “reversed phase” chromatografie en met name geschikt voor hydrofobe quats. De tweede methode is gebaseerd op hydrophilic interaction liquid chromatografie (HILIC) en geschikt voor analyse van hydrofiele quats, zoals paraquat en diquat. Bij beide chromatografische methoden is de QTOF hoge resolutie massaspectrometer gekozen als detectie techniek: de QTOF biedt een goede gevoeligheid en maakt het mogelijk ook retrospectief naar quats te screenen.

In juli 2014 is met de nieuwe methode een monitoringstudie gedaan naar quats in bronnen van drinkwater, waarbij in totaal 21 locaties bemonsterd zijn. Onderzocht zijn oppervlaktewater, behandeld oppervlaktewater en drinkwater. Bij deze monitoringstudie is één quat veelvuldig teruggevonden: tetrapropylammonium (TPA) is aangetoond bij 11 van de 21 locaties, met een maximale concentratie van 0,05 µg/l.

Ook in drinkwater is deze verbinding gedetecteerd, met een maximale concentratie van 0,02 µg/l. Verder blijkt uit de monitoringstudie dat TPA maar deels wordt verwijderd door drinkwaterzuiveringen zoals waterstofperoxide/UV behandeling. Pilotexperimenten bevestigen dat TPA met middendruk H₂O₂/UV behandeling (middendruk UV dosis 900 mJ/cm²) maar voor 42% wordt verwijderd uit oppervlaktewater.

De in de monitoring gevonden concentraties van TPA blijven ruim onder de drinkwaternorm van 0,1 µg/l. TPA vormt dus op dit moment geen bedreiging voor de productie van drinkwater.

De resultaten zijn beschreven in het rapport BTO 2014.036 'Quaternary ammonium compounds in sources of drinking water'.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

De ontwikkelde analysemethode is succesvol toegepast voor de monitoringstudie van quats in bronnen van drinkwater. Deze methode kan worden ingezet voor periodieke waterkwaliteitsmonitoring en kan op verzoek worden geïmplementeerd bij een drinkwaterlaboratorium.

Vanwege het veelvuldig voorkomen van TPA wordt aanbevolen deze verbinding verder te monitoren en meer onderzoek te verrichten naar de verspreiding van TPA in het milieu en het gedrag van deze verbinding in de drinkwaterzuivering. Ook is een toxicologische risicobeoordeling nodig om mogelijke gezondheidseffecten bij langdurige blootstelling aan lage doseringen vast te stellen.

6.13 Oxidative stress response as a new parameter for water quality

Onderzoeker

Merijn Schriks

Doel

In vitro bioassays krijgen steeds meer draagvlak bij het bepalen van waterkwaliteit als aanvulling op chemisch analytische parameters. Het aanbod van bioassays uit de wetenschappelijke sector is groot, maar er zijn weinig bioassays gevalideerd om waterkwaliteit te beoordelen. Het doel van het huidige onderzoek bestaat uit het opzetten van de AREc32 bioassay. Deze bioassay verschijnt steeds vaker in de wetenschappelijke literatuur als robuuste screeningstechniek voor de aanwezigheid van reactieve stoffen in de watermatrix.

Opbrengsten

In het onderzoek is de AREc32 bioassay opgezet die specifiek is voor stoffen met reactieve activiteit. Om een beeld te krijgen van de werking van de bioassay zijn een aantal referentiestoffen getest en vergeleken met de wetenschappelijke literatuur. Voorts werd onderzocht of de AREc32 bioassay toegevoegde waarde heeft bij het evalueren van zuiveringsefficiëntie gedurende drinkwaterbehandeling.

De resultaten illustreren dat de karakteristieken van de geteste agonisten goed overeenkomen met de literatuur. Voorts zijn een aantal watermonsters onderzocht van de proefinstallatie van Waternet te Weesperkarspel. Dit onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met DPW en het EU-project DEMEAU. De resultaten laten zien dat alle bioassay responsen onder de bijbehorende drempelwaarde zijn. In aanvulling wordt duidelijk dat actief kool een efficiënte behandelingsstap is om reactieve stoffen af te vangen.

De resultaten zijn beschreven in het rapport BTO 2014.025 'Oxidative stress response as a new parameter for water quality'.

Voorstel voor implementatie en/of vervolgonderzoek

Het huidige onderzoek heeft laten zien dat toepassen van de AREc32 bioassay toegevoegde waarde kan hebben omdat ontstaan en verwijdering van reactieve stoffen tijdens drinkwaterzuivering inzichtelijk gemaakt kan worden. Het onderzoek kan daarom toegepast worden complementair aan analytisch chemisch georiënteerd onderzoek.

7 Society

7.1 Actief burgerschap als kans voor het realiseren van maatschappelijke duurzaamheid door drinkwaterbedrijven

Onderzoeker

Stijn Brouwer

Doel project

De afgelopen decennia worden burgers in sterk toenemende mate uitgenodigd, verleid, gestimuleerd of zelfs geacht om een actieve burger te zijn. Ook de rol van de waterklant wordt diverser: naast een gebruiker van water ontpopt hij zich steeds meer als een mondige burger en kritische consument die bezig is met een duurzame toekomst. Bovendien maken positieve ervaringen in andere (publieke) sectoren het aannemelijk dat er interessante kansen zijn voor samenwerkingsrelaties tussen drinkwaterbedrijven en actieve burgers. Zo zou door het betrekken van burgers de kans worden vergroot dat drinkwaterbedrijven (innovatie)keuzes maken waarvoor meer draagvlak en begrip bestaat, kunnen besluitvormingsprocessen 'verrijkt' worden met relevante invalshoeken, belangen en inzichten die anders wellicht niet ter tafel zouden zijn gekomen, kan er beter worden ingespeeld op de wensen van de klant, en kan in de burger een partner worden gevonden waarmee samengewerkt kan worden in het realiseren van bijvoorbeeld duurzaamheids- of kwaliteitsdoelstellingen. Desalniettemin is de trend van een toenemende burgerparticipatie aan drinkwaterbedrijven enigszins voorbijgegaan.

Middels een korte theoretische studie en een eerste sociaal-wetenschappelijke empirische verkenning is in dit onderzoeksproject verkend wat de ontwikkelingen rondom burgerparticipatie en actief burgerschap zijn, welke (potentiële) kansen drinkwaterbedrijven hebben om actief burgerschap te benutten, en welke vragen binnen drinkwaterbedrijven leven om burgerparticipatie in de toekomst op een goede manier vorm te geven.

Opbrengsten

De theoretische verkenning heeft behalve meer inzicht in de achtergrond, het verloop en de verschillende manifestaties van burgerparticipatie inzicht verschaft in de vier verschillende typen actieve burgers waarmee drinkwaterbedrijven in toenemende mate mee kunnen of zullen moeten acteren: (1) deliberatieve burgers, gekenmerkt door hun bereidheid actief mee te denken en te beslissen; (2) coöperatieve burgers, minder actief maar desalniettemin vaak bereid hun mening te geven en mee te doen aan (duurzaamheids)initiatieven; (3) social-mediated burgers, die niet zozeer bereid zijn mee te doen maar des te actiever zijn in het digitaal ventileren van hun kritiek; en tot slot (4) ondernemende burgers. Ondernemende burgers zijn representanten van de zogenaamde 3e generatie burgerparticipatie waarbij de initiatieven van de burger zelf (denk aan decentrale winning en zuivering) centraal staan, en niet zozeer de burger als wel het drinkwaterbedrijf de participerende partij is.

Uit de empirische verkenning is naar voren gekomen dat actief burgerschap ook in de praktijk een thema is dat sterk leeft onder waterprofessionals, en waarvan het idee bestaat dat het in de toekomst steeds belangrijker zal gaan worden. De huidige invulling die drinkwaterbedrijven aan burgerparticipatie en actief burgerschap geven is verschillend.

Hierbij valt op, zonder dat deze differentiatie altijd even bewust wordt gemaakt, dat er vooral toenemende aandacht is voor de coöperatieve-, de social-mediated-, en de ondernemende burger. De deliberatieve burger blijft tot op heden veel meer in de schaduw staan, hoewel juist interactie met deze burgers veel voordelen met zich mee kan brengen. Een gebrek aan kennis en waardering binnen drinkwaterbedrijven speelt hierbij een belangrijke rol.

De uitwerking van deze theoretische en empirische verkenning, alsmede de aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn opgetekend in het rapport BTO 2014.026 'Actief Burgerschap: Ontwikkelingen, kansen en vragen'.

Samenwerking

Binnen dit onderzoeksproject zijn drie professionals werkzaam bij drie verschillende drinkwaterbedrijven geïnterviewd.

Voorstel voor vervolg onderzoek

Burgerparticipatie en actief burgerschap zijn thema's waarvan het belang de komende jaren enkel zal toenemen. Tegelijkertijd is het een thema dat omringd is met tal van onzekerheden en samenhangende kennisvragen. Zo is er een grote behoefte om meer inzicht te krijgen in de verschillende manieren waarop de burger betrokken zou kunnen worden, en welke vorm van participatie geschikt is voor welk type vraagstuk. Belangrijk hierbij is de zoektocht naar vormen van participatie die zowel recht doen aan de wensen van de burger, als van wezenlijk nut is voor de drinkwaterbedrijven zelf. Hoe kunnen burgers, hoewel zij vaak de technisch-inhoudelijke kennis ontberen, bijvoorbeeld op het gebied van beleids- en investeringsbeslissingen betrokken worden op een manier die bruikbaar is voor de drinkwaterbedrijven? In hoeverre willen burgers überhaupt betrokken worden? Wat zijn de best practises met het betrekken van actieve burgers in andere (publieke) sectoren? Wat zijn de sleutelementen voor succesvolle burgerparticipatie? Tot slot leven er veel vragen over de ontwikkeling van actieve burgers zelf, en de betekenis die dit kan hebben voor drinkwaterbedrijven. Belangrijke vragen op dit gebied zijn onder meer 'Hoe groot is de groep actieve burgers?', 'Hoe groot is en kan deze trend worden wanneer het technisch gezien steeds makkelijk wordt decentraal voor je eigen watervoorziening te zorgen?', 'Wat is maatschappelijk acceptabel?' en 'Wat vraagt deze ontwikkeling van drinkwaterbedrijven?'. Voor het geven van antwoorden op bovenstaande vragen, en wellicht nog belangrijker, voor het in kaart brengen van de kansen en de ontwikkelingen om burgerparticipatie in de toekomst op een goede manier vorm te geven is vervolgonderzoek nodig. Onderzoek waarbij enerzijds wordt gekeken naar brede (sector-overschrijdende) ontwikkelingen, en anderzijds - middels praktijkonderzoek en het leren door doen, het zogenaamde action-learning (actie-leren), wordt ingezoomd op ervaringen en, indien mogelijk, op te zetten pilots binnen de drinkwatersector zelf.

Bijlage I Overzicht projecten

Verkennend Onderzoek 2013-2016

Thinking ahead

1	Comparing future visions	2016-2017	Henk-Jan van Alphen
2	Water Wise Concepts - Phase 2	2016-2017	Christos Makropoulos
3	Hydroinformatics: Roadmap to the future	2016-2017	Christos Makropoulos
4	Waterstofeconomie en de waterleidingsector	2016	Frank Oesterholt
5	Water Wise Concepts - Phase 1	2015-2016	Christos Makropoulos
6	Scouten Wetenschappelijke ontwikkelingen	2015	Auke Kronemeijer
7	Initial evaluation of innovative electrochemical sensor technology for pH	2014	Auke Kronemeijer
8	Future sensor research at KWR	2013	Auke Kronemeijer
9	Trends en relevante kennisvragen rond urban hydroinformatics en 'big data' voor de drinkwatersector	2013	Miranda Pieron

Sustainable water cycle

1	Lumbricus	2016-2017	Ruud Bartholomeus
2	RPAS (drones) voor waterbedrijven	2016	Edu Dorland
3	Onbemande luchtvaart met sensoren voor de drinkwatersector	2014-2015	Flip Witte
4	Schaliegas	2014	Mariëlle van der Zouwen
5	Preparedness of the water sector	2014	Adriana Hulsmann
6	De 'Multiput' brengt drinkwaterwinning onder controle	2014	Koen Zuurbier
7	SIMDEUM-PRO: Simulation of warm water demand and its related energy	2013-2014	Jan Vreeburg
8	Inventarisatie concentraties en herkomst van methaan in voor drinkwater onttrokken grondwater	2013	Niels Hartog
9	Verkenning van mogelijkheden van Momentmethode voor lokale modellen	2013	Willem Jan Zaadnoordijk
10	Drinkwaterbedrijven in de Water-Energie-Voedsel nexus	2013	Jos Frijns

Enabling technologies

1	Communicatiepilots	2016-2017	Gertjan Medema
2	Autonome inspectierobots	2016	Peter van Thienen
3	Drinkwaterinfrastructuur voor de toekomst	2014-2016	Mirjam Blokker
4	Verkeersbelasting en leidingfalen	2014	Andreas Moerman
5	Affiniteitsadsorptie verwijdering organische microverontreinigingen	2013-2014	Roberta Hofman
6	CT-scan voor begraven leidingen	2013-2014	Peter van Thienen
7	Oxidatie, coagulatie en desinfectie in één stap met stabiel Ferraat?	2013-2014	Roberta Hofman

8	Een nieuwe kans voor ozon? Geavanceerde oxidatie op basis van O ₃ /MnO ₂ voor drinkwaterbehandeling	2013-2014	Roberta Hofman
9	Methode ontwikkeling voor gedetailleerde zettingskaarten	2013	Ralph Beuken
10	CompActief Kool	2013	Emile Cornelissen
11	Actief-koolfilters: Operatie geslaagd, dokter overleden?	2013	Roberta Hofman
12	De mogelijkheden voor ondergrondse grondwaterzuivering rondom putten	2013	Niels Hartog
13	Betere beheersing van biofouling van hogedrukmembranen door ontharding van water met ionenwisseling	2013	Emile Cornelissen
14	Interactieve risicokaarten voor Multi-Asset management	2013	Peter van Thienen
15	qPCR voor Fusarium	2013	Paul van der Wielen
16	Digitale droplet PCR	2012	Bart Wullings

Health

1	Polaire stoffen	2016-2017	Thomas ter Laak
2	Kennisimpuls waterkwaliteit	2016-2017	Annemarie van Wezel
3	Metatranscriptomics en Minlon voor optimalisatie van functionele microbiële processen	2016-2017	Leo Heijnen
4	Oxidative stress response	2014	Merijn Schriks
5	Detectie van (vrij-)DNA van dierlijke organismen in drinkwaterdistributiesystemen	2014	Bart Wullings
6	Quaternaire ammoniumverbindingen in bronnen van drinkwater	2014	Dennis Vughs
7	Microplastics in de waterketen II	2014	Stefan Kools
8	Herkomst en gedrag barbituraten in de watercyclus	2013-2014	Pim de Voogt
9	Efficiënte DNA extractie methode	2013-2014	Ronald Italiaander
10	Identificatie nieuwe indicatororganismen	2013-2014	Luc Hornstra
11	Methode analyse anorganisch arseen	2013	Merijn Schriks
12	Groepsgewijze analyse en beoordeling van stoffen: de implementatie van "structural alerts"	2013	Annemieke Kolkman
13	Is een universele microbiologische meetmethode haalbaar?	2013	Leo Heijnen
14	Microplastics in de waterketen I	2013	Stefan Kools
15	Verkenning 'Atmospheric Pressure Photoionization'	2013	Dennis Vughs
16	Normstelling anorganisch arseen	2013	Merijn Schriks
17	Typeren van <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2012	Paul van der Wielen

Society

1	iWater, burgers als spil in water-wise concepts	2015-2016	Stijn Brouwer
2	Actief burgerschap als kans voor het realiseren van maatschappelijke duurzaamheid door drinkwaterbedrijven	2013-2014	Stijn Brouwer