



## AUTEURS



Tim van Dijk en Patrick van der Wens  
(Brabant Water)

## VERBETERDE ARSEEN- VERWIJDERING: STRATEGIE, TECHNOLOGIEONTWIKKELING EN OPERATIONELE RESULTATEN

Brabant Water spant zich sinds 2013 in om de arseenverwijdering bij de grondwaterzuiveringen te verbeteren tot  $< 1 \mu\text{g/l}$  in het drinkwater. Verwijdering met *Advanced Oxidation Coagulation Filtration* (AOCF) met  $\text{NaMnO}_4$ -dosering is efficiënt maar heeft operationele nadelen. Op de waterproductielocatie Prinsenbosch werd gezocht naar een beter alternatief.

### Strategie

Arseen (As) is een zeer giftig element dat van nature voorkomt in grondwaterbronnen. De Nederlandse drinkwaterstandaard voor As is gelijk aan de WHO-richtlijn:  $< 10 \mu\text{g/l}$ . Sinds 2008 is deze norm echter onderwerp van discussie in de Nederlandse drinkwatersector – hij zou te hoog zijn. Onderzoek toonde aan dat de gezondheidsbaten van verdergaande

Tabel 1. Operationele resultaten van het pilotonderzoek; operationele kosten (chemicaliën, spoelwaterverlies en slibverwerking) omgerekend naar praktijkschaal

Dosering	Geen	Fe(II)	Fe(III)	NaMnO <sub>4</sub>
Dosering (mg/l)	0	1,2	0,7	1,3
Arseenconcentratie filtraat (µg/l)	1,8	0,6	0,8	0,7
Filterlooptijd (uren)	101	73	50	49
Doorslag Fe-deeltjes	niet	niet	gevoelig	wel
Slibindikking na 1 maand (% DS)	3,88	3,99	1,48	0,95
Spoelwaterverbruik (m <sup>3</sup> /jaar)	100.000	140.000	200.000	200.000
Operationele kosten (€/jaar)	30.000	45.000	90.000	140.000

verwijdering van arseen (tot < 1 µg/l) aanzienlijk hoger waren dan de kosten ervan. Als gevolg hiervan heeft Brabant Water in 2013 een interne doelstelling van < 1 µg/l vastgesteld en een Masterplan As-verwijdering ontwikkeld, met onderzoek, technologieontwikkeling en kostenberekeningen, om As-verwijdering te verbeteren bij zes van zijn waterproductiebedrijven (WPB's). Ondertussen ging de discussie over arseen verder en dit leidde in 2016 tot een landelijke voorzorgrichtlijn van de VEWIN van < 1 µg/l.

### Technologieontwikkeling

Uit de literatuur was *Advanced Oxidation Coagulation Filtration* (AOCF) bekend om arseen te verwijderen. De kern van deze methode is het toevoegen van een oxidator (NaMnO<sub>4</sub>) om As<sup>3+</sup> te oxideren naar As<sup>5+</sup> in de bestaande grondwaterzuivering (beluchting-snel-filtratie). Het As<sup>5+</sup> kan vervolgens in de snelfilters verwijderd worden door adsorptie aan ijzer(oxide) hydroxides. Afhankelijk van de verhouding arseen/ijzer in het grondwater moet aanvullend ook Fe(III) gedoseerd worden om een arseengehalte < 1 µg/l te behalen. AOCF werd in eerste instantie geselecteerd en na uitgebreid onderzoek in 2016 geïmplementeerd bij WPB Dorst (met NaMnO<sub>4</sub> en FeCl<sub>3</sub> dosering) en een jaar later in WPB Prinsenbosch (enkel NaMnO<sub>4</sub> dosering).

Arseen werd met deze methode effectief verwijderd, maar in de praktijk werden enkele operationele nadelen ondervonden, zoals kortere filterlooptijd, doorbraak van deeltjes en slechte indikking van het spoelwaterslib.

Daarom ging in 2018 een onderzoek van start om een alternatief te vinden met minder negatieve effecten

op de operationele aspecten. Dit onderzoek vond plaats op WPB Prinsenbosch, eerst op pilot-schaal, daarna ook op praktijkschaal.

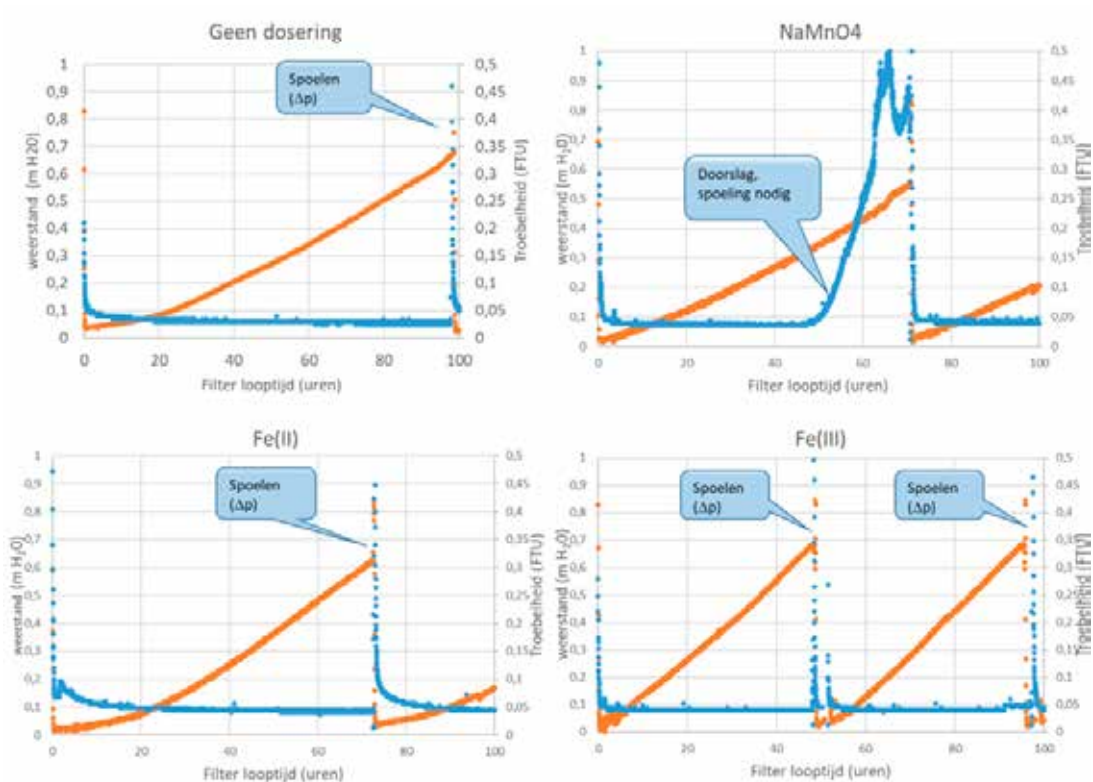
In de pilot werden vier varianten met elkaar vergeleken: geen dosering (dus de oude situatie zonder As-verwijdering) en dosering van respectievelijk NaMnO<sub>4</sub>, Fe(III), en Fe(II) in de vorm van FeCl<sub>2</sub>. Uit recent onderzoek was namelijk gebleken dat het As<sup>3+</sup> in de filters biologisch wordt omgezet in As<sup>5+</sup>, zodat het mogelijk niet nodig zou zijn om een oxidator als NaMnO<sub>4</sub> te doseren. De hypothese hierbij was verder dat de arseenverwijdering niet alleen verbeterd zou worden door de hogere Fe/As verhouding, maar ook doordat het Fe(II) dieper in het filter zou doordringen dan Fe(III). Daarnaast was de gedachte dat dosering van Fe(II) een vergelijkbaar proces zou opleveren als de traditionele grondwaterfiltratie. Hierbij wordt immers Fe(II) uit het grondwater verwijderd met langere looptijden, minder doorbraak van deeltjes en betere indikking van het spoelwaterslib.

Uit het pilot-onderzoek Prinsenbosch bleek inderdaad dat dosering van alleen Fe(II) het As tot < 1 µg/l verwijderd. Het onderzoek bevestigt dat het Fe(II) in het filter verwijderd werd in de vorm van ijzer(hydr)oxides, waaraan het arseen adsorbeerde. Niet alleen werd het arseen vergaand verwijderd, maar ook werden de operationele nadelen van AOCF grotendeels ondervangen. In vergelijking met AOCF waren de filterlooptijden significant langer, trad er geen doorbraak van deeltjes op en was de indikking van het spoelwaterslib veel beter (factor 3-4).

Op de pilot volgde een onderzoek op praktijkschaal, ook in Prinsenbosch, waarin de bestaande dosering van NaMnO<sub>4</sub> in één filterstraat vervangen werd door

Verbeterde  
arseen-  
verwijdering  
grondwater

28



Afbeelding 1. Bovenwaterstand (een maat voor de filterweerstand) (m H<sub>2</sub>O, oranje) en troebelheid in het filtraat (NTU, blauw) van de pilotinstallatie bij de vier onderzochte doseringen; spoelen ( $\Delta p$ ) = spoelen vanwege te hoge filterweerstand

een dosering van Fe(II). De resultaten kwamen overeen met die van het pilot-onderzoek.

De resultaten van het pilot-onderzoek zijn samengevat in tabel 1. De operationele kosten van chemicaliën, spoelwaterverlies en slibverwerking zijn hierbij berekend voor de praktijkinstallatie.

De resultaten laten zien dat alle drie de geteste chemicaliën arseen verwijderen tot < 1 µg/l. In vergelijking met de situatie zonder arseenverwijdering/dosering wordt de filterlooptijd (de tijd waarna spoelen noodzakelijk is) in alle gevallen korter. Met Fe(II) blijft hij echter aanzienlijk langer dan met Fe(III) en NaMnO<sub>4</sub>, waardoor het spoelwaterverbruik ook beduidend minder is. Bovendien treedt geen doorslag van deeltjes op en is filterweerstand de reden om te spoelen.

De effecten op de filtratie zijn ook te zien in afbeelding 1.

De afbeelding laat zien dat de filterweerstand bij dosering van Fe(III) en NaMnO<sub>4</sub> veel sneller oploopt

dan bij dosering van Fe(II). Vooral in vergelijking met Fe(III) valt dat op, aangezien er bijna een factor twee meer Fe gedoseerd wordt. Ook is de gevoeligheid voor doorslag van troebeling bij Fe(III) en NaMnO<sub>4</sub> veel groter dan bij Fe(II) en is het spoelcriterium daarsoms ook doorslag en niet weerstand.

Naast de voordelen met betrekking tot de filtratie, verloopt ook de indikking van het slib aanzienlijk beter bij dosering van Fe(II). Deze is zelfs vergelijkbaar met de oude situatie, zonder dosering. Ten slotte zijn ook de kosten van de dosering en de slibverwerking een stuk lager.

Het gunstige effect van de dosering van FeCl<sub>2</sub> op de operationele resultaten is te verklaren doordat de ijzer(oxide)hydroxides die gevormd worden bij dosering van Fe(II) veel compacter zijn dan de afzettingen die ontstaan bij AOCF (Fe(III)/NaMnO<sub>4</sub>). Dit hangt waarschijnlijk samen met de structuur van de gevormde afzettingen. Uit de literatuur is bekend dat bij aanwezigheid van Fe(III) in de waterfase snel amorfe en weinig compacte vlokken gevormd worden.

Bij dosering van Fe(II) worden de ijzer(oxide)-hydroxides katalytisch gevormd als afzettingen op de filterkorrels (ook wel aangeduid als adsorptieve ontijzering), die veel compacter zijn en vergelijkbaar met de normale afzettingen bij grondwaterfilters.

### Operationele resultaten in de full scale praktijk

Op basis van het onderzoek bij WPB Prinsenbosch heeft Brabant Water het Masterplan As-verwijdering aangepast: het bedrijf gaat dosering van Fe(II) bij de zes relevante WPB's (arseenconcentratie > 1 µg/l) toepassen. In april 2019 is de dosering van Fe(II) al geïmplementeerd bij WPB Prinsenbosch en de resultaten zijn zelfs beter dan verwacht. Het filtratieproces blijkt zeer robuust (geen doorslag, ook niet bij snelheidswisselingen) en de looptijden van de snelfilters zijn momenteel in de orde van 120 uur. Hierbij kan nog opgemerkt worden dat de looptijd in de oude situatie met AOCF (Fe(III)/NaMnO<sub>4</sub>-dosering) maar 55 uur bedroeg.

Na WPB Prinsenbosch is de Fe(II) dosering getest bij WPB Dorst. Hier kon de dosering van Fe(III) en NaMnO<sub>4</sub> vervangen worden door alleen Fe(II), met dezelfde operationele voordelen als in Prinsenbosch. Momenteel wordt de ombouw bij Dorst gerealiseerd. Na uitvoerig onderzoek op zowel pilot en praktijk-schaal, staat nu voor 2021 ook de invoering bij WPB Oosterhout in de planning en voor 2022 bij WPB Tilburg.

Bij de WPB's Welschap en Eindhoven ligt de arseenconcentratie in het reine water maar net boven de 1 µg/l. Op deze locaties wordt onderzocht hoe de bedrijfsvoering zodanig geoptimaliseerd kan worden dat een As-concentratie van < 1 µg/l wordt bereikt zonder aanvullende chemicaliëndosering. Op WPB Welschap loopt een onderzoek waarbij de zandfractie van het voorfilter wordt vergroot met grover zand. Het van nature aanwezige Fe(II) kan daardoor dieper in het filterbed komen en daar geoxideerd As<sup>5+</sup> adsorberen, en zo het rendement van de arseenverwijdering verhogen. De eerste resultaten zijn hoopgevend.

Tim van Dijk, Patrick van der Wens  
(Brabant Water)

### Referenties

Ahmad et al. (2014). Advanced oxidation-coagulation-filtration (AOCF) – an innovative treatment technology for targeting drinking water with < 1 µg.L<sup>-1</sup> of arsenic.

Bakker, S. A., et al. (2008). Arseen in drinkwater, niet alleen probleem voor Bangladesh, H2O(16): 18-21.

Beek, C.G.E.M. van, et al. (2012) Homogeneous, heterogeneous and biological oxidation of iron(II) in rapid sand filtration. Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA 2012 61.1.

Dijk, Tim van, (2018) Assessment of Fe(II), Fe(III) and NaMnO<sub>4</sub> dosing for As removal at WPB Prinsenbosch, MSc-thesis TU Delft.

Gude, J.C.J. , et al.(2018). Biological As(III) oxidation in rapid sand filters. Journal of Water Process Engineering.

Wens, P. van der, et al. (2016). Arsenic at low concentrations in Dutch drinking water: assessment of removal costs and health benefits, Sixth International Congress on Arsenic in the Environment (As2016): Arsenic Research and Global Sustainability., Stockholm, Sweden, CRC Press.

### SAMENVATTING

Brabant Water probeert al sinds 2013 de arseenverwijdering te verbeteren tot < 1 µg/l. Dat lukte met *Advanced Oxidation Coagulation Filtration* (AOCF), maar in de praktijk deden zich operationele nadelen voor, zoals verminderde filterlooptijd, doorbraak van deeltjes en slechte indikking van het spoelwaterslib. In 2018 is gestart met onderzoek om een geschikter alternatief te vinden. Na pilot- en full-scale onderzoeken op de productielocatie Prinsenbosch bleek dat ook dosering van Fe(II) arseen verwijdert tot < 1 µg /l en bovendien niet de operationele nadelen van AOCF heeft. Inmiddels wordt gefaseerd op alle relevante productielocaties van Brabant Water Fe(II)-dosering ingevoerd.

Verbeterde  
arseen-  
verwijdering  
grondwater