



Doris van Halem, TU Delft

Jasper Verberk, TU Delft

Gary Amy, King Abdullah University of Science and Technology

Hans van Dijk, TU Delft

Ondergrondse ijzer- en arseenverwijdering voor drinkwaterzuivering in Bangladesh

Een groot gezondheidsprobleem in Bangladesh vormt de aanwezigheid van arseen in ondiep grondwater. Dit probleem raakt vooral de armen op het platteland onevenredig, omdat zij het meest afhankelijk zijn van deze bron van drinkwater. Oplossingen voor het arseenprobleem, waaronder arseenverwijdering op huishoudschaal, bieden zelden een duurzaam alternatief voor veilig drinkwater op het platteland. Naar een nieuwe technologie voor de behandeling en opslag van huishoudelijk water, gebaseerd op ondergrondse verwijdering van ijzer en arseen, is onderzoek verricht in een promotieproject aan de TU Delft. Op 3 oktober vindt de openbare verdediging plaats.

Het principe van ondergrondse ijzer- verwijdering (zie afbeelding 1) is dat belucht water periodiek wordt geïnjecteerd in een zuurstofloze of anaerobe watervoerende laag, waarna onttrekking van grondwater plaatsvindt¹⁾. Door de injectie van zuurstofhoudend water wordt het Fe^{2+} bevattende grondwater gedeeltelijk verplaatst. Het zuurstofrijke geïnjecteerde water oxideert het geadsorbeerde Fe^{2+} tot Fe^{3+} in de ondergrond rondom de put. Tijdens de grondwateronttrekking keert de stroming van het water om, waardoor opgelost Fe^{2+} (en arseen) kan adsorberen aan het geoxideerde Fe^{3+} -oppervlak. Hierdoor wordt vervolgens grondwater met verlaagde ijzer- en arseenconcentraties onttrokken.

Kleinschalige toepassing van ondergrondse arseenverwijdering komt reeds voor in India,

Bangladesh en Duitsland^{2),3),4)}. Ondergrondse ijzer- en arseenverwijdering is een in situ-technologie, waarbij de verontreiniging bij de bron wordt aangepakt.

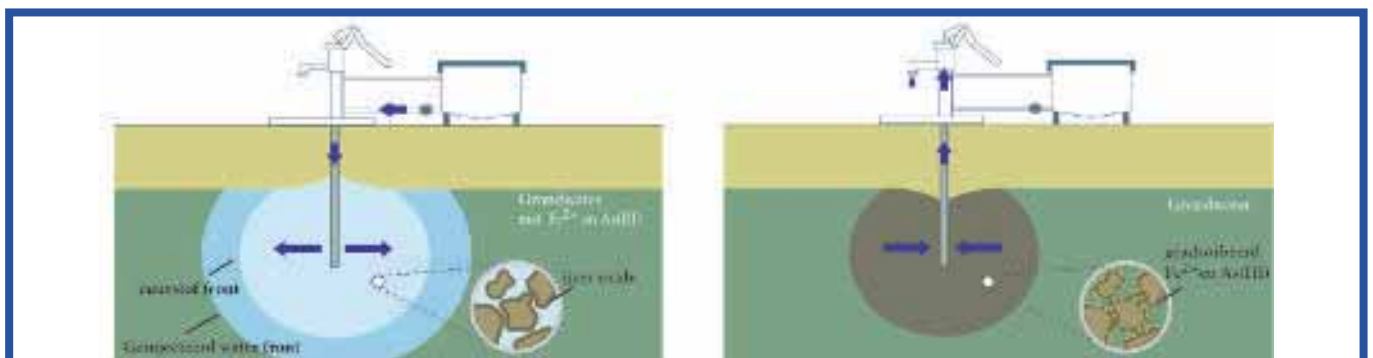
Deze aanpak heeft een aantal veelbelovende voordelen ten opzichte van huidige decentrale zuiveringstechnieken:

- Geen kostbaar filtermateriaal en onderhoud nodig;
- De grondwaterput heeft de voorkeur als drinkwaterbron op het platteland in Bangladesh⁵⁾ en is beschikbaar op huishoudschaal bij de allerarmsten;
- Er is weinig materieel nodig behalve de al bestaande handpomp en is bovendien lokaal te vervaardigen en te repareren;
- De verwijdering van ijzer (kleur, smaak) kan helpen bij de sociale acceptatie van deze technologie;

- IJzer kan een zichtbare indicator zijn voor de aanwezigheid van arseen (waterkwaliteitscontrole na constructie);
- De technologie is ook bruikbaar voor irrigatiewater, om zo accumulatie van arseen in groenten te beperken.

Voordat ondergrondse ijzer- en arseenverwijdering te beschouwen is als haalbaar alternatief ter bestrijding van het arseenprobleem, is echter beter inzicht nodig in de (ondergrondse) processen die de duurzame werking van dit proces onder verschillende geochemische condities bepalen. De gevolgde onderzoeksmethode in het promotieproject bestond uit een analyse van de gegevens van bestaande ondergrondse ijzerverwijdering in Nederland, het monitoren van een proefopstelling in

Afb. 1: Het principe van ondergrondse ijzer- en arseenverwijdering, met injectie (links) en onttrekking (rechts).



Bangladesh, zandkolomstudies in het veld en in het laboratorium én sedimentkarakterisering nabij ondergrondse ijzerverwijderingsputten.

Ondergrondse ijzerverwijdering

Ervaringen in Nederland bij Vitens en Oasen toonden aan dat ondergrondse ijzerverwijdering een effectieve, robuuste en duurzame technologie is met een groot potentieel voor wereldwijde toepassing. De zuurgraad bleek de meest dominante waterkwaliteitsparameter te zijn voor het bepalen van de effectiviteit van ondergrondse ijzerverwijdering. De operationele V/Vi-verhouding verdubbelde ruimschoots tussen pH 7,0 en 7,4 op pompstation Corle (Vitens). Naast ijzer werden ook mangaan, fosfaat en arseen vastgelegd in het watervoerende pakket. Opeenvolgende cycli resulteerden in een verbeterde verwijderingsefficiëntie, wat het potentieel van deze technologie voor een duurzaam gebruik illustreert.

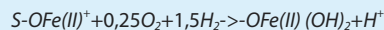
Voor handpompen in huishoudens in Bangladesh is veldonderzoek verricht in Manikganj. Het toonde aan dat ondergrondse ijzerverwijdering met succes toepasbaar is op kleine schaal. De efficiëntie van het proces werd beter met opeenvolgende injectie-onttrekkingscycli en bij injectie met hogere zuurstofconcentraties. Het optreden van adsorptieve-katalytische oxidatie tijdens de injectie-onttrekkingscyclus (zie kader) is gesimuleerd in laboratoriumkolomexperimenten, waarbij de waargenomen (stoichiometrische) 1:4-verhouding voor het zuurstofverbruik en Fe^{2+} -verwijdering het optreden van dit mechanisme bevestigde. Het zuurstofverbruik en de daaropvolgende Fe^{2+} -verwijdering werden verhoogd in de kolommen door aanwezigheid van geaccumuleerde Fe^{3+} -oxiden. Toch is het adsorptieve-katalytische oxidatiemechanisme niet verantwoordelijk voor de verbeterde

Aanleg en monitoring van proefopstelling in Manikganj.

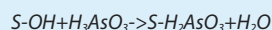
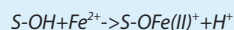


Adsorptieve-katalytische oxidatie

Het mechanisme van adsorptieve-katalytische oxidatie is gebaseerd op het gegeven dat geadsorbeerd Fe^{2+} oxideert tot ijzeroxiden (Fe^{3+}), die voorzien in nieuwe adsorptieplaatsen. Tijdens injectie van zuurstofrijk water in een zuurstofloos watervoerend pakket zorgt de overvloedige aanwezigheid van ijzeroxiden ervoor dat een snelle heterogene ijzeroxidatiereactie optreedt van geadsorbeerd Fe^{2+} :



Het zuurstofverbruik in deze reactie heeft tot gevolg dat het fysieke zuurstoffront vertraagd wordt ten opzichte van het geïnjecteerde water. Als de heterogene ijzeroxidatiereactie compleet is, zijn de gevormde Fe^{3+} -oxiden beschikbaar voor adsorptie van Fe^{2+} en anionen, zoals $As(III)$, tijdens onttrekking:



Als het ijzeroxide oppervlak gevuld is, kan geen Fe^{2+} of $As(III)$ meer geadsorbeerd worden en zal ijzer/arsen waargenomen worden in het onttrokken water. Met andere woorden, tijdens onttrekking is het ijzer/arsenfront vertraagd en kan meer water geproduceerd (V) worden met verlaagde ijzer/arsenconcentraties, dan was geïnjecteerd (Vi). De operationele V/Vi-verhouding geeft de efficiëntie van het systeem weer. De retardatie (vertraging) van ijzer/arsen is te beschrijven met de dimensieloze retardatiefactor (R), die de vertraging weergeeft van een stof ten opzichte van een *tracer*. In het geval van ondergrondse ijzerverwijdering wordt de retardatie berekend ten opzichte van het geïnjecteerde watervolume.

efficiëntie na meerdere cycli. Het zuurstofverbruik van andere geochemische processen tijdens de eerste injectiecyclus (bijvoorbeeld pyrietoxidatie), kan wel een verklaring zijn, maar het is waarschijnlijker dat de volume vergroting van de ondergrondse oxidatiezone de Fe^{2+} -verwijdering per cyclus verhoogt⁶⁾.

Naast adsorptieve-katalytische oxidatie speelt ook kationenuitwisseling een rol tijdens de injectie-onttrekkingscyclus. In kolomexperimenten met synthetisch en natuurlijk grondwater bleek dat kationenuitwisseling ($Na^+ - Fe^{2+}$) optreedt tijdens ondergrondse ontzuring. Bij hogere Na^+ -concentraties in

het geïnjecteerde water was de Fe^{2+} -uitwisseling hoger, maar deze daalde in de aanwezigheid van andere kationen in het grondwater⁷⁾.

Praktijkresultaten met het injecteren van water met hoge zuurstofconcentraties (0,55 mmol/l) op pompstation Corle toonde een betere verwijdering van ijzer aan dan bij de normale concentratie verzadigingszuurstof van 0,28 mmol/l. Dit geeft aan dat niet de uitwisselbare Fe^{2+} op het bodemmateriaal de beperkende factor is tijdens injectie, maar de aanvoer van zuurstof naar de beschikbare Fe^{2+} . Uit de kolomproeven blijkt dat ondergrondse ijzerverwijdering niet significant

Zandkolomopstelling in het laboratorium van de TU Delft.



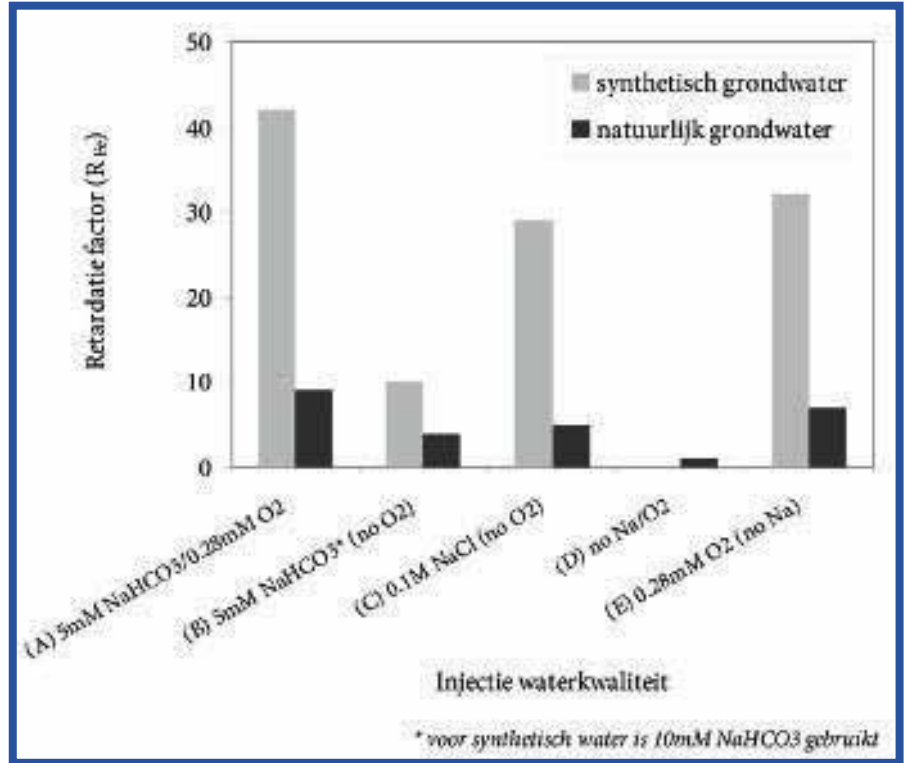
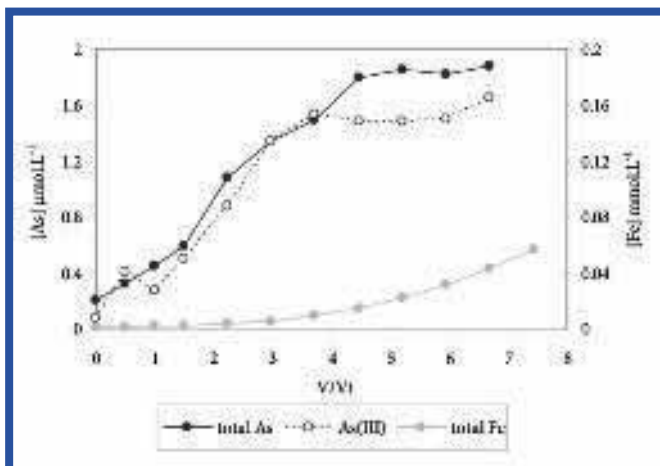
beperkt of versterkt wordt door de aanwezigheid van andere anorganische grondwaterbestanddelen. Wel is de ijzerverwijdering minder bij de aanwezigheid van 1,2 mmol/l calcium of 0,06 mmol/l mangaan.

Een aandachtspunt voor de duurzame toepassing van ondergrondse ijzerverwijdering is het risico van verstopping van het watervoerend pakket door langdurig gebruik van de injectie-onttrekkingsputten. Sedimenten rondom twaalf jaar oude ondergrondse ijzerverwijderingsputten zijn daarom geanalyseerd op hun chemische samenstelling. Op de onderzochte locatie (pompstation De Put van Oasen) is ijzer op specifieke dieptes in de buurt van de ondergrondse ontijzeringsputten geaccumuleerd. De meerderheid van het geaccumuleerde ijzer is gekarakteriseerd als kristallijn⁸⁾. Dit suggereert dat neergeslagen amorfe ijzeroxiden zijn getransformeerd naar ijzeroxiden van hogere kristalliniteit. Deze kristallijne en compacte ijzeroxiden hebben de onderzochte put en/of het watervoerend pakket niet merkbaar verstopt. De ondergrondse ontijzeringsputten zijn zelfs minder vaak gereinigd dan gewone onttrekkingsputten.

Ondergrondse arseenverwijdering

Uit het onderzoek bleek dat ondergrondse arseenverwijdering minder effectief is voor de verwijdering van arseen dan voor ijzer. De verwijdering van arseen was beperkt en de doorbraak van 10 µg/l (voorlopige richtlijn van de VN-wereldgezondheidsorganisatie WHO) werd waargenomen bij een geringe onttrekkingshoeveelheid van V/Vi < 1 (zie afbeelding 3). In tegenstelling tot de verwijdering van ijzer nam de effectiviteit van ondergrondse arseenverwijdering niet toe na meerdere cycli⁹⁾. Dit illustreert dat het proces dat verantwoordelijk is voor de effectieve verwijdering van ijzer geen evenredige efficiëntie garandeert voor arseen. In deze studie is geen relatie waargenomen tussen de hoeveelheid verwijderde arseen en de Fe²⁺:As(III)-verhouding van het grondwater. Bovendien is ijzer niet te gebruiken als zichtbare indicator voor de aanwezigheid van arseen, aangezien arseen waargenomen wordt in het grondwater voordat opgelost ijzer bij de put arriveert.

Afb. 3: Doorbraak van ijzer en arseen tijdens een injectieonttrekkingscyclus in Bangladesh.



Afb. 2: Retardatie van ijzer ten opzichte van injectiewater in kolommen na injectie van water met en zonder zuurstof en natrium, in proeven met synthetisch en natuurlijk grondwater.

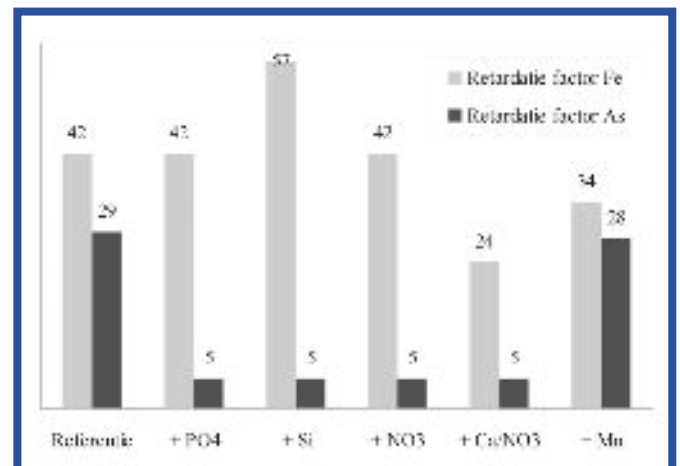
Tijdens de injectie-onttrekkingscycli in de kolomexperimenten met een synthetisch Fe²⁺-As(III)-O₂-systeem was het mogelijk een betere arseenverwijdering te bereiken dan bij het veldonderzoek in Bangladesh en de kolommen met natuurlijk grondwater (pompstation Lekkerkerk van Oasen en pompstation Loosdrecht van Vitens). Dit is te verklaren door de competitie met andere anionen in het natuurlijke grondwater. Bij 0,01 mmol/l fosfaat, 0,2 mmol/l silicaat of 1 mmol/l nitraat was de arseenverwijdering erg beperkt. Dit toont de kwetsbaarheid van ondergrondse arseenverwijdering in verschillende geochemische condities aan (zie afbeelding 4).

De competitie met andere anionen geldt echter niet alleen voor ondergrondse arseenverwijdering maar ook voor de meeste andere (arseen-) oplossingen voor de behandeling en opslag van huishoudelijk

water. Geen enkel systeem is ontworpen om aan alle mogelijke voorwaarden te voldoen. Er is dus een dringende noodzaak om de (technische) randvoorwaarden waarin zo'n oplossing kan slagen, te onderzoeken. Met een gunstige grondwatersamenstelling (lage concentraties van concurrerende anionen en een hoge pH) kan ondergrondse arseenverwijdering nog steeds haalbaar zijn. Het decentrale karakter van de behandeling en opslag is echter niet bevorderlijk voor de aanwezigheid van voldoende kennis van de grondwatersamenstelling ter plaatse, waardoor zuivering op buurt- of gemeentelijke schaal aantrekkelijker is.

Ijzerverontreiniging van het drinkwater vormt geen gevaar voor de gezondheid, maar de gebruikers hebben wel profijt van ijzerverwijdering. Niet alleen voor esthetische verbetering van de drinkwaterkwaliteit, maar voor alle waterverbruikende

Afb. 4: Invloed van fosfaat, silicaat, nitraat, calcium en mangaan op de retardatie van ijzer en arseen in de kolomproeven.



activiteiten (koken, wassen, etc.). Verwijdering van arseen is alleen nodig voor drink- en kookwater, maar de huidige (huishoud-) arseenfilters worden beperkt in hun efficiëntie door de aanwezigheid van ijzer en fosfaat in het grondwater (verstopping en adsorptieve competitie). De combinatie van ondergrondse ijzerverwijdering gevolgd door een HWTS-arseenfilter kan deze beperking wegnemen, aangezien tijdens ondergrondse ijzerverwijdering zowel ijzer- als fosfaatconcentraties verlaagd worden.

Een nieuw waterkwaliteitsaandachtspunt in Bangladesh is de verontreiniging van grondwater met verhoogde mangaanconcentraties. Chronische blootstelling aan mangaan via drinkwater kan neurologische effecten hebben bij een concentratie boven de richtlijn van 0,4 mg/l (WHO). De (kleinschalige) toepassing van ondergrondse mangaanverwijdering zou daarom een interessante onderzoeksrichting zijn.

Conclusie

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat ondergrondse ijzerverwijdering technisch haalbaar is onder een breed scala van (geochemische) condities en daarom veel potentie heeft voor de toepassing op

handpompschaal. Ondergrondse arseenverwijdering is minder geschikt bevonden voor handpompen en is kwetsbaar in diverse geochemische condities. Toch liggen er voor deze technologie mogelijkheden in regio's met gunstige grondwatersamenstellingen en/of in combinatie met andere (huishoud) zuiveringsstappen.

LITERATUUR

- 1) Van Beek C. (1983). Ondergrondse ontijzering, een evaluatie van uitgevoerd onderzoek. Kiwa mededeling 78.
- 2) Sen Gupta B., S. Chatterjee, U. Rott, H. Kauffman, A. Bandopadhyay, W. de Groot, N. Nag, A. Borbonell-Barrachina en S. Mukherjee (2009). A simple chemical free arsenic removal method for community. Environmental Pollution 157, pag. 3351-3353.
- 3) Sarkar A. en O. Rahman (2001). In-situ removal of arsenic - experiences of DPHE-Danida pilot project. In Technologies for arsenic removal from drinking water. Bangladesh University of Engineering and Technology and The United Nations University.
- 4) Rott U., C. Meyer en M. Friedle (2002). Residue-free removal of arsenic, iron, manganese and ammonia from groundwater. Water Sci. Technol.: Water Supply nr. 1, pag. 17-24.
- 5) WSP/Wereldbank (2003). Fighting arsenic: listening to rural communities. Willingness to pay for arsenic-free safe drinking water in Bangladesh.
- 6) Appelo C., B. Drijver, R. Hekkenberg en M. de Jonge (1999). Modeling in situ iron removal from ground water. Ground Water nr. 6, pag. 811-817.
- 7) Van Halem D., D. Moed, J. Verberk, G. Amy en H. van Dijk (2011). Cation exchange during subsurface iron removal. Water Research. Ter beoordeling.
- 8) Van Halem D., W. de Vet, J. Verberk, G. Amy en H. van Dijk (2011). Characterization of accumulated precipitates during subsurface iron removal. Applied Geochemistry nr. 26, pag. 116-124.
- 9) Van Halem D., S. Olivero, W. de Vet, J. Verberk, G. Amy en H. van Dijk (2010). Subsurface iron and arsenic removal for shallow tube well drinking water supply in rural Bangladesh. Water Research nr. 44, pag. 5761-5769.

advertentie



110329

Pompen - Afsluiters - Systemen

Bezoek ons op
Aquatech
 Standnummer: 01.212.



KSB INTRODUCEERT HOOG-EFFICIËNTE AFVALWATERPOMPEN tot 150kW

KSB introduceert afvalwaterpompen van het type Amarex/KRT met energiezuinige motoren. Deze motoren voldoen aan de toekomstige Europese rendementseisen IE3 (Premium Efficiency) voor standaardmotoren.

De nieuwe pompsets, zijn toepasbaar als dompelpomp en als overstroombare droogopgestelde kort gekoppelde blok pomp en kunnen zowel met als zonder Ex-beveiliging worden geleverd. De uitvoering in natte en droge opstelling functioneren zonder koelmantel en zonder mediumkoeling. Bij zowel nominale belasting als bij deelbelasting worden hogere rendementen gehaald dan bij standaard dompelmotoren, maar ze zijn even robuust.

KSB is een van 's werelds meest vooraanstaande producenten van pompen, afsluiters en bijbehorende systemen voor industrie en bouwtechniek, water- en afvalwaterbeheer alsmede energietechniek en mijnbouw.

KSB Nederland B.V. - www.ksb.nl - infonl@ksb.com

