

Arseen in drinkwater: niet alleen een probleem voor Bangladesh

Reeds jaren is bekend dat ondiepe grondwaterputten in Bangladesh dikwijls arseen bevatten in concentraties die schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Inmiddels wordt het steeds duidelijker dat zich een ramp van ongekende omvang aan het voltrekken is: de VN-wereldgezondheidsorganisatie WHO vreest dat in de nabije toekomst één op de tien volwassenen in Bangladesh zal sterven aan de gevolgen van arseenvergiftiging (in totaal meer dan tien miljoen mensen). Een nadere studie leert dat problemen met arseen in grondwater en/of drinkwater in veel meer landen voorkomen, waaronder de Verenigde Staten en China. In Nederland is tot nu toe nauwelijks aandacht besteed aan arseen in drinkwater. De natuurlijke concentraties hier zijn namelijk vrij laag en in drinkwater altijd lager dan de norm van 10 µg/l. Uit de internationale literatuur blijkt echter dat het risico op schadelijke gezondheidseffecten bij deze concentratie niet verwaarloosbaar is. Ondergetekenden bevelen dan ook aan om arseen ook in Nederland weer op de agenda te zetten en zowel studies te verrichten naar de normstelling en streefwaarden als naar de optimalisatie van de verwijdering van arseen op bestaande pompstations.

Het meest bekende en ernstigste voorbeeld van arseenvergiftiging door drinkwater is de 'massa-vergiftiging' in Bangladesh. Internationale hulpverleningsorganisaties, zoals UNICEF, de Wereldbank en het ontwikkelingsprogramma van de Verenigde Naties, besloten in de jaren 60 en 70 de mensen in Bangladesh te voorzien van ondiepe grondwaterputten. Het doel was de hoge kindersterfte als gevolg van het drinken van microbiologisch onveilig oppervlaktewater terug te brengen. Dat doel is op zichzelf bereikt, maar begin jaren 90 werd bekend dat het grondwater van de West-Bengaalse delta besmet is met hoge concentraties arseen tot 1.660 µg/l¹⁾.

De schaal van het probleem wordt geïllustreerd door de acht tot twaalf miljoen ondiepe putten die geslagen zijn. Putten met een concentratie boven de nationale

richtlijn (50 µg/l) worden tegenwoordig rood geschilderd (zie foto). Groene putten geven aan dat ze lagere arseenconcentraties bevatten. De grote variabiliteit in arseenconcentratie heeft tot gevolg dat in dorpen alle putten getest moet worden. Er zijn 2.000 dorpen waar alle putten een concentratie van meer dan 50 µg/l bevatten en 8.000 dorpen waar meer dan 80 procent van de putten verontreinigd is. Afbeelding 1 geeft een overzicht van de gemeten arseenwaarden in Bangladesh, waar concentraties boven enkele honderden µg/l niet uitzonderlijk zijn.

De schatting is dat 35 tot 77 miljoen mensen bedreigd worden door met arseen besmet drinkwater¹²⁾. Men vreest dat in de nabije toekomst één op de tien doden onder volwassenen te wijten zal zijn aan kanker veroorzaakt door arseen. Door de vele putten in vooral landelijke en dunbevolkte

gebieden, is een oplossing van het probleem nog niet nabij. Betaalbare oplossingen om arseen uit grondwater te verwijderen zijn schaars en vaak ook onbetrouwbaar.

Momenteel is Bangladesh hét arseenonderzoeksveld van de wereld. Onderzoek is gaande naar de ondergrondse processen die verantwoordelijk zijn voor het voorkomen van arseen. Ander onderzoek richt zich op de verwijdering van arseen uit het grondwater met technieken op dorps- of huishoudschaal. In sommige gebieden zijn weinig veilige drinkwateropties aanwezig. De effectiviteit van met name huishoudfilters staat bovendien ter discussie, want onlangs heeft een Amerikaanse studie aangetoond dat sommige huishoudfilters in het veld minder effectief zijn (University of Columbia, ongepubliceerd). Het SONO-filter (zie afbeelding 2), onderscheiden met

Roodgeschilderde put.



Dorpsverleg over mogelijke oplossingen voor een arseenvrije watervoorziening in Jessore.



internationale prijzen, verlaagde slechts in 43 procent van 35 bestudeerde filters de arseenconcentratie van > 500 µg/l naar onder de nationale richtlijn van 50 µg/l. Andere filters reduceerden de arseenconcentratie met 93 procent, maar lieten zorgwekkende toenames in *E. coli*-tellingen zien in het behandelde water. Veelbelovend is het alternatief om grondwater te onttrekken uit een dieper (meer dan 200 meter), arseenvrij

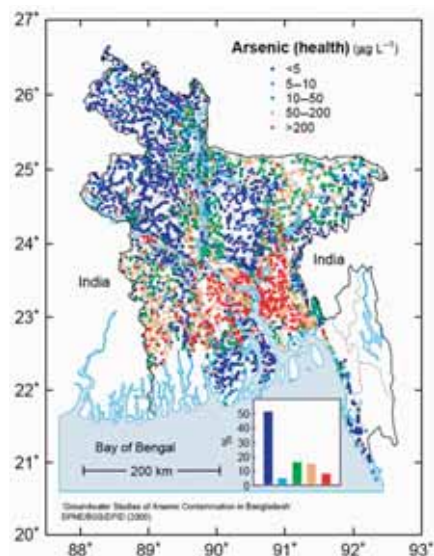
watervoerend pakket. De duurzaamheid van deze optie vergt echter nader onderzoek en de toepasbaarheid is mogelijk zeer lokaal. Een andere mogelijkheid om arseenvrij water te onttrekken uit de ondergrond is het gebruik van ondergrondse ontzuring. Deze betaalbare technologie (zie afbeelding 3) laat arseen achter in de ondergrond door processen van adsorptie, oxidatie en co-precipitatie. Ondanks het grote aantal studies is een structurele oplossing voor dit grootschalige probleem nog niet gerealiseerd.

wereldwijd probleem

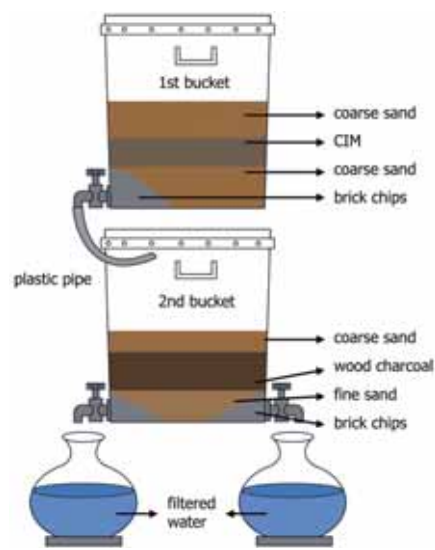
Een wereldwijd probleem

Wereldwijd drinken circa 130 miljoen mensen water met arseenconcentraties boven de verouderde WHO-richtlijn van 50 µg/l. Dit probleem doet zich met name voor in Bangladesh (30 miljoen getroffen mensen), Vietnam (aantal mensen onbekend), India (40 miljoen), China (1,5 miljoen) en de Verenigde Staten (2,5 miljoen). De arseenproblematiek is echter niet beperkt tot deze landen (zie afbeelding 4). Aan deze kaart kunnen ondertussen nog veel meer landen toegevoegd worden, waaronder Spanje, Italië en Burkino Faso. De schaal van het arseenprobleem maakt arseenvergiftiging volgens de WHO het op één na belangrijkste gezondheidsprobleem in relatie tot drinkwater. Alleen de overdracht van besmettelijke ziekten door pathogene organismen kent wereldwijd een groter gezondheidseffect.

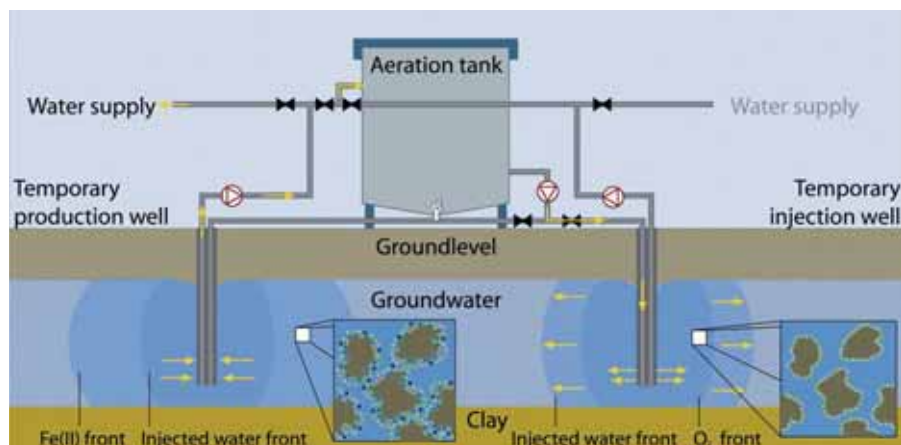
In Chili, Argentinië en Bolivia zorgt het vulkanisme in de Andes ervoor dat arseenconcentraties hoger dan 1.000 µg/l worden aangetroffen. Mijnactiviteiten in Ghana, Mexico en Spanje resulteren in oxidatie van sulfietmineralen, waardoor arseen in het grondwater terecht komt. In China vormen, net als in Bangladesh, jonge sedimenten de bron van arseen. Door de sterk reducerende condities in de ondergrond worden arseenconcentraties tot 1.800 µg/l gemeten in Binnen-Mongolië, een noordelijke provincie van China. De Environmental Protection Agency schat dat in de Verenigde Staten ongeveer 13 miljoen mensen worden blootgesteld aan arseenconcentraties van meer dan 10 µg/l⁽³⁾. Overigens zijn drinkwaterleveranciers in de VS pas sinds januari 2006 verplicht te voldoen aan de WHO-richtlijn, 13 jaar na de invoering. De reden hiervoor zou zijn dat in arseenrijke staten deze norm alleen haalbaar is met belastingverhoging. Bill Clinton wachtte hiermee tot het einde van zijn termijn, waarop George Bush de norm weer terugdraaide om uiteindelijk toch te zwichten.



Afb. 1: Arseenconcentraties in het grondwater van Bangladesh¹⁾.



Afb. 2: Arseenverwijdering op huishoudschaal: het SONO-filter.



Afb. 3: Ondergrondse arseenverwijdering.

Tabel 1: Arseenconcentraties in grondwater²⁾.

bron van arseen

arseenrijke sedimenten (bijvoorbeeld Bangladesh, Vietnam, China)
 grondwater besmet door mijnactiviteiten (bijvoorbeeld Ghana)
 geothermisch water (bijvoorbeeld VS, Argentinië)

arseenconcentratie (µg/l)

10-5.000
 50-5.000
 <10-50.000

Hoe komt arseen in grondwater?

Anorganisch arseen komt van nature in de bodem voor. Door mijnbouw of geothermische stromingen kan arseen grondwater besmetten, zoals in Ghana en Californië. Arseen kan echter ook gemobiliseerd worden uit natuurlijk voorkomende mineralen in zuurstofarme (anoxische) milieus of juist droge, zuurstofrijke omstandigheden. In zuurstofarme milieus kunnen arseenrijke ijzersedimenten oplossen door sterk reducerende condities. Andere gerapporteerde oorzaken van arseenmobilisatie zijn desorptie door competitie met fosfaat en oxidatie van arsenopyriet door bijvoorbeeld kunstmatige infiltratie. In Bangladesh zijn de jonge sedimenten uit de Himalaya de bron voor arseenbesmetting van het grondwater⁹⁾. Door sterk reducerende condities lossen de ijzerhydroxiden op, waardoor arseen in het grondwater terecht komt. De wereldwijde arseenconcentraties in grondwater variëren van minder dan 0,5 µg/l tot meer dan 5.000 µg/l (zie tabel 1).

Hoe giftig is arseen?

Arseen is zeer giftig en door het International Agency for Research on Cancer (IARC) geclassificeerd als een humaan carcinogeen, groep 1⁵⁾. Langdurige inname van drinkwater met verhoogde arseenconcentraties kan de ontwikkeling van arsenicosis tot gevolg hebben (zie foto). Deze verzamelaan voor ziekten veroorzaakt door chronische blootstelling aan arseen omvat verschillende huidziekten en soorten kanker, zoals hyperpigmentatie, hyperkeratose, koudvuur,



Afb. 4: Arseen in grondwater vormt een wereldwijd probleem.

huidkanker, longkanker en inwendige kankers¹⁴. Hyperpigmentatie, een teveel aan kleurstof (pigment) in de huid, is veelal het eerste zichtbare symptoom van arseenvergiftiging. Er zijn ook sterke bewijzen die chronische arseeninname koppelen aan cardiovasculaire ziekten. Andere gezondheidseffecten, zoals onvruchtbaarheid en vertraagde ontwikkeling bij kinderen, zijn ook in verband gebracht met arseen, maar het bewijs hiervoor is niet overtuigend¹²⁾.

De VN-wereldgezondheidsorganisatie heeft recent een overzichtsdokument vervaardigd over de toxicologie en normstelling voor arseen in drinkwater¹³⁾. Zij concludeert dat "de meest waarschijnlijke schatting voor het risico op blaas- en longkanker 12 à 23 per 10.000 mensen bedraagt bij levenslange blootstelling aan een concentratie in het drinkwater van 10 µg/l". Ook de US Environmental Protection Agency en de US Natural Resources Defense Council¹⁷⁾ bevelen zeer lage concentraties van (veel) minder dan

Voorbeeld van pigmentatie en koudvuur door chronische arseeninname (bron: www.siliconeer.com).



1 µg/l aan om een voldoende laag risico op kanker te bewerkstelligen (zie tabel 2). Hoewel er nog veel onzekerheid bestaat over de gezondheidsrisico's van arseen via drinkwater, lijkt het wel duidelijk dat zeer lage concentraties wenselijk zijn om risico's te vermijden.

In Nederland geen probleem?

Arseen is in Nederland één van de gezondheidskundige parameters conform het Waterleidingbesluit. In het 'oude' Waterleidingbesluit bedroeg de normwaarde 50 µg/l. In 2000 werd de norm verlaagd naar 10 µg/l, bij de herziening van het Waterleidingbesluit. Deze waarde is conform de WHO-richtlijn¹⁴⁾ en de EU-richtlijn⁴⁾. Ter toelichting wordt vermeld dat de normwaarde van 10 µg/l met name gebaseerd is op praktische overwegingen (analysegrens en haalbaarheid en kosten arseenverwijdering).

Arseen is bij de drinkwatervoorziening in Nederland tot nu toe nooit een punt van aandacht geweest, omdat het drinkwater nergens de norm van 10 µg/l overschrijdt. Het overgrote deel van de pompstations in Nederland bevat arseenconcentraties onder de detectiegrens van 0,1 µg/l, maar er zijn

wel diverse locaties met concentraties in het reine water boven de 1 µg/l, tot maximaal 7 µg/l.

Gezien de hierboven geïllustreerde gegevens over de gezondheidseffecten van arseen, lijkt het alleszins verstandig om te streven naar (veel) lagere concentraties dan 10 µg/l. Zoals bekend worden in Nederland de drinkwaternormen in principe gebaseerd op een risiconiveau van 10⁻⁶. Volgens de gegevens van het Amerikaanse milieugentschap EPA zou hierbij de maximaal toelaatbare concentratie slechts 0,02 µg/l zijn. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat in Nederland het RIVM een andere benadering hanteert, volgens welke arseen geen genotoxisch carcinogeen zou zijn. De WHO en EPA doen geen uitspraak of arseen genotoxisch of niet-genotoxisch is, want uitgevoerde epidemiologische studies zijn hiervoor ontoereikend. In achtergronddocumenten belichten deze organisaties de kankerrisico's volgens beide benaderingen. De huidige WHO-richtlijn is echter niet gebaseerd op deze risicoanalyses, maar vooral op praktische overwegingen. Het RIVM ziet vooralsnog dan ook geen noodzaak om de norm van 10 µg/l aan te scherpen. In andere landen gelden weer

Tabel 2: Schattingen van het risico op kanker ten gevolge van levenslange blootstelling aan arseenhoudend drinkwater.

risico	arseenconcentratie (µg/l)	
	EPA/IRIS (1998)	NRDC (2000)
10 ⁻² (1 op 100)	-	50
10 ⁻³ (1 op 1.000)	-	5
10 ⁻⁴ (1 op 10.000)	2	0,5
10 ⁻⁵ (1 op 100.000)	0,2	-
10 ⁻⁶ (1 op 1.000.000)	0,02	-

andere normen. Zo heeft Denemarken de drinkwaternorm op 5 µg/l gesteld²⁾, evenals de Amerikaanse staat New Jersey³⁾, en adviseert de Amerikaanse Natural Resources Defense Council⁷⁾ (NRDC) de drinkwaternorm op 3 µg/l te stellen.

Samenvattend lijkt het duidelijk dat arseen bij de drinkwatervoorziening in Nederland tot nu toe ten onrechte nauwelijks aandacht gekregen heeft. Gezondheidskundige effecten van arseen kunnen, ook bij de in Nederland (maximaal) voorkomende concentraties in drinkwater, niet zonder meer uitgesloten worden. Er lijkt dan ook

alle reden te zijn om voorzorgshalve de arseenverwijdering bij de drinkwaterzuivering te optimaliseren tot (tenminste) < 1 µg/l, hetgeen technisch goed mogelijk is (zie kader).

Conclusie

De 'massavergiftiging' door arseenbesmetting van grondwater in Bangladesh illustreert de ernstige consequenties van chronische arseeninname via drinkwater. In Nederland zijn de arseenconcentraties in drinkwater altijd lager dan de WHO- en EU-richtlijn van 10 µg/l. Dat wil echter niet zeggen dat daarmee gezondheidsrisico's

Doris van Halem werkt aan haar promotieonderzoek bij de TU Delft/UNESCO-IHE naar de verwijdering van arseen uit grondwater met behulp van ondergrondse ontijzering¹⁰⁾. Ze voerde een literatuurstudie uit naar het voorkomen en de (geo)chemie van arseen en bezocht getroffen dorpen in Bangladesh. Suze Ann Bakker verrichtte als vijfdejaars studente aan de TU Delft een literatuurstudie naar de toxicologie van arseen in drinkwater.

kunnen worden uitgesloten. Omdat het voorzorgsprincipe en de onberispelijke kwaliteit van drinkwater in Nederland voorop staan, bevelen wij dan ook aan om arseen ook in Nederland weer op de wateragenda te zetten en zowel studies te verrichten naar de normstelling/streefwaarden als naar de optimalisatie van de verwijdering van arseen op bestaande pompstations.

NOTEN

- 1) British Geological Survey/DPHE (2001). Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh, jaargang 2: Final report. BGS Technical Report WC/00/19.
- 2) Danish Ministry of the Environment (2007). BEK 1449 from 11. App. 1b.
- 3) Environmental Protection Agency (1998). www.epa.gov/NCEA/iris/subst/0278.htm.
- 4) Europese Unie (1998). Richtlijn 98/83/EG van de Raad van 3 november 1998 betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen.
- 5) International Agency for Research on Cancer (2004). Some drinking-water disinfectants and contaminants, including arsenic, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, jaargang 84.
- 6) Kiwa (1993). Herziening normen Waterleidingbesluit. Rapport SWO 93.340.
- 7) Natural Resources Defense Council (2000). Arsenic and old laws: a scientific and public health analysis of arsenic occurrence in drinking water, its health effects, and EPA's outdated arsenic tap water standard. www.nrdc.org/water/drinking/arsenic/.
- 8) New Jersey Department of Environmental Protection (2004). Safe drinking water act regulations. N.J.A.C. 7:10.
- 9) Smedley P. en D. Kinniburgh (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry nr. 17, pag. 517-568.
- 10) Van Halem D. (2008). Drinking water research for all. 60e Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening: water and sanitation for all. TU Delft.
- 11) Vreeburg J. (2007). Discolouration in drinking water systems: a particular approach. Proefschrift TU Delft.
- 12) World Health Organization (2001). United Nations synthesis report on arsenic in drinking water.
- 13) World Health Organization (2003). Arsenic in drinking-water, background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality.
- 14) World Health Organization (2006). Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition, volume 1 Recommendations.

Suze Ann Bakker (MSc student TU Delft)
Doris van Halem (promovenda TU Delft/ UNESCO-IHE)
Hans van Dijk (hoogleraar TU Delft)
Gary Amy (hoogleraar UNESCO-IHE)

Arseen komt in oppervlaktewater en grondwater voor in de vorm van arseniet (AsO_3^{3-}) en arsenaat (AsO_4^{3-}). Beiden gedragen zich in water enigszins analoog aan fosfaat en worden dan ook in lage concentraties bij de ontijzering makkelijk ingebouwd in de ijzerhydroxidematrix. Het gereduceerde driewaardige arseen (arseniet) komt vooral voor in anaeroob grondwater, want in aanwezigheid van zuurstof oxideert driewaardig arseen langzaam naar vijfwaardig arseen (arsenaat). Omdat beide vormen in water als opgeloste anionen aanwezig zijn, is de verwijdering bij de drinkwaterzuivering niet eenvoudig. In principe kan zowel arseniet als arsenaat uiteraard uit water verwijderd worden met processen als ionenwisseling en membraanfiltratie, maar deze processen zijn duur en hebben bekende nadelen als de productie van brijn. Internationaal wordt veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van zuiveringstechnieken die gebaseerd zijn op de coprecipitatie van arseniet en arsenaat bij de vlokvorming (zoals bij ijzerhydroxide) en de adsorptie van arseniet en arsenaat aan media als beenkool, geactiveerde alumina, granulaire ijzerhydroxide of zelfs ijzerhydroxide bevattende filtergrind. In al deze gevallen bindt zowel arseniet als arsenaat zich aan positief geladen adsorptieplaatsen van de (ijzerhydroxide)matrix. Vanwege de lage concentraties van arseen is adsorptie een relatief effectieve techniek.

Bij de grondwaterzuivering in Nederland vindt 'automatisch' coprecipitatie van arseniet en arsenaat plaats bij de ontijzering. De effectiviteit hiervan is in principe afhankelijk van de Fe/As-verhouding, de pH, de redoxpotentiaal en de procescondities als contacttijd, filtratiesnelheid en medium e.d. Gerichte studies naar de optimalisatie van de verwijdering van arseen bij de ontijzering (en trouwens ook bij de overige drinkwaterzuiveringsprocessen als actief kool e.d.) ontbreken in Nederland nog. Het promotieonderzoek van Doris van Halem naar de verwijdering van arseen via ondergrondse ontijzering omvat onder meer kolomproeven, waaruit wel inzichten in de optimale chemische en procestechnologische procescondities zullen voortkomen. Naar verwachting zal optimale arseenverwijdering in de praktijk overigens samengaan met optimale ijzerverwijdering. Zoals Jan Vreeburg in zijn proefschrift aantoonde¹¹⁾, is dit laatste van groot belang om de deeltjesbelasting naar het distributienet te beperken, zodat twee vliegen in één klap kunnen worden gevangen.

Kolomproeven naar ondergrondse arseenverwijdering.

