

---

# Bijeenkomsten

---

## Arsenic in groundwater – a world problem

Symposium georganiseerd door IAH en NHV, 29 november 2006, Utrecht.

Over de hele wereld vinden meldingen plaats van arsenicumvergiftiging van het grond- en drinkwater, waaronder in de Gangesdelta van Bangladesh. Onderzoek naar het voorkomen en de gevolgen van arsenicum in de bodem en het grond- en drinkwater is echter nog verre van voltooid. Belangrijke vragen waar onderzoek naar wordt verricht zijn bijvoorbeeld:

- in welke concentraties vormt arsenicum een bedreiging voor de gezondheid?
- wat is het gedrag van arsenicum in verschillende milieus?
- welke condities zorgen voor de mobilisatie van arsenicum?
- wat zijn de gevolgen voor de mens van arsenicumvergiftiging?

Ook in Nederland vindt onderzoek plaats naar de concentraties van arsenicum, de mogelijke oorzaken, en de mogelijke gevolgen. Het thema van de dag was dan ook verdeeld in twee deelonderwerpen: 's ochtends 'arsenicum in de Nederlandse ondergrond', en 's middags 'de mondiale dimensie van arsenicum in grond- en drinkwater'. Hier volgt een kort verslag van de verschillende presentaties.

Na een welkom van Albert Tuinhof, Acacia Instituut en voorzitter van IAH's Netherlands' Chapter, gaf de voorzitter van het symposium, Tony Appelo, een introductie van de dag. Hij sprak over concentratiepatronen van arsenicum in grondwater in Nederland, en introduceerde een model voor het vrijkomen van arsenicum: IJzer-hydroxide (FeOOH) vormt in het Pleistoceen en kan arsenicum in de structuur opnemen. In het Holoceen wordt FeOOH door zwavel uit

zeewater omgezet in FeS<sub>2</sub> (pyriet), wat vervolgens bedekt wordt door veen. Bij veenafravingen komt pyriet in aanraking met lucht, waarbij arsenicum vrijkomt. Aangezien de veenafravingen in Nederland een belangrijke rol hebben gespeeld, kunnen we dan ook een belangrijke rol voor arsenicum verwachten.

Sophie Vermooten van TNO sprak over de belangrijke rol van arsenicum in haar presentatie over het regionale voorkomen van arsenicum in Nederland. Jan Gunnink zou aanvankelijk de presentatie geven, maar was helaas verhinderd. Sophie sprak over het NABRON-project. Dit samenwerkingsproject heeft als doel om beleidsmakers te adviseren over het gebruik van bodem, grondwater en sedimenten in gebieden met relatief hoge arsenicumconcentraties. Waarom zijn er verhoogde concentraties en wat zijn gezamenlijke factoren? Arsenicum kan voorkomen als 'pyriet-type' in een gereduceerd milieu, of als 'ijzer-hydroxide'-type, in een geoxideerd milieu. Een verandering in de redoxcondities kan leiden tot de mobilisatie van arsenicum. Als grondwater van hogergelegen pleistocene zandformaties naar lagergelegen kustgebieden stroomt, kan arsenicum meegevoerd worden en zich uiteindelijk in de kustgebieden ophopen. De mechanismen verklaren regionale patronen en voorspellen waar en op welke diepte hoge arsenicum-concentraties verwacht kunnen worden, uiteindelijk resulterend in risicokaarten en een bodembeheerplan. Uit het NABRON-project blijkt dat een regionale aanpak noodzakelijk is aangezien natuurlijke arsenicum-concentraties en de eraan gebonden gevolgen regio-specifiek en type-specifiek zijn.

Pieter Stuyfzand, Vrije Universiteit en KIWA, ging vervolgens in op de rol van arsenicum in de productie van Nederlands drinkwater. Drinkwater wordt op vele plaatsen in Nederland actief gewonnen.

Slechts op enkele plaatsen is de gevonden arsenicumconcentratie boven de WHO-norm van 10 µg/l, maar de situatie is al 16 jaar stabiel. Bovendien is er genoeg Fe<sup>2+</sup> aanwezig om arsenicum te binden als het met zuurstof in contact komt. Op grote schaal (grote waterreservoirs) vormt arsenicum daardoor geen probleem voor het drinkwateraanbod in Nederland. Op enkele plaatsen in Nederland zijn gedetailleerde hydrogeochemische studies verricht. Hieruit volgt de conclusie dat op kleinere schaal (individuele putten) arsenicum wel een probleem kan gaan vormen in drinkwater. Door verstoringen van het hydrologische systeem, veranderingen in infiltrerend water en aanwezigheid van reducerende gassen (voornamelijk CH<sub>4</sub>) kan arsenicum gemobiliseerd worden, wat lokaal kan leiden tot hoge arsenicumconcentraties (op bepaalde plekken in Zeeland zelfs tot 1000 µg/L). Er zijn veel verschillende processen die kunnen leiden tot het mobiliseren van arsenicum, waaronder een verandering in de redoxcondities, oxidatie van ijzersulfidemineralen en reductie van ijzer-(hydr)oxides.

De presentatie van Slavek Vasak, IGRAC, verduidelijkte de rol van International Groundwater Resources Assessment Centre in het maken van een register van gevaarlijke stoffen in grondwater op een mondiale schaal. De informatie over de grondwaterkwaliteit in GGIS (Global Groundwater Information System) is voor iedereen beschikbaar en bevat gegevens op landschaal over hoge concentraties van fluoride, arsenicum, nitraat, vervuiling van verschillende bronnen, het ontbreken van zoet water, en de infiltratie van zout water. De verschillende groepen ('none', 'few', 'many') zijn gebaseerd op de hoeveelheid gerapporteerde gevallen boven de WHO-limieten. Bij het samenstellen van continentale fluoride- en arsenicumkaarten is extra informatie nodig om risicogroepen in te delen. Voor veel landen is echter slechts kwalitatieve

informatie beschikbaar, en ontbreken kwantitatieve data. Bovendien zijn meer gegevens nodig (hydrogeologie, klimaat) om risicogebieden beter in kaart te brengen. Informatie over de hedendaagse status zal bruikbaar zijn wanneer er ook richtlijnen voor sanering bij staan. Het delen van informatie kan bijdragen aan een deugdelijk management van gevaarlijke stoffen in grondwater.

De mondiale dimensie van arsenicum in grond- en drinkwater werd na de lunchpauze ingeleid door Tony Appelo, waarbij hij sprak over de problemen van arsenicumvergiftiging in Bangladesh en India en kort inging op enkele chemische karakteristieken van arsenicum.

De titel van de presentatie van Pauline Smedley van het British Geological Survey luidde als volgt: Arsenicum in grondwater – natuurlijke bronnen, mobilisatie controles en de vraag van menselijke invloeden. Arsenicum komt voor in verschillende mineralen, en kan onder verschillende condities gemobiliseerd worden. De belangrijkste landen waar op dit moment de concentratie van arsenicum op veel plekken boven de 50µg/l (5 maal de WHO-norm) gevonden wordt, zijn Argentinië, Chili, Bangladesh en het zuidwesten van de Verenigde Staten. Arsenicumproblemen zijn meestal gerelateerd aan een van de volgende drie situaties: geothermaal, mijnen (bijvoorbeeld in Obuasi, Ghana waar door de oxidatie van sulfidemineralen grote hoeveelheden arsenicum in het water terecht komen), en grote waterreservoirs (bijvoorbeeld La Pampa in Argentinië, en Californië in de Verenigde Staten, waar arsenicum in topografisch laaggelegen reservoirs terecht komt en zich verzamelt). De eerste twee zijn bronnen van hoge arsenicumconcentraties, terwijl de laatste niet zélf een grote bron vormt, maar waar mobilisatie van arsenicum onder veranderende geochemische condities het pro-

bleem vormt. Zo kan in Argentinië een verhoging van de pH (droge, oxiderende condities) leiden tot mobilisatie van arsenicum, terwijl in Bangladesh een verandering naar reducerende condities een grote rol speelt. Ook de snelheid van grondwaterstromingen speelt een rol: langzame stroming betekent een gebrek aan uitspoeling. De rol van de mens lijkt in de beschreven processen beperkt; het mobiliseren van arsenicum kan plaatsvinden onder puur natuurlijke omstandigheden.

Vervolgens sprak Marie Vahter van het Karolinske Institute in Zweden over arsenicum in drinkwater: bedreigt het de gezondheid van miljoenen mensen? Gemeten concentraties van arsenicum van enkele duizenden  $\mu\text{g/l}$  (vergelijk met WHO-norm van  $10 \mu\text{g/l}$ ) op verschillende plaatsen ter wereld, in combinatie met de gevolgen voor de menselijke gezondheid, maken arsenicum in drinkwater een mondiaal probleem. Miljoenen mensen lopen het risico om arsenicumvergiftiging op te lopen. Alleen al in Bangladesh staan meer dan 50 miljoen mensen bloot aan dit mogelijke gevaar. In zeer hoge dosis leidt arsenicuminname tot acute gastro-intestinale of paralytische verschijnselen. De letale dosis wordt nog geëvalueerd maar ligt waarschijnlijk in de buurt van enkele mg per kg lichaamsgewicht. Chronische (lange-termijn) effecten van lagere arsenicumdoses zijn in het hele lichaam merkbaar, omdat alomtegenwoordige enzymreacties aangetast worden. Het belangrijkste chronische effect van arsenicumvergiftiging is kanker (huid, long, blaas, nier). In het lichaam wordt arsenicum gemethyleerd. De mono-gemethyleerde vorm (MMA) is schadelijker dan de di-gemethyleerde vorm (DMA), omdat de laatste sneller uit het lichaam uitgescheiden wordt. Onderzoek heeft uitgewezen dat de verhouding tussen DMA en MMA per bevolkingsgroep en per diersoort verschilt. Meer onderzoek op dit gebied is nodig om inzicht

te geven in de situatie, maar duidelijk is dat arsenicum in drinkwater een ernstige bedreiging vormt voor de menselijke gezondheid.

De laatste spreker was Tony Appelo, die in zijn presentatie antwoord zocht op de vraag of we de aanwezigheid van hoge arsenicumconcentraties in grondwater kunnen verklaren en kwantificeren. Er bestaan drie verschillende theorieën voor hoge grondwaterconcentraties van arsenicum:

- 1 reductieve oplossing van ijzer-oxyhydroxides ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), welke gesorbeerd arsenicum loslaten,
- 2 oxidatieve oplossing van pyriet wat arsenicum bevat,
- 3 verplaatsing van gesorbeerde arsenicum door andere anionen, zoals  $\text{PO}_4^{3-}$  en  $\text{HCO}_3^-$ .

Om deze drie theorieën te testen, moeten experimenten uitgevoerd worden om te onderzoeken of er een correlatie is tussen arsenicum en 1)  $\text{Fe}^{2+}$ , opgeloste organische koolstof (DOC), 2)  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3)  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Argumenten ten gunste van de eerste theorie: hoge correlatie van arsenicum en ijzer in sedimenten, experimenten laten de verwachte reactie zien, en experimenten kunnen gemodelleerd worden. Er is echter een slechte correlatie tussen arsenicum en ijzer in grondwater, de gemodelleerde pH is hoger dan geobserveerd en ook de  $\text{HCO}_3^-$  concentratie in grondwater is hoger. Op basis van gegevens uit Bangladesh spreekt er niets voor de tweede theorie. Er is geen gevonden correlatie tussen arsenicum en  $\text{SO}_4^{2-}$  en als arsenicum vrijkomt, dan sorbeert het aan ijzer-oxyhydroxide. Bovendien is pyriet vaak autogeen, het vormt in plaats van dat het oplost. De derde theorie wordt ondersteund door experimenten en modellen. Toch worden er zwakke correlaties gevonden van arsenicum met  $\text{PO}_4^{3-}$  en  $\text{HCO}_3^-$ . Deze kennis kan toegepast worden om een model te maken voor grondwater in Bangladesh: Arsenicum is aanwezig in ijzer-

oxyhydroxides in het sediment.  $\text{HCO}_3^-$  is ook van nature aanwezig, en kan arsenicum uit het sediment verplaatsen als er stroming is. Natuurlijke stroming is gering door het kleine reliëf, maar door pompen en irrigatie wordt grondwater gemixt. Ook wordt hierdoor mogelijkwijs  $\text{PO}_4^{3-}$  toegevoegd, wat ook arsenicum kan verplaatsen. Door het mixen van water, ontstaan vage correlaties. Terwijl de oppervlakkige reservoirs arsenicum-arm worden, blijven de diepere reservoirs arsenicum-rijk, aangezien het arsenicum hier in ijzer-hydroxides zit en niet wordt gemobiliseerd.

Op deze interessante dag met zeer goede kwaliteit lezingen is duidelijk geworden dat er veel onderzoek is verricht naar het voorkomen en de karakteristieken van arsenicum in grond- en drinkwater, waaruit al vele nuttige conclusies zijn getrokken. Aan de andere kant moet er nog veel gebeuren voordat we een compleet beeld hebben, wat we vervolgens toe kunnen passen in processen van verhinderend en sanering van arsenicumvergiftiging, om de gezondheid van mensen over de hele wereld te verbeteren.

*Eliane Blomen*  
5e jaars studente geologie  
Universiteit Utrecht

### Ruimte voor onzekerheid

Minisymposium, 25 januari 2007,  
Waterschap Rijn en IJssel, Doetinchem.

Sommige mensen leiden onder onzekerheid, anderen worden er juist erg blij van, of nog erger: maken er hun vak van. De bijeenkomst van de Zandhydrologen over dit onderwerp op 25 januari bleek behoorlijk wat aantrekkingskracht te hebben. De zaal zat met een kleine 50 aanwezigen vol.

De Zandhydrologen-dag was van oudsher een informele bijeenkomst van waterschapshydrologen die in de oostelijke en

zuidelijke provincies werkzaam zijn, waarbij de termen 'zand', 'hydroloog' en 'waterschap' de laatste tijd vrij ruim geïnterpreteerd worden. Alle waterschapshydrologen blijken welkom zijn, en, als er plek over is, ook niet-waterschapshydrologen, waaronder ook redactieleden van Stromingen. Het is dan ook geen formele organisatie, ook geen echte vereniging, het zijn gewoon een aantal mensen die af en toe bij elkaar komen om over de waterschapshydrologie te praten, vaak in relatie tot actuele wetenschappelijke of beleidsmatige ontwikkelingen. Het ochtendprogramma bestaat vaak uit lezingen, het middagprogramma uit een veldbezoek. De frequentie van die bijeenkomsten is, zoals het bij een dergelijke club hoort, onregelmatig. De laatste bijeenkomst was in 2005.

Na een eerste welkom door gastvrouw Ellen Bollen-Weide, nam Huub Savenije (TU Delft) al snel het woord over. Hij bleek een dubbelfunctie te hebben, hij was zowel dagvoorzitter als eerste inleider. De titel van zijn verhaal ('Het meeste valt er naast') was dezelfde als die van zijn inaugurale rede. Nu had ik dat verhaal nog niet eerder gehoord, maar Huub had het merkbaar vaker gehouden. In een stijl die het midden hield tussen die van een dominee en een cabaretier, ging hij in een zo hoog tempo door een inhoudelijk sterk verhaal, dat ik moeite had om gelijktijdig aantekeningen te maken.

De titel van zijn presentatie verwees naar uitspraken van zijn vader tijdens regenbuien in de kampeervakanties van zijn jeugd. Al snel ging het over neerslag-afvoermodellering, waarbij de bui net de regenmeter gemist had (maar wel afvoer genereerde) of juist onevenredig de volle laag had gegeven. Regen is zo heterogeen dat je het nooit 'goed' kunt meten. Er zijn modellers die denken dat ze alles kunnen uitrekenen, als ze maar heel gedetailleerd alle processen op de goede manier aan elkaar koppelen. Je