
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 FeS₂ (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 Fe²⁺ 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 CH₄) 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 PO_4^{3-} en HCO_3^- .

Om deze drie theorieën te testen, moeten experimenten uitgevoerd worden om te onderzoeken of er een correlatie is tussen arsenicum en 1) Fe^{2+} , opgeloste organische koolstof (DOC), 2) Fe^{2+} , SO_4^{2-} , 3) PO_4^{3-} , 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 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 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 PO_4^{3-} en 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. 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 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 beleidmatige 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

krijgt dan een heel complex model met honderden variabelen, waardoor je nooit weet of je model het goed doet en waarom. Huub vergeleek het met het wereldbeeld van de mier, terwijl het bij wereldbeelden juist om de hoofdlijnen zou moeten gaan.

Huub introduceerde het begrip 'equifinaliteit', en noemde het een blessing in disguise. Op basis van de tweede wet van de thermodynamica werkt alles toe naar gelijkmatigheid. Ook erosie en sedimentatie volgen dit principe, omdat water zijn eigen weg baant. Hierdoor ontstaan er ordening en patronen, die je kunt herkennen en gebruiken.

Er zijn veel wetten in de hydrologie die we eigenlijk nog niet begrijpen, maar die wel werken. Er is sprake van zelforganiserende patronen, die je eigenlijk niet vanaf de basis kunt uitrekenen, maar waarvan je de patronen wel kunt formuleren. We zoeken naar schaalwetten. Tussen neus en lippen door noemde hij dat de Wet van Darcy alleen maar een opschaling is van korrelniveau naar een medium, dat zijn dan van die opmerkingen die bij mij even moesten bezinken, terwijl het verhaal al weer verder ging. Er vielen termen als energie-dissipatie, zelf-organisatie van sediment en fractal river-basins. Huub bleek een groot voorstander van empirie (top-down) als tegenstelling van reductionisme (bottom-up, het geleidelijk opbouwen van een wereldbeeld uit kleinschalige kennis). 'Probeer de eenvoud te verklaren, vooral via veldwerk en metingen.'

Het gaat er om de patronen te ontdekken in de waarnemingen. Van groot belang is het ook om steeds nieuwe manieren te vinden om te meten. Huub vertelde van een glasvezelkabel, waarmee je over een afstand van een kilometer om de vijf meter elke vijf minuten een temperatuurmeting kunt doen. Leg die door een sloot en dan zie je feilloos waar er water bijkomt. Huub vertelde van veldwerk in Luxemburg om de rivieren in Nederland te begrijpen, over metingen aan

de interceptie van de bodem (in november al 35 %) en over de inzet van ruimtebeelden.

Op dat moment wreekte zich de dubbelrol van spreker en dagvoorzitter. Hij constateerde dat hij nog een kwartier te gaan heeft, maar werd door de organisatie terecht gewezen: hij bleek al een kwartier over zijn tijd heen. De dagvoorzitter brak acuut zijn eigen verhaal af. Als het nog een uur had geduurd, had niemand geprotesteerd. Sterker nog: ik wil het nog wel een keer horen.

Ook Paul Torfs (WUR) bleek een geroutineerd spreker, die in een hoog tempo veel inhoud kan presenteren. Een juiste dosering grapjes (de vergelijking van een random walk met een dronken student doet het altijd goed) zorgt ervoor dat het desondanks plezierig blijft te luisteren.

Paul was gevraagd een verhaal te houden zoals hij altijd al doet, maar om het voor zichzelf leuk te houden, koos hij ervoor om vooral te vertellen wat er in de loop der jaren in zijn standaard-verhaal is veranderd.

Kanstheorie (een onderdeel van het domein der statistiek) is een wetenschappelijk antwoord op onvolledige info. Daarbij hecht Paul zeer aan de turfbaarheid van zaken. Een random walk moet je dan vaak herhalen, en dan kun je turven waar je uitkomt. Het is lastiger om te bepalen hoe vaak de grondwaterstand op een bepaald punt hoger is dan 1,50 m-mv: dat kun je niet herhalen. Door te werken met tijdverschoven reeksen kun je net doen of je een vaak herhaald experiment hebt. Een belangrijke aanrader was volgens Paul de gratis te gebruiken statistische programmeer-omgeving (www.r-project.org).

Het kernbegrip is statistische stationariteit.

Paul ging in op vier aspecten van onze zekerheid:

1 *Onvolledige metingen en reeksen*

2 *Chaotisch klimaat*

Tot 1963 dachten we dat alles uit te rekenen

was, als we maar gedetailleerd genoeg konden meten en rekenen. Toen kwam Lorentz met de chaos-theorie, die aangeeft dat processen op soms onvoorspelbare momenten kunnen omklappen. Die wetenschap dat chaos kan optreden is belangrijk, maar verandert ons operationeel gedrag niet, het onderbouwt de stelling dat je sommige dingen statistisch moet benaderen.

3 *Inverse modellering*

Met R is dat tegenwoordig een fluitje van een cent: het programma is drie regels lang. Bij inverteerd modelleren kun je meer statistische info krijgen dan je wilt en kunt verwerken.

4 *Combinatie van onzekerheden*

Wij zien Q-h-curves vaak als lijn, maar als je gaat meten krijg je altijd een scatterplot. Dan was het vroeger altijd moeilijk om een vraag te beantwoorden als: Gegeven de onzekerheid van h, wat is de onzekerheid in Q? Met R heb je geen ingewikkelde combinatie van analytische formules meer nodig, een eenvoudig programma maakt turven mogelijk.

Ook Paul Torfs eindigde zijn bijdrage abrupt: 'Heb ik nog meer? Nee, dit was het.'

Jan Stijnen (HKV) is adviseur, en zo was hij ook gekleed. Pas toen hij voor de zaal stond, viel het me op hoeveel mannen in donkere truien er in de zaal zaten, waarbij de bruintinten overheersten. Een enkeling had zich aan een (bij voorkeur donker) roodachtig accent gewaagd. Ik verdenk enkelen ervan zich bewust niet geschoren te hebben ten einde zich een informeel uiterlijk te verwerven.

Ook de stijl van presenteren was die van een adviseur. Geen stortvloed aan inhoudelijke hoogvliegers, maar een degelijk verhaal van probleem, via methode naar uitkomst. Het ging over de Noodoverloopgebieden, die volgens de Commissie Luteijn noodzakelijk waren om wateroverlast rond de rivieren beheersbaar te houden. De effectiviteit van de inzet van de Ooijpolder werd

eerst op de gewone manier doorgerekend. Daaruit bleek dat de kans op overstromingen in andere gebieden beperkt kon worden van 1:1250 jaar naar 1:4500 jaar, een factor 3,6. Vervolgens was gekeken of het meenemen van onzekerheden de uitkomsten zou beïnvloeden. Als gevolg van een andere vorm van de afvoergolf, wind- en golfeffecten, een afwijkende afvoer, en nog een stuk of twintig andere redenen, wijkt de werkelijkheid af van het oorspronkelijk ideaal doorgerekende beeld. Een afwijking van de ideale inzet verlaagt vrijwel altijd de effectiviteit van de maatregel. Je kunt in de praktijk bijvoorbeeld nooit het ideale moment bepalen om de maatregel in te zetten. Rekening houdend met onzekerheden bedroeg de verbeterfactor slechts 1,3. (na afloop ontstond discussie of dit wel correct bepaald was, helaas werd het antwoord met het voortduren van de discussie steeds minder duidelijk).

Toen daarna kosten en baten werden afgewogen, vielen Noodoverloopgebieden als oplossing door de mand. Voor de Rijntakken worden ze daarom niet meer als mogelijke oplossing beschouwd. De keuze voor of tegen noodoverloopgebieden blijkt dus gevoelig voor het meenemen van onzekerheden.

Begrijpelijk was de verzuchting dat het bij HKV zijn eerste project was, en dan gelijk zo leuk, dat het de vraag is of er ooit nog een leuker project zal volgen.

De laatste presentatie was van Dennis Walvoort (Alterra), in samenwerking met Joost Heijkers (hhg Stichtse Rijnlanden). Alterra had met MODFLOW GxG-waarden berekend, en de vraag was wat hiervan (vlakdekkend) de onzekerheid was. Dan moest je dus vergelijken met peilbuisgegevens die ruimtelijk en temporeel echter geen continu beeld geven.

Eerst werden er buizen geselecteerd. Dennis beschreef de regels die het mogelijk maken om reproduceerbaar geleidelijke overgangen te maken tussen geschikt en

ongeschikt. Een meetreeks van tien jaar, waar drie metingen ontbreken, is formeel niet continu, maar in de praktijk zo goed als.

Per buis was daarna met *Menyanthes* (volgens Dennis voor deze berekeningen gebruiks-vriendelijker dan met R) de GxG-berekend. Aansluitend was hier informatie bij betrokken die wel vlakdekkend aanwezig is: AHN, Bodemkaart, LGN en de MODFLOW-modelresultaten. Dit levert een ruwe schatting, die met 'geostatistiek' verbeterd was. Hier werd het verhaal wat abstract, ik kreeg geen beeld van hoe en wat, en in welke mate de methode bijvoorbeeld reproduceerbaar was. Het leek er op alsof Alterra haar geheime recept niet wilde prijsgeven. In de discussie kwam men er met matig resultaat op terug: het is iets van lineaire regressie, maar dan iets intelligenter.

Het nut van deze actie was dat de berekende GxG-waarden beter op hun waarden geschat kunnen worden, en dat het model en het monitoringnetwerk verbeterd kunnen worden.

De afsluitende discussie ging het er in eerste instantie over of het beperkte nut van de inzet van de Ooijpolder niet al veel eerder geconstateerd had kunnen worden. Het gesprek waaierde uit over verzekeringen en het huis van Paul Torfs. Een volgende vraag betrof de aanwezigen meer bij het onderwerp: zitten beleidsmakers wel op onze onzekerheden te wachten? Wat doen we met het gegeven dat onze oplossingen niet altijd optimaal zijn? De zaal was niet eenduidig, de één had goede ervaringen met bestuurders, de ander vond bestuurders er nog niet aan toe. Onzekerheid kan bestuurders passief maken, of ze benutten onze onzekerheid om op te vullen met hun eigen belang. De voorzitter stuurde de discussie terug naar vragen als: leidt het meenemen van onzekerheid nu tot flexibelere of robuustere oplossingen? Uiteindelijk werd er wel ver-

schil gemaakt tussen het presenteren van onzekerheid (het kan vriezen, maar de kans dat het dooit is 40 procent) en het doorrekenen van onzekerheden zoals door Jan Stijnen is gepresenteerd: dan krijgt de bestuurder immers weer één antwoord in de zin dat rekening houden met onzekerheid betekent dat de bescherming geen factor 3,6 maar 1,3 verbetert.

Een hydroloog moet daarom niet ophouden met de melding dat de standaardafwijking van de berekening 15 cm bedraagt, maar doorredeneren naar wat dit concreet voor besluiten betekent. Wij als hydrologen moeten kunnen aangeven wat de onzekerheid betekent, wat voor effecten dit nu eigenlijk heeft. Dan gaat het dus niet meer alleen om water, maar vooral ook om kosten, die je soms moet afwegen tegen het maximaal door een burgemeester in te zetten aantal ambulances.

Daarmee slaagde de voorzitter er in om een moeilijk, soms vaag onderwerp, waarbij het risico van verdwalen in spraakverwarring en vaagheden reëel is, uiteindelijk te voorzien van een praktische conclusie. Onder de lunch kwam ik mensen tegen die begonnen te twijfelen aan door hen uitgebrachte adviezen. Er werden herberekeningen overwogen. De ochtend is niet voor niets geweest, de Zandhydrologen mogen dit soort bijeenkomsten vaker organiseren.

Het middagprogramma was een excursie naar de vistrappen van Waterschap Rijn en IJssel. Het zijn dure voorzieningen, maar hoe zeker is het nu dat de vissen dit paadje weten te vinden? Ik had andere dingen te doen, en reed een betrouwbare route terug naar huis.

Harry Boukes