

ORATIE

Jasper Griffioen



*Jasper Griffioen (1964) is part-time bijzonder hoogleraar Waterkwaliteitsbeheer bij het departement Innovatie-, Milieu- en Energiewetenschappen van de Faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. Hij is ook senior-onderzoeker/expert bij de onderzoeksinstituten Deltares en TNO Geologische Dienst. Hij studeerde hydrogeologie en promoveerde aan de Vrije Universiteit in 1992. Hij werkt met name in projecten waarin de relatie tussen waterkwaliteit, bodemkwaliteit, landbouw, drinkwaterwinning en natuurontwikkeling centraal staat. Hij heeft zich hierbij gespecialiseerd op het terrein van reactief-transportmodellering en milieugeochemische karakterisering. In de loop van 25 jaar heeft hij allerlei projecten uitgevoerd in diverse delen van de wereld en voor allerlei typen verontreinigingen. De onderwerpen lopen uiteen van de ontwikkeling van de waterkwaliteit van een rivier uit een zuur kratermeer op Java (Indonesië) tot opslag van warmte, CO<sub>2</sub> of radio-actief materiaal in de diepe, Nederlandse ondergrond. Hij is meerdere malen deskundige geweest in rechtszaken rondom bodemverontreiniging. In de periode 1997 – 2000 was hij part-time toegevoegd docent/onderzoeker Hydrogeochemisch Modelleren bij de toenmalige Faculteit Aardwetenschappen van de Universiteit Utrecht. Hij is sinds oktober 2007 lid van de Technische Commissie Bodem, die de ministers en staatssecretarissen van Infrastructuur&Milieu en Economische Zaken, Innovatie & Landbouw adviseren over beheer van de bodem, het grondwater en de ondergrond.*



**Zoet Water:  
het Zout der Aarde**

Universiteit Utrecht



**Zoet Water: het Zout der Aarde**

Inaugurale rede gehouden door prof.dr. Jasper Griffioen, bijzonder  
hoogleraar Waterkwaliteitsbeheer bij de faculteit Geowetenschappen  
van de Universiteit Utrecht

**Universiteit Utrecht**



## COLOFON

### ISBN

978 90 6266 301 9

### Uitgave

Universiteit Utrecht, 2012

### Grafische verzorging

C&M 8166 - Faculteit Geowetenschappen - Universiteit Utrecht

### Druk

Bergdrukkerij, Amersfoort

### Foto voorzijde

Grondwaterput voor irrigatiedoeleinden in de El Kharga oase gelegen in de westelijke woestijn, Egypte. Het grondwater in de Egyptische oasen wordt meestal onttrokken uit watervoerende pakketten dieper dan een kilometer en is dan warmer dan 30°C.

*Mijnheer de Rector Magnificus, beste collega's van Universiteit Utrecht, Deltares, TNO en Technische Commissie Bodem. Beste studenten, familie en vrienden.*

Alvorens ik mijn eigenlijk betoog houd, lees ik u graag voor uit het werk van Willem Frederik Hermans. Vakgenoot en één van de grootste schrijvers van Nederland. De tekst betreft de eerste alinea van De Donkere Kamer van Damocles:

*Dagenlang zwierf hij rond op het vlot, zonder drinken. Hij stierf van dorst want het water van de oceaan was zout. Hij haatte het water dat hij niet drinken kon. Maar toen de bliksem in zijn vlot sloeg en het vlot in brand vloog, schepte hij dat gehate water met zijn handen op, om te proberen de brand te blussen!*

### **Water als Grieks Element**

Dames en heren, water is de derde levensbehoefte van de mens, na lucht – of beter gezegd zuurstof – en temperatuur ofwel volgens de thermodynamica energie. Voor een gezond leven, moet water wel van een goede kwaliteit zijn. Niet geheel toevallig hebben we met deze levensbehoeften de drie Griekse elementen vuur, water en lucht te pakken. U voelt natuurlijk wel aan dat met mijn geologische achtergrond en mijn leerstoel bij de faculteit geowetenschappen het vierde element aarde in mijn verhaal ook de revue zal passeren. Ik heb hiermee ook meteen drie sferen aangestipt: de geosfeer, de atmosfeer en de hydrosfeer. De interactie tussen deze sferen is niet alleen een boeiende, wetenschappelijke aangelegenheid, maar ook van actueel maatschappelijk belang. Denk aan wat is het effect van klimaatverandering op de waterbeschikbaarheid.

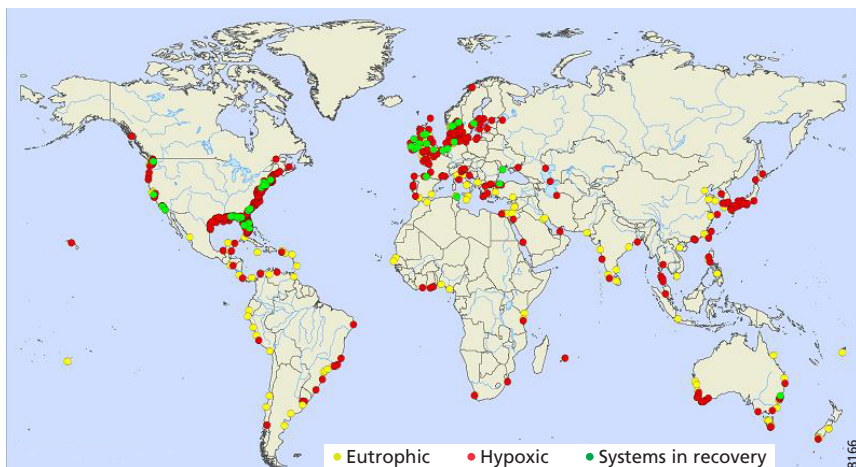
De komende drie kwartier wil ik stilstaan bij drie onderwerpen: *waterkwaliteit en ontwikkelingssamenwerking*, *milieugeochemische karakterisering* en *waterkwaliteit en nutriënten*. Ik begin met het laatste, waarbij nutriënten gelijk zijn aan voedingsstoffen. Het departement waar ik bij ben aangesteld heeft een rijke traditie in ecologisch en ecohydrologisch onderzoek. Interactie tussen de drie genoemde sferen en de biosfeer is dus onderwerp van studie alhier. In essentie wordt de plantengroei bepaald door vier factoren: licht, temperatuur, nutriënten en water. Dit grijpt weer elegant terug op de vier Griekse elementen, waarbij licht en temperatuur verenigd zijn in energie ofwel vuur. Denk aan het verschil tussen Groenland versus Borneo. Voor nutriënten zit het gecompliceerder en dat maakt nutriënten

in mijn optiek uiterst interessant studiemateriaal. Voor planten zijn stikstof, fosfor en kalium de meest essentiële nutriënten naast de bouwsteen koolstof. In de landbouw wordt dat aangeduid met NPK.

Chemici hebben in de loop der eeuwen de vier Griekse elementen leren onderscheiden tot een slordige 100 elementen en de geochemicus Goldschmidt heeft die elementen weer gegroepeerd in enkele grote groepen. Hij onderscheidde een atmosferische groep en drie geofiele groepen. De edelgassen, hun groepsaanduiding zegt het al, behoren tot de atmosferische elementen. De drie geofiele groepen die hij onderscheidde zijn de lithofiele elementen, ofwel die graag met zuurstof in de aardkorst voorkomen, de siderofiele elementen, ofwel die graag met ijzer geassocieerd zijn en liefst in de aardkern voorkomen, en de chalcofiele elementen ofwel die graag in sulfide-ertsen voorkomen. Zelf zou ik een vijfde groep van hydrofiele elementen willen onderscheiden. Typisch hydrofiele elementen zijn chloor en jodium, ofwel elementen die goedoplosbare zouten vormen en veelvuldig in water voorkomen. Voor de nutriënten stikstof, fosfor en kalium, geldt dat stikstof het atmosferische element is en fosfor en kalium de lithofiele elementen zijn. De biogeochemische processen van deze elementen en de interactie met planten is dusdanig gecompliceerd dat het een blijvend wetenschappelijk onderwerp is. Het is mijn ambitie om op dit onderwerp een steentje bij te dragen. Ik wil dat doen door zogenaamd strategisch onderzoek te bevorderen. Dat drijft mij meer dan louter nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek.

### **Water en Eutrofiëring**

Eutrofiëring is de verrijking van het water of de bodem door nutriënten, vooral stikstof-en/of fosforverbindingen, die leidt tot een versnelde groei van cyanobacteriën en bepaalde planten met als resultaat een ongewenste verstoring van het evenwicht in een aquatisch of terrestrisch ecosysteem. Het ontstaat o.a. door overbemesting in de landbouw of ongezuiverde lozing van rioolwater waardoor veel nitraten en fosfaten aan water en bodem worden toegevoegd. De gevolgen van eutrofiëring zijn niet alleen in Nederland maar verspreid over de hele wereld verstrekend. Op het scherm ziet u een wereldkaart (figuur 1) met de eutrofe of hypoxische kustwateren. Hypoxisch water is meestal de overtreffende trap van geëutrofeerd water want daarin is het zuurstof verdwenen door de uitbundige plantengroei. Het is duidelijk dat we te maken hebben met een wereldprobleem: overal waar de moderne beschaving zijn stempel heeft gedrukt, komen geëutrofiëerde kustwateren voor.



Figuur 1. Het voorkomen van hypoxische en eutrofe kustwateren op wereldschaal (afkomstig van [www.wri.org](http://www.wri.org)).

Om de problematiek ook wat praktische handen en voeten te geven leg ik graag enkele krantenberichten voor van van zomer vorig jaar (pagina 6). Ten eerste dode honden in de Volkskrant. Ten tweede dode vis in het NRC. De mysterieuze vissensterfte was mogelijk het gevolg van dysoxisch water. Verder de Franse *Le Figaro* met dode wilde zwijnen op de stranden van Bretagne. Obelix zou zich omdraaien onder zijn menhir. De honden en zwijnen waren gestorven aan giftige blauwalgen. En tenslotte de *China Daily* met zwemmende Chinezen in groen water.

De herkomst van de nutriënten in de kustwateren is meestal van het land en ze zijn daar via de rivieren terecht gekomen. Hele stroomgebieden zijn dus doordrenkt met een teveel aan nutriënten. Lex Bouwman, werkzaam bij Planbureau voor de Leefomgeving, is vorig jaar benoemd tot bijzonder hoogleraar ‘Nutriëntentransport van land naar zee’. Wij delen hierin een gemeenschappelijke interesse, waarbij onze expertises prachtig op elkaar aansluiten. Lex is vooral bezig geweest met modellen op continentale tot mondiale schaal. Ik ben vooral bezig geweest met nutriënten in het grondwater en op het grensvlak met het oppervlaktewater. Gezamenlijk en in samenwerking met UU- en andere collega’s willen we dit onderzoeksonderwerp verder uitdiepen.

## Zwemverbod voor Almeerderstrand na dood drie honden

vrijdag 20 mei 2011 17:43

Almere - De provincie Flevoland geeft, in overleg met de water- en strandbeheerder, met ingang van vrijdag 20 mei een verbod af voor zwemmen bij het Almeerderstrand. Dit heeft de gemeente Almere vrijdag laten weten.

**Drie honden overleden na zwempartij**  
Het gaat om de stranden ten noordwesten van de Hollandersburg. Deze maatregel is getroffen nadat de gemeente donderdagmiddag op de hoogte werd gebracht dat er drie honden na een zwempartij waren overleden.

**Giffige stof aangetroffen bij autopsie**  
Twee honden zijn overleden nadat ze gezwommen en gewandeld hebben in het gebied aan de oeverkant van het water bij Muiden. Hierboven is vorige week vrijdag gebeurd met een hond uit Almere.

Bij autopsie op deze laatste hond is een giffige stof aangetroffen (een neurotoxine). Ook het water is onderzocht, hierbij zijn geen afwijkingen aangetroffen. Er worden momenteel extra monsters genomen.

De provincie Flevoland neemt het zekere voor het onzekere, en stelt een zwembod geplaatst en de gemeente sluit de toegang af.



Foto: Michael Elz

## Mysterieuze massale vissensterfte nabij Los Angeles stelt havenautoriteiten voor een raadsel



MRC9/5/11

## Sangliers morts : la piste des algues vertes se précise

Mots clés : Sangliers, Algues Vertes, Morts, BRETAGNE, COTES D'ARMOR, SAINT-BRIEUC, ANALYSES

Par Tristan Vey

Publié le 01/08/2011 à 22:00 Réactions (138)

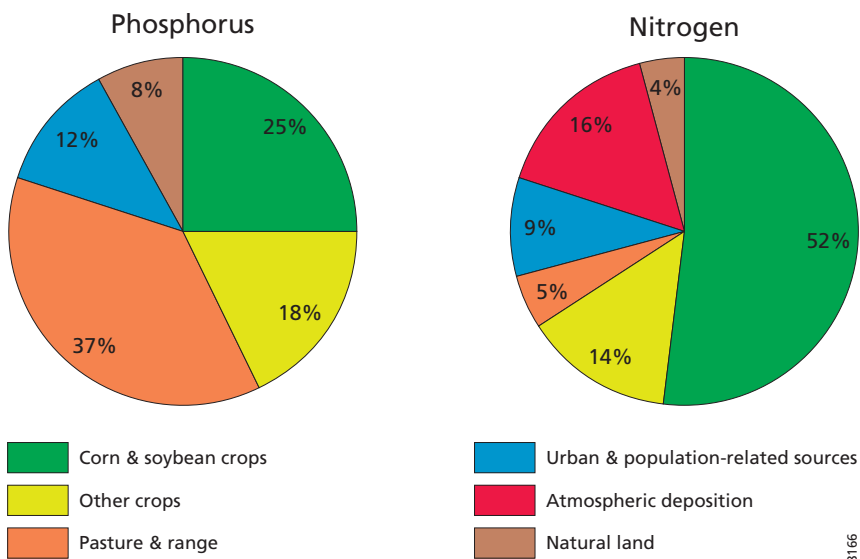


Une des 36 bêtes retrouvées mortes sur le littoral breton cet été, dans la baie de Saint-Brieuc. Crédits photo : DAMIEN MEYER/AFP



## Waterkwaliteit, Landbouw en Economie

De nutriënten zijn voor een groot deel afkomstig van de landbouw, zeker in ontwikkelde landen waar rioolwaterzuiveringsinstallaties zijn. De figuur geeft als voorbeeld de herkomst van nutriënten voor de Amerikaanse situatie in de Golf van Mexico: meer dan de helft is afkomstig van landbouw. Let ook op de verschillen voor atmospheric deposition en natural land voor het atmosferische stikstof en het lithofiele fosfor. Goldschmidt doet zijn werk. De situatie is in Nederland niet essentieel anders. De Nederlandse situatie voor landbouw en waterkwaliteit laat zich als volgt kenmerken met betrekking tot milieu en economie.

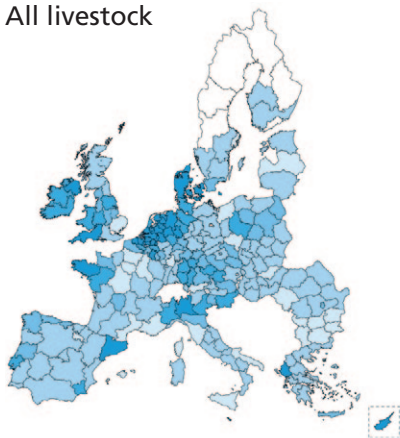


Figuur 2. *Herkomst van de nutriëntenbelasting van de Golf van Mexico (afkomstig van water.usgs.gov).*

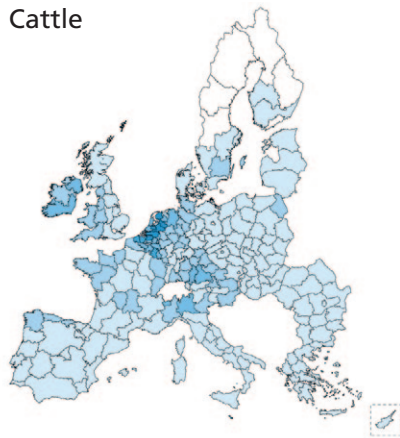
De landbouw zorgt enerzijds voor ons voedsel waarmee het een nobele sector is en is anderzijds bio-industrie die volkomen verwrongen is geraakt. In de voorbereiding ben ik in de cijfers gedoken en heb enkele eenvoudige sommetjes gemaakt. Graag vat ik het voor u als volgt samen om het probleem van landbouw en waterkwaliteit te illustreren. Zoals u in figuur 3 kunt zien is Nederland



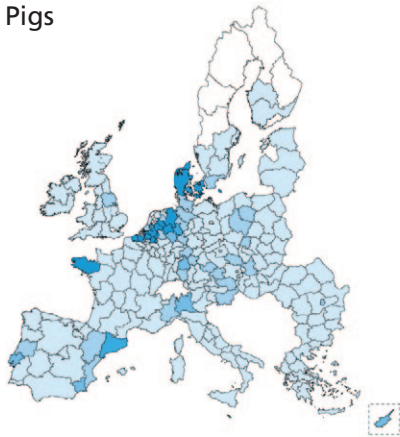
All livestock



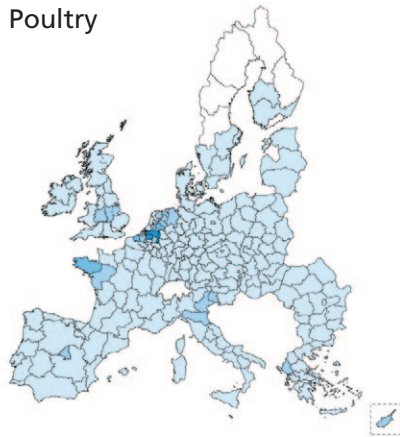
Cattle



Pigs



Poultry



Livestock units per ha agricultural area



No data or agricultural area < 5%

8166

Figuur 3. De veedichtheid in de Europese Unie (afkomstig van PBL, 2011b).

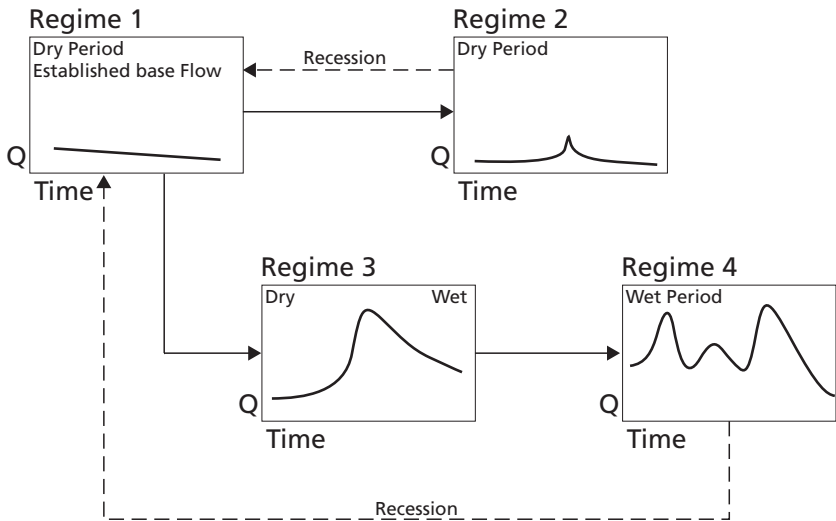
dichtbevolkt: naast zijn 16 miljoen inwoners zijn er bijna even veel varkens en zes keer zo veel kippen. Hoeveel dieren consumeren we met zijn allen op jaarbasis en hoeveel is voor de export? Het komt erop neer dat voor elke 2 runderen die we consumeren, we er 1 exporteren als boter, melk en vlees, voor elke 2 varkens die we opeten exporteren we er 3 en voor elke 3 leghennen of vleeskuikens exporteren we er 5 als kippenvlees of eieren. De veeteelt is dus voor ongeveer de ene helft export en de andere helft ons dagelijks voedsel. Voor de glastuinbouw en bollenteelt zal dat grosso modo ook zo zijn. De boeren en tuinders dragen anderhalf procent bij aan het Bruto Nationaal Product van ongeveer 600 miljard euro, Dat doen zij met ca. 1 miljard subsidie uit Brussel, ofwel gemiddeld 10%. Het Planbureau voor de Leefomgeving heeft becijferd dat de maatschappelijke schadekosten van de veehouderij met betrekking tot alleen stikstof 1 tot 7 miljard per jaar bedragen. De vervuiler betaalt dus helemaal niet. Deze sector moet gezien worden als bio-industrie en het is opvallend dat dit de enige industriesector is die zijn afval in de vorm van mest en wat dies meer zijt nog gewoon in het milieu mag dumpen. *Bedrijven als Shell of AkzoNobel mogen dit al lang niet meer.*

Dames en heren, de landbouwsector is een zeer verwrongen geraakte economische sector. Dat geldt nationaal maar dat geldt nog meer internationaal. Men zegt graag dat er grote schaalvergroting is opgetreden in de landbouw. Daar ben ik het helemaal niet mee eens. Ik geef u enkele kengetallen ter illustratie. In 1950 waren er 410,000 land- en tuinbouwbedrijven. Nu zijn er 71,000 en dat is dus een gemiddelde schaalvergroting van een factor 6. Vergelijk dat eens met de opschaaling van kruideniers, bakkers, etc. naar supermarkketens. In 1929 waren er in Nederland ongeveer 29,000 kruideniers en waarschijnlijk een vergelijkbaar aantal slaggers, bakkers en groentemannen. Nu wordt deze sector gedomineerd door 8 supermarkketens zoals Ahold. Dat is dus een schaalvergroting van meer dan een factor 1000. Nog even een andere vergelijking: in 1950 waren er 2600 waterschappen en nu 25. Ofwel een factor 100. Het probleem is dat de marktmechanismen er voor hebben gezorgd dat de boeren te weinig geld voor hun producten krijgen en wij ons voedsel te goedkoop kunnen kopen. Om in Nederland tot duurzame en concurrerende landbouw te komen is naar mijn mening een schaalvergroting van een factor 100 nodig voor de landbouwbedrijven. Dat maakt het mogelijk om duurzame investeringen te doen, dat maakt het ook mogelijk om internationaal te opereren en dat maakt ook vergroening van de landbouwconomie mogelijk. Eigenlijk zijn alle Nederlandse boeren keuterboeren.

## Waterkwaliteit en Fosfaat

Het watersysteem is van dit alles de dupe. In Nederland maar ook daarbuiten. 60% van de nutriëntenbelasting komt in Nederland uit de land- en tuinbouw en 83% van de Nederlandse oppervlaktewaterlichamen is te veel verontreinigd met nutriënten. In een mondiale inventarisatie die ik enkele jaren geleden gedaan heb, komt naar voren dat in 63 van de 64 landen waarover ik landsdekkende informatie kon vinden, verontreiniging van het grondwater met nitraat geregeld tot vaak voorkomt. Nitraatverontreiniging is een typisch resultaat van overbesteding van landbouwgronden. Fosfaat gedraagt zich zeer complex in de bodem en het water. Voorspellingen van het fosfaatgedrag met computermodellen hebben anno 2012 nog maar een beperkte waarde. Ik wil onderzoek doen naar het gedrag van nutriënten in het watersysteem.

Onlangs is Deltares in samenwerking met UU een promotie-onderzoek gestart naar retentie van fosfaat in Nederlandse beken, kanalen en sloten. Retentie is de al dan niet tijdelijke ontsnapping van opgeloste stoffen uit het water. Je moet hierbij denken aan bezinking in de waterbodem, opname in waterplanten en in geval van het atmosferische element stikstof, daar is meneer Goldschmidt weer, aan



Figuur 4. *Temporele typering van de afvoerregimes van fosfor (afkomstig van Dorioz et al., 1998).*

8166

vervluchtiging van stikstofgas of lachgas bij stikstofomzettingen in de bodem. Het promotie-onderzoek zal zich met name richten op seizoensafhankelijke en debietsafhankelijke retentie van fosfaat in het oppervlaktewater en het transport van opgelost versus gebonden fosfaat. De figuur is een inzichtelijke figuur om het vraagstuk van tijdsafhankelijke fosfaatretentie te karakteriseren. Hier staat de concentratie op de y-as en de tijd op de x-as. Afhankelijk van de weersgesteldheid is er meer of minder fosfaat geaccumuleerd op de bodem van het oppervlaktewater. Bij een regenbui gaat dit materiaal in meer of mindere mate aan de wandel afhankelijk van de intensiteit van de bui. Bij volgende regenbuien is het oppervlaktewatersysteem schoon gespoeld en is de bijbehorende fosfaatconcentratie lager dan bij dezelfde regenbui een tijdstip eerder. Deze mechanismen dienen op verschillende schaalniveaus beter in de vingers gekregen te worden om de retentie van fosfaat beter te kunnen beschrijven. Hierbij is het nodig om een koppeling te leggen tussen de hydrologie en de biogeochemie. En dat is iets waar ik mezelf graag mee bezig houdt.

In het bodemchemisch fosfaatonderzoek is, in tegenstelling tot het marien geochemisch onderzoek, te weinig stilgestaan bij de rol van oplos/neerslagreacties bij het beschouwen van het gedrag van fosfaat. Ik meen dat een deel van de onduidelijkheden te verklaren is door het gedrag vaker te beschrijven als kinetische oplos/neerslagreacties van Ca-fosfaten en Fe(II)-fosfaat in plaats van als sorptie-reacties. Dit vraagt er wel om dat naast fosfaat ook Ca en Fe bestudeerd worden en dat is nog geen gemeengoed. Visueel is het al een eeuw geleden waargenomen dat fosfaat in minerale vorm voorkomt in veenbodems, maar in het modelonderzoek is daar weinig mee gedaan.

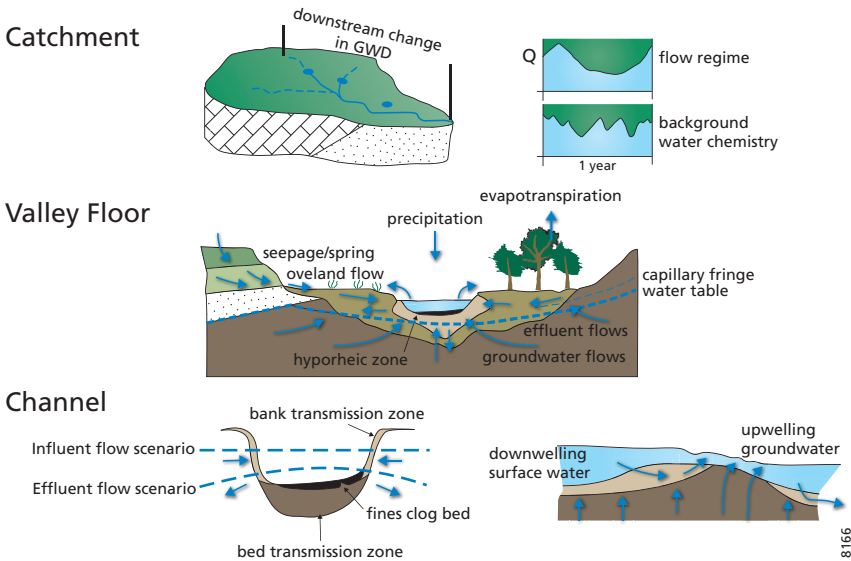
Tussen opgelost  $\text{PO}_4$  en totaal- $\text{PO}_4$  zit colloidaal gebonden  $\text{PO}_4$ . Colloïden worden geregeld gedefinieerd als deeltjes met een diameter van een duizendste tot 1 micrometer. Ze bezinken moeilijk in zoet water. Een aspect dat ik belangrijk acht is het transport van  $\text{PO}_4$  gebonden aan colloïdale Fe-oxiden. Te vaak wordt het colloïdaal gebonden  $\text{PO}_4$  als opgelost  $\text{PO}_4$  aangemerkt en in het onderzoek is te weinig aandacht besteed aan het hydrologische gedrag van dit colloïdaal gebonden  $\text{PO}_4$ . Het beschrijven van het bezink- en opwervelingsgedrag van deze deeltjes is namelijk erg lastig.

### Fosfaat en Global Change

Naast deze aspecten op de perceelschaal is het ook interessant en belangrijk om de milieugeochemie van fosfaat op de continentale en mondiale schaal te bestu-

deren. Fosfaat als kunstmest dreigt een schaars goed te worden. Dit omdat het bestaande fosfaaterts binnen meerdere tientallen jaren uitgeput dreigt te raken. En er ook geopolitiek te veel landen afhankelijk zijn van te weinig landen waarvan de meeste niet de meest democratische bewinden hebben. Het gaat hierbij vooral om Marokko en China. Fosfaaterts is dus in toenemende mate een strategische grondstof. In Nederland is dit probleem onderkend en zijn afgelopen jaar enkele mooie initiatieven genomen zoals het nutriëntenplatform en het ketenakkoord fosfaat. Nederland wil hierbij inzetten op het terugwinnen van fosfaat uit mest en afvalwater. Eerder heb ik u het probleem geschetst dat we als mens het fosfaat nu diffuus in het watersysteem uitsmeren over de wereld.

Een gewenste ontwikkeling is dus ook om fosfaattransportmodellen op grote schaal te bouwen. Gelet op de sterke retentie van fosfaat in het watersysteem is het niet voor de hand liggend om dat meteen op mondiale schaal te doen, maar eerst op stroomgebied- of continentale schaal. Bij de beschouwingen van de waterkwaliteitstoestand wordt binnen het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water te weinig stilgestaan bij het aspect van afwenteling. Afwenteling wil zeggen



Figuur 5. Interactie tussen grondwater en oppervlaktewater op drie verschillende schaalniveau's (afkomstig van Sear et al., 1999).

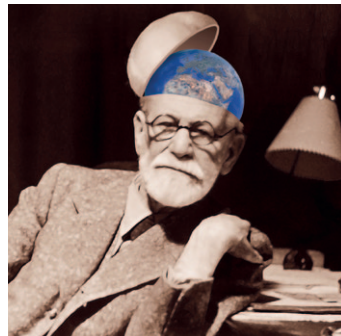
dat de nadelen van een milieuprobleem niet op de oorspronkelijke plek en het oorspronkelijke moment worden ervaren maar later ervaren worden op de plek zelf of in hydrologische zin stroomafwaarts. Grootschalige modellen zijn nodig om dit aspect te onderkennen. Dit geldt overigens niet alleen voor fosfaat maar ook voor stikstof. Twee aandachtspunten wil ik graag toelichten.

Het is conceptueel bijzonder uitdagend om grondwater en oppervlaktewater te koppelen in modellen. De routes die het water volgt in beekdalen zijn divers en langs verschillende routes kunnen verschillende biogeochemische processen plaats vinden. De figuur geeft dit aan. Hoe giet je dit in een wiskundig model? Beekdaken maar ook slootwanden werken dus ten dele als filters op de nutriëntuuitspoeling vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater. Het herleiden van deze filterende werking is nodig om het lot van nutriënten van de bron tot de kustwateren te herleiden.

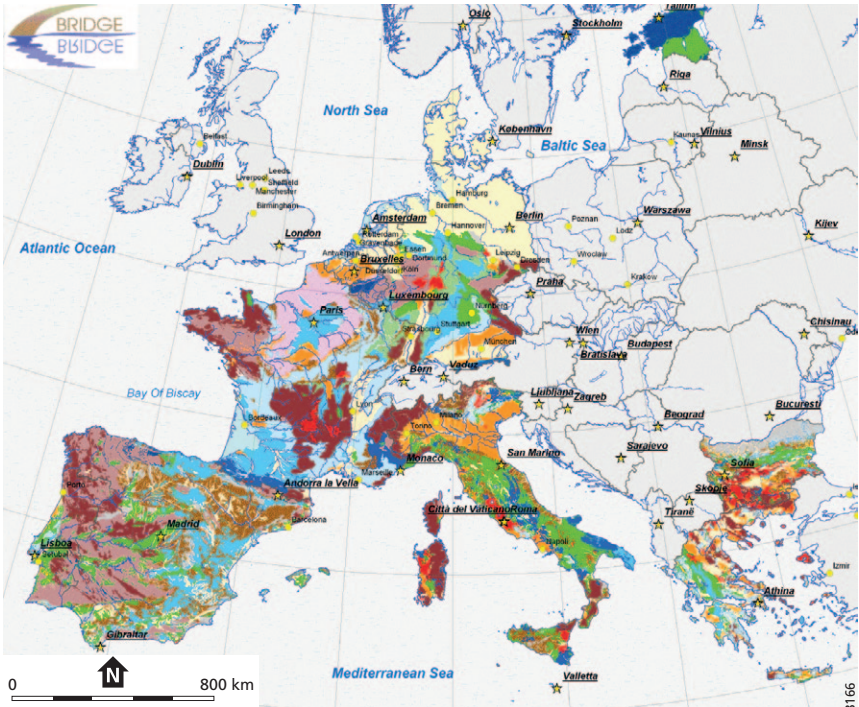
Daarnaast is het een relevante vraag hoe het grondwatercompartiment weergegeven kan worden op zijn geochemische eigenschappen. Er is betrekkelijk weinig informatie beschikbaar over de geochemische reactiviteit van de ondergrond. De wetenschappelijke kunst is dus om optimale aannames te maken in het opstellen van de modelparameters voor de ondergrond en de processen die erin plaatsvinden. In de context van de Europese BRIDGE- en AquaStress projecten heb ik hieraan enige jaren geleden gewerkt. Als voorbeeld laat ik u graag een Europese kaart (figuur 7) zien met gebiedentypen die uniform zijn in hun grondwatersamenstelling. Verschillende gebiedseenheden zijn vastgesteld met elk een karakteristiek bereik in de natuurlijke grondwatersamenstelling. Dit soort uniforme typering is nodig om grootschalige grondwatertransportmodellen te maken.

### Het Karakter van de Aarde

Graag schakel ik nu over naar het tweede onderwerp van mijn oratie. Als je een mens zijn gedrag wil begrijpen, is het verstandig om diens karakter te doorgronden. Zoiets geldt ook binnen de aardwetenschappen. Om de dynamische processen in de geosfeer te begrijpen zoals het lot van nutriënten in het milieu,



Figuur 6. *Het karakter van de aarde dient bekend te zijn om voorspelling van de veranderingen in de toestand mogelijk te maken.*

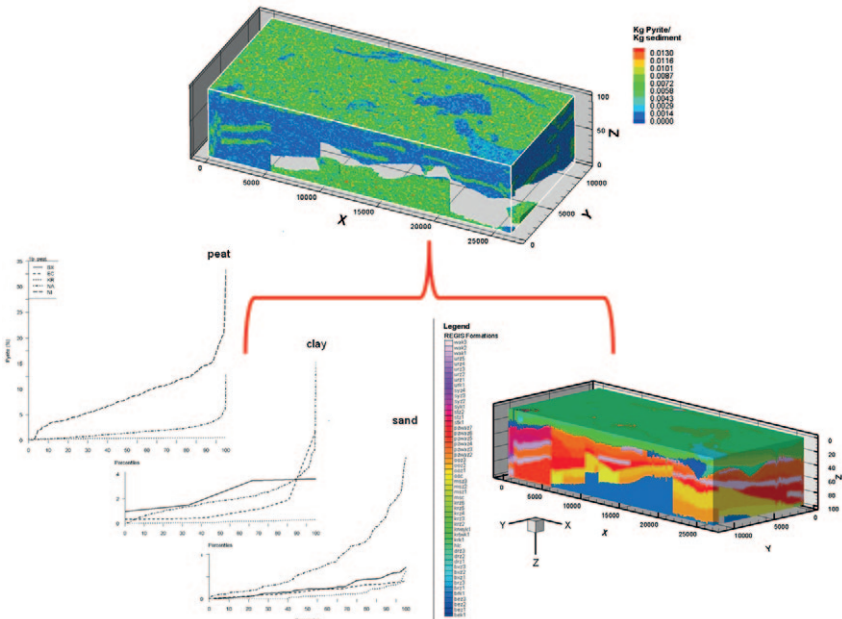


Figuur 7. Indeling van een deel van Europa op chemisch-hydrologische grondwatertypen (afkomstig van Wendland et al., 2008).

is het nodig om die geosfeer te karakteriseren op haar eigenschappen. TNO Geologische Dienst Nederland houdt zich expliciet bezig met die karakterisering voor zover het het Nederlands grondgebied aangaat. Ik ben daar part-time werkzaam op het gebied van de milieugeochemie en doe dat met veel plezier. Er zijn vele voorbeelden te geven van het nut van milieugeochemische karakterisering. Graag geef ik u er drie. Ten eerste is het belangrijk om de natuurlijke samenstelling van bodem en grondwater te kennen opdat de mate van verontreiniging ook herkend kan worden. Ten tweede is de aantasting van voorwerpen zoals tunnels of Romeinse munten afhankelijk van de bodemgesteldheid. Zowel met betrekking tot de conservering van archeologische objecten als de aantasting van antropogene ondergrondse constructies is geochemische kennis dus nodig. Ten derde

willen beleidsmakers, bedrijven en de samenleving voorspellingen hebben over de ontwikkeling van de waterkwaliteit in relatie tot bijv. verscherping Mestwet, ontwerp van een saneringsmaatregel, of ondergrondse berging van radio-actief afval. Geochemische kennis van de ondergrond is onontbeerlijk hiervoor. Ik werk nu twee onderwerpen verder uit. Ten eerste wil ik u attenderen op het unieke milieugeochemische onderzoek dat we sinds 2006 zijn gaan uitvoeren rondom de milieugeochemische karakterisering van wat wij de geotop noemen, ofwel de eerste ca. 30 m van de ondergrond waarin de interactie met menselijke activiteiten aan het aardoppervlak het sterkst is. De komende jaren wil TNO dit toepassen op geheel Nederland en het is mijn ambitie om het ook milieugeochemisch te verbreden.

In de afgelopen jaren hebben we een regionale karakterisering opgesteld en toegepast op enkele gebieden. De essentie bestaat eruit dat we aan de hand van



Figuur 8. Conceptuele werkwijze om heterogene velden in reactiecapaciteit (boven) te krijgen op basis van statistische kengetallen van die capaciteit (linksonder) en geohydrologische schematisering (rechtsonder).



enkele tientallen boringen grondmonsters analyseren en statische kengetallen opstellen van eigenschappen zoals het organisch stofgehalte. Deze gegevens kunnen vervolgens als invoer dienen voor bijvoorbeeld reactief grondwatertransportmodellen. In de figuur ziet u dit verbeeld: rechtsonder staat een geohydrologisch model van de klei-, veen- en zandlagen met verschillende geologische ouderdom. Linksonder staan frequentiediagrammen voor reactieve gehalten in klei, veen en zand voor de diverse geologische formaties. Als we deze twee combineren met behulp van een stochastisch rekenmodel, krijgen we de bovenstaande figuur als resultaat. We zijn dus inmiddels in staat om gedetailleerde grondwatertransportmodellen te bouwen en rekening te houden met de geochemische heterogeniteit. Dat is een enorme stap voorwaarts ten opzichte van de situatie vijf jaar geleden en maakt een hele nieuwe aanpak in transportmodelleren mogelijk. Dit komt mede ook door de onderzoeksinvesteringen die Deltares gedaan heeft in het paralleliseren van het grondwatertransportmodel MT3D, waardoor we nu veel kortere rekestijden hebben en veel grotere modellen kunnen bouwen. In termen van schaalvergroting: zeker een factor 100. Een nieuwe generatie grondwatertransportmodellen ligt hierbij in het verschiet.



Figuur 9. Groevewand in Maalbeek met ijzeroxide- en mangaanoxideaanrijkingen.

We zijn er echter nog niet want de regionale statistische benadering heeft zijn beperkingen. Het karakteriseren van de ondergrond is vooral een schaalvraagstuk: hoe ga ik op de grote schaal om met de heterogeniteit op de kleine schaal? De boringen zijn niet meer dan speldeprikken van enkele centimeters breed. Het overzicht krijgen we als we in de groeve staan. We zien aanrijkingen van ijzer- en mangaanoxides op allerlei plaatsen en we moeten het ontstaan van dit soort aanrijkingen begrijpen om de heterogeniteit te doorgronden. Milieugeochemische karakterisering van de ondergrond is het zoeken naar uniformiteit in de heterogeniteit. Als we dit snappen kunnen we ook grondanalyses opschalen. De komende jaren wil ik aan dit vraagstuk werken. Alejandra Morera Chavarria is als TNO-aio bezig om deze diagenese beter te begrijpen. Een essentieel verschil tussen kwartaargeologische of geohydrologische karakterisering van de ondiepe ondergrond en geochemische karakterisering is hierbij dat de geochemische eigenschappen niet alleen bepaald worden door de sedimentologie maar ook door diagenetische en paleohydrologische processen na sedimentatie. Dit voegt een dimensie toe aan de complexiteit.

### **Ijzer en Diagenese**

Als tweede wil ik uw aandacht vragen voor de sedimentgeochemie van ijzer. Dit is om verschillende redenen belangrijk voor de Nederlandse geologische setting. Ten eerste omdat Fe in verschillende reactieve mineralen voorkomt, te weten als carbonaat, als sulfide en als oxyhydroxides naast minder voorkomende vormen zoals Fe-fosfaat (waarover ik eerder sprak), gips en het bijzondere kleimineraal glauconiet. Fe-mineralen vertonen reactief gedrag op de tijdschaal van het dagelijks water- en bodembeheer. Verder is Fe na O, Si en Al het meest voorkomende element in de aardkorst en het oefent daarmee een sterk bufferende werking uit op de grondwatersamenstelling. Tenslotte oefent de aanwezigheid van reactieve Fe-mineralen een belangrijke controle uit op het gedrag van sporenelementen zoals het giftige arseen en ook de afbraak van organische microverontreinigingen zoals toluen. Fe-mineralen doen er dus toe.

Op de foto (figuur 10) ziet u Fe-oxide aanrijkingen in een kleilaag. Dit soort aanrijkingen komen veel voor in een groeve bij Venlo en deze noemen we de barbapappa's. We hebben inmiddels door dat er meerdere soorten barbapappa's zijn en wat we zouden willen weten is of deze barbapappa's ook op een regionale schaal belangrijk zijn. Als een boring precies op de Fe-oxide rijke klei gezet zou worden, zou je een analytische uitschieter krijgen ten opzichte van analyses

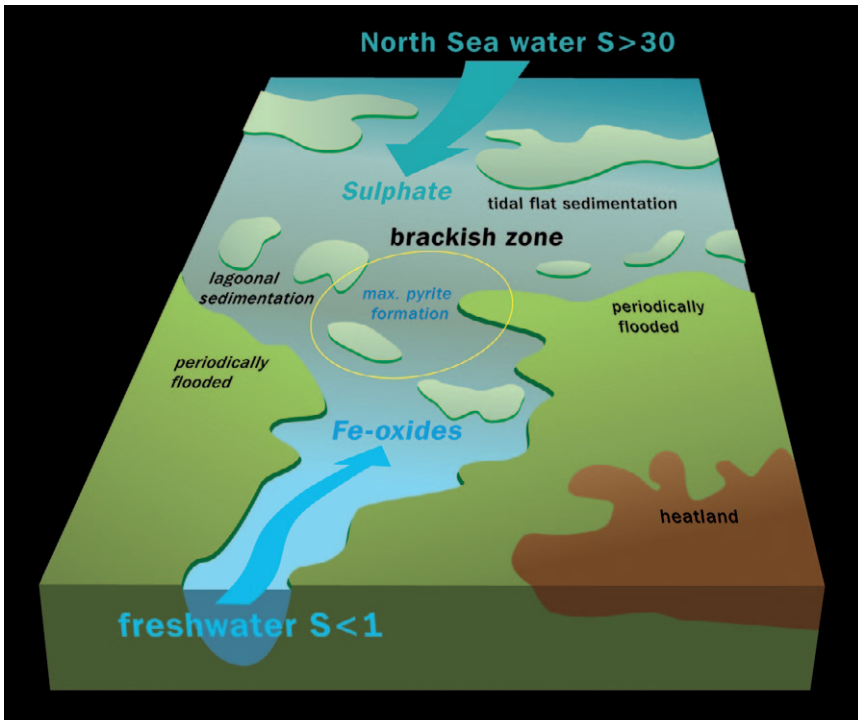


Figuur 10. *Secundaire ijzeroxide-aanrijkingen in fluviaatle kleiafzettingen, zoals waargenomen in een groeve te Maalbeek.*

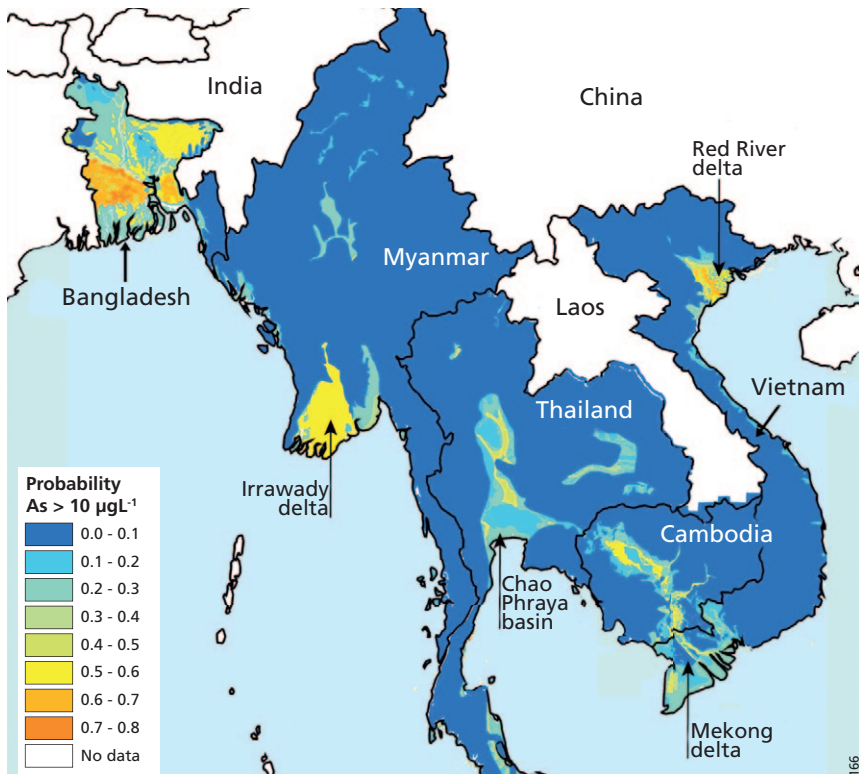
van de grijze klei. Maar wat is de betekenis van deze uitschieter op de regionale schaal? In dit geval gaat het om rivierafzettingen. We weten echter ook dat de ondiepe keilemafzettingen in Noord-Nederland aan de bovenkant verweerd zijn geraakt tijdens de laatste ijstijd. We weten echter niet wat dat betekent voor het grondwater.

Dit soort lokale heterogeniteit komt tot stand onder regionale gradiënten. Het blokdiagram (figuur 11) geeft hier een mooi voorbeeld van. De vraag is waar de vorming van pyriet, een Fe-sulfide, maximaal is. Pyriet ontstaat in kustnabije sedimenten als Fe-oxides aangevoerd met de rivier reageren met sulfaat uit zeewater in aanwezigheid van afbreekbaar natuurlijk organisch materiaal. Er moet een maximum zijn waar de fluviaatle Fe-oxides en het mariene sulfaat elkaar treffen. Onze huidige regionale statistische benadering houdt geen rekening met dit soort diagenetische processen langs regionale gradiënten. Bijkomende complicatie is dat het pyriet in de geologische afzettingen mogelijk niet in één diagenetische fase is gevormd maar dat er meerdere fasen zijn voor de geologische afzettingen afhankelijk van de paleohydrologische ontwikkeling. Achter dit onderwerp ligt ook een vraag die maatschappelijk leeft. In de kleigronden van

Zeeland en Flevoland wordt regelmatig meer dan 50 mg nitraat/l gemeten in het grondwater bij de grondwaterspiegel. In de kleigronden van Noord-Holland, Zuid-Holland, Friesland en Groningen is dit veel minder het geval. Dit leidt tot beleidsmatige beroering in het kader van de Evaluatie Mestwet en Europese Richtlijn Nitraat. Beleidsmatig gaat men er vanuit dat nitraat voor de kleigronden geen probleem is. Dat is dus wel het geval en de aan- of afwezigheid van pyriet speelt hier mogelijk een rol, want nitraat verdwijnt als het gereduceerd wordt door pyriet.



Figuur 11. Beeld van de Holocene kust in Noordwest Duitsland of Nederland met de condities waaronder maximale pyrietvorming kan optreden door menging van sulfaatrijk zee water en rivierwater met ijzeroxides (aangepast naar Dellwig et al., 2001).



Figuur 12. Probabilistische kaart van de arseen concentratie in Zuidoost-Azië uitgedrukt als de kans op overschrijding van de WHO-drinkwaternorm van 10 µg/l (afkomstig van Winkel et al., 2008).

## Aqua Toffana

Alvorens ik verder ga over waterkwaliteitsonderzoek, vertel ik u graag een anekdote. Meer dan een eeuw geleden leefde een Engelse dokter op het plateland die trouwde met een jonge deerne uit de stad. Na 7 jaar overleed deze jonge dame met onbekende doodsoorzaak. De beste dokter hertrouwde weer met een jonge dame uit de stad en ook deze jonge dame overleed na ongeveer 7 jaar. Toeval is logisch, zou Cruyff zeggen. De beste man, *dat wil zeggen de dokter*, trouwde wederom met een stadse dame en ook deze jonge dame overleed na ongeveer 7 jaar met onbekende doodsoorzaak. Dit was maatschappelijk onacceptabel. Men verdacht hem ervan dat hij als dokter over methoden beschikte om deze drie dames te doden zonder dat anderen het tot moord konden herleiden en hij werd ter dood veroordeeld. Vlak voordat het vonnis zou worden voltrokken, werd de werkelijke doodsoorzaak achterhaald. De drie dames waren overleden aan arseenvergiftiging door het drinken van arseenrijk grondwater. De lokale bevolking had zich fysiologisch aangepast aan het arseenrijke grondwater maar deze importbruiden waren dat niet. Helaas kan ik u de bronvermelding van deze anekdote niet geven. Desalniettemin vind ik het behalve een gemakkelijke verhaal geen onmogelijk verhaal want dit geval van vergiftiging door het drinken van arseenhoudend grondwater staat niet op zichzelf helaas.

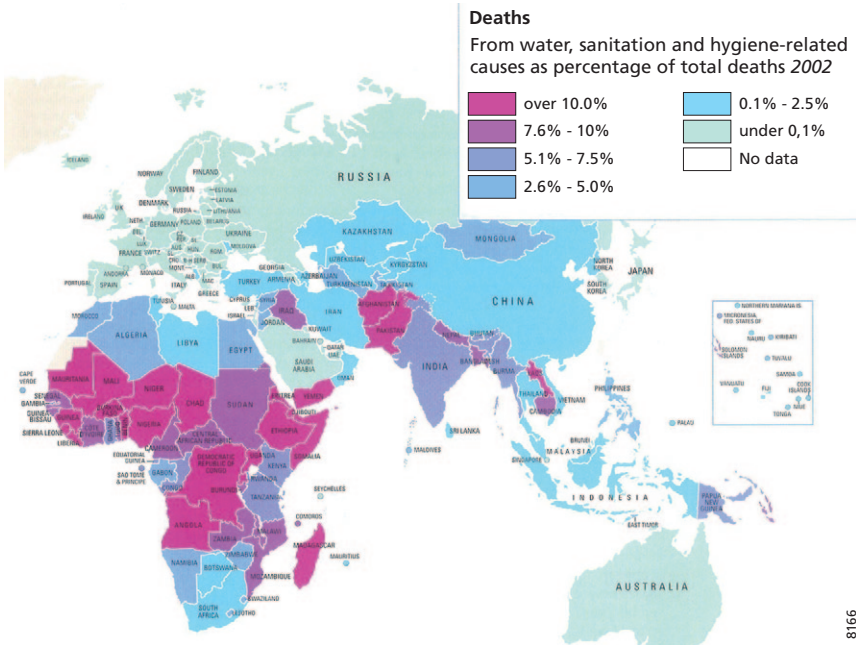
Waarschijnlijk de grootste milieugeochemische ramp in de wereld is dat meer dan 100 miljoen mensen in Bangladesh, West-Bengalen in India en andere delen van Zuid-Oost Azië blootgesteld staan aan hoge arseenconcentraties door het drinken van arseenrijk grondwater. De kaart geeft de probleemgebieden aan. Het onderwerp van arseenrijk grondwater is hiermee een belangrijk onderzoeks- onderwerp in de milieugeochemie. Het is opvallend hoe weinig Nederland bijdraagt aan dit onderzoek, terwijl er een grote analogie is tussen de Nederlandse delta en de delta van Bangladesh en West-Bengalen. In de afgelopen jaren heb ik op congressen en in de literatuur vele onderzoeken voorbij zien komen over dit onderwerp. Het is mijn overtuiging dat de Nederlandse geowetenschappelijke onderzoeksgemeenschap een wezenlijke bijdrage aan dit onderwerp zou kunnen leveren. Geen delta is hydrogeologisch en geologisch zo goed bestudeerd als de Nederlandse delta. Wat is logischer dan een kennistransfer van Nederland naar Bangladesh, Vietnam of andere delen van Zuidoost-Azië? Helaas wordt het uitvoeren van *toegepast* onderzoek op dit onderwerp bemoeilijkt door geringe mogelijkheden bij onderzoekssubsidieprogramma's, zoals ik zometeen nader zal toelichten. Voor meer academisch onderzoek ligt dat mogelijk wat makkelijker

en ik hoop dan ook in staat te zijn om een project hierover van de grond te tillen. Interessante onderzoeksonderwerpen zijn te identificeren rondom duurzame drinkwatervoorziening voor in het bijzonder de rurale bevolking in deze gebieden.

### **Water en Rampen**

Het regeerakkoord van Rutte bevatte één lichtpuntje. En wel de intentie om bij te dragen aan het halen van de zogenaamde Millennium Development Goals, ofwel acht nobele doelstellingen van de Verenigde Naties om de armsten der wereld van hun beroerde lot te ontlasten. Deze doelstellingen zijn gesteld in 2000 en zouden gehaald moeten zijn in 2015. Het kabinet verbindt deze doelstelling aan een accent op 'Water' in de ontwikkelingssamenwerkingsprojecten van DG Internationale Samenwerking. Dat is mooi en nuttig riepen wij als hydrologen natuurlijk in koor! Het gaat hierbij vooral om MDG doelstelling 7C, ofwel het aantal mensen dat geen duurzame toegang heeft tot schoon drinkwater en sanitaire voorzieningen is in 2015 gehalveerd ten opzichte van 1990. Overigens was in 2010, voordat het kabinet aantrad, al de verwachting dat de eerste subdoelstelling gehaald zou gaan worden in 2015. De tweede subdoelstelling zal echter niet gehaald gaan worden en toegang tot veilig drinkwater en sanitaire voorzieningen blijft een knelpunt. De kaart (figuur 13) geeft de grootste probleemlanden aan. Een speerpunt voor DG Internationale Samenwerking is WASH, ofwel Water, Sanitation and Hygiene. U moet weten dat er jaarlijks mondiaal 1 miljard gevallen zijn van diarree, wat een watergedragen ziekte is, en 2 miljoen mensen overlijden aan diarree, waarvan ca. 1,5 miljoen kinderen onder de 5 jaar. Daarmee is diarree één van de belangrijkste doodsoorzaken ter wereld.

Graag wil ik deze getallen in het perspectief plaatsen van slachtoffers bij natuurrampen. Op het scherm ziet u een krantenbericht van het NRC van 31 december 2010. Het geeft een overzicht van de grote natuurrampen in 2010 en de aantallen slachtoffers die erdoor veroorzaakt werden. De grootste ramp was de aardbeving op Haïti met ruim 220 duizend slachtoffers. Dit bevestigt het algemene inzicht dat aardbevingen in termen van slachtoffers de grootste natuurrampen kunnen veroorzaken. Opvallende tweede is niet de overstroming in Pakistan maar de droogte in Rusland. Hydrologisch een zeer interessante waarneming, wanneer we denken aan het effect van klimaatverandering op de hydrologie. Ik wil de ernst van de aardbevingsramp in Haïti niet bagatelliseren. Wel wil ik hier benadrukken dat het jaarlijkse aantal slachtoffers door iets banaals als diarree nog



8166

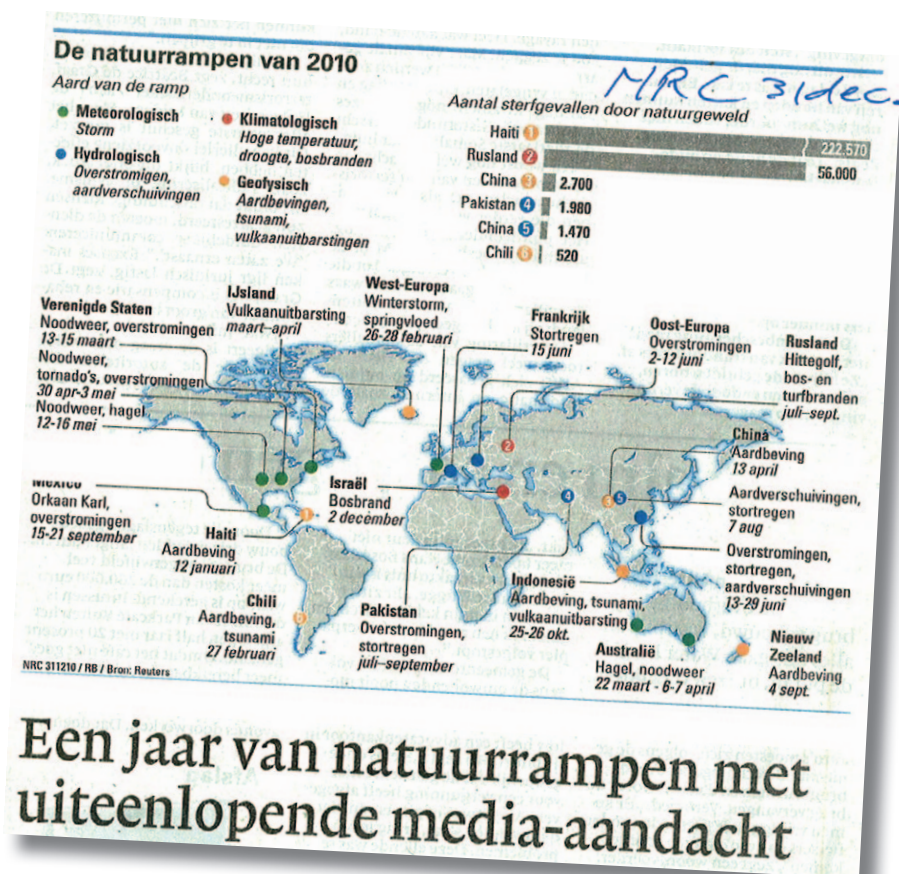
Figuur 13. Deel van de wereldkaart met per land het percentage mensen dat overlijdt door een doodsoorzaak gerelateerd aan waterhygiëne, zoals diarree (afkomstig van Black & King, 2009).

altijd tien keer groter is dan het aantal slachtoffers bij een grote natuurramp zoals die gelukkig niet elk jaar voorkomt.

### Water en Ontwikkelingssamenwerking

In dit licht is het verbazingwekkend dat Deltares door de rijksoverheid wordt aangespoord om meer te investeren op kennisontwikkeling rondom waterveiligheid en minder op waterkwaliteit. Prins Willem-Alexander zou dat niet zo stellen, vermoed ik. De prins is zijn carrière in het watermanagement begonnen op het gebied van waterveiligheid en heeft zijn aandacht inmiddels verbreed naar waterkwaliteit en sanificatie. Een zeer nuttige en terechte verbreding. Hij is momenteel voorzitter van een onafhankelijke VN-adviescommissie op het gebied





# Een jaar van natuurrampen met uiteenlopende media-aandacht

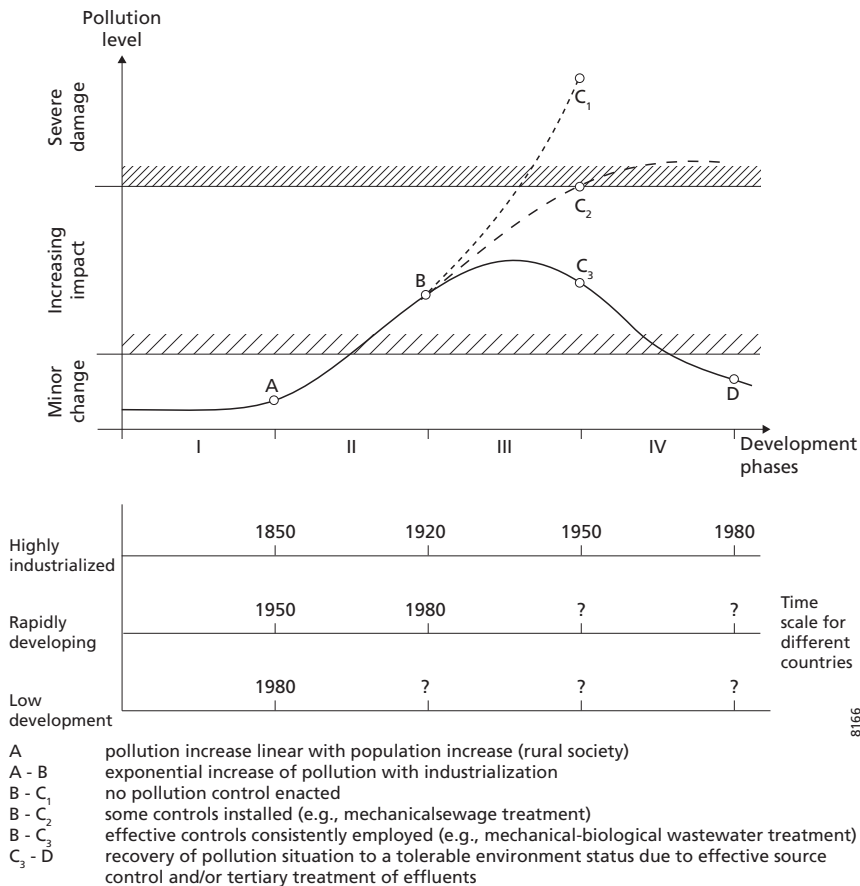
Figuur 14. Krantenartikel in het NRC van 31 december 2010 over natuurrampen in 2010.

van water en sanitaire voorzieningen. Het kabinet en de ministeries kunnen nog veel leren van onze kroonprins. Als overtuigd republikein, durf ik best te beweren dat er juist meer invloed naar de koninklijke familie zou moeten gaan als het gaat om de invulling van het watergerelateerde onderzoek in Nederland. We hebben meer *aqua regia* nodig. Bij deze doe ik een oproep dat DG Internationale Samenwerking betrokken wordt bij de programmering van het strategisch onder-

zoek van Deltares. Ik vind dat de vraaggestuurde programmering van Deltares en het DGIS-beleid ten aanzien van water nu niet goed op elkaar zijn aangesloten. Het wringt des te meer gelet op de accenten die gezet worden in de Topsector Water. Binnen de Topsector Water worden de accenten niet op waterkwaliteit gezet maar op waterveiligheid en vooral waterbouw. De romantiek van de 19<sup>de</sup> eeuw, toen we nog droogmakerijen aanlegden zoals de Haarlemmermeer, wordt hierbij gekoesterd. In het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw hebben we in de Westerse wereld mogen leren dat de gezondheid van de mens het meest vooruit is gesprongen door centrale drinkwatervoorziening en de aanleg van riolering. Daar kunnen geen medicijnen tegen op. Anno 2012 is de weinig romantische werkelijkheid dat waterkwaliteitsproblemen enorm omvangrijk zijn. Wanneer we de romantiek van Hans Brinker laten voor wat hij is, dan moeten we nuchter vaststellen dat waterkwaliteit onderdeel zou moeten zijn van alles wat Nederland aan kennis en kunde wil exporteren ten aanzien van waterbeheer. Deltares zou in mijn ogen daarom op dit terrein ook een meer pro-actieve en agenderende rol kunnen – en moeten! – spelen.

We hebben als Nederland een uitstekende drinkwater- en waterzuiveringsector en de waterkwaliteitsproblemen zijn mondiaal wijd verbreid, zoals ik voor nutriënten, arseen en diarree heb laten zien. Met de kennis die we in Nederland hebben, kunnen we uitstekend technische assistentie leveren aan landen zoals Vietnam, Indonesië en Bangladesh. Dit valt goed te illustreren aan de hand van de grafiek (figuur 15). De grafiek geeft het typische tijdsverloop weer van waterkwaliteitsproblemen. De ernst van verontreiniging groeit tot het onacceptabel wordt gevonden en dan worden preventieve of mitigerende maatregelen genomen waarmee de verontreiniging beheersbaar zou moeten raken. Het interessante van deze figuur is dat deze universeel toepasbaar is voor allerlei verontreinigende stoffen en allerlei gebieden. In geval van nitraat zitten we in Nederland bij punt C3. In geval van fosfaat zitten we echter bij C2. Voor geneesmiddelen en hormoonactieve stoffen zitten we in Nederland weer tussen A en B. Landen als Vietnam zitten typisch tussen B en C1. Ik pleit daarom bij dezen voor meer aandacht voor waterkwaliteit binnen alles wat de Topsector Water aangaat. Onze kroonpins zal er blij mee zijn en met hem vele anderen in de wereld.

Bijbehorende vraag is ook welk academisch onderzoek nodig is om duurzaam waterbeheer in ontwikkelingslanden mogelijk te maken? Met enig cynisme valt te stellen dat duurzaam waterbeheer in ontwikkelingslanden niet zo zeer



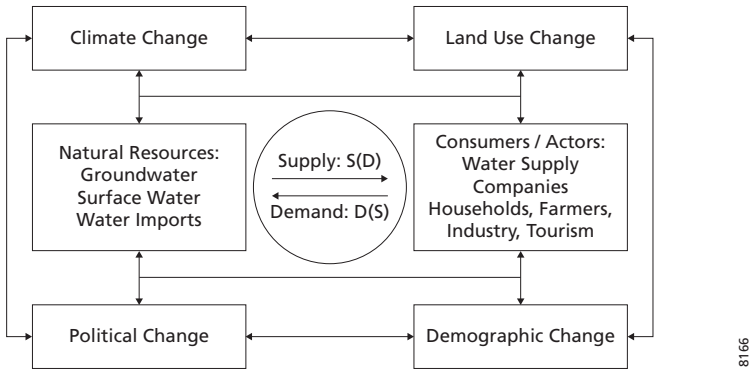
9168

Figuur 15. *Typisch tijdsverloop van waterverontreinigingen en ingrepen tot herstel van de toestand (afkomstig van Meybeck et al., 1989).*

gehinderd is door een gebrek aan kennis maar door te veel aan corruptie, zwakke overheid en wat dies meer zij. De oplossing is dan in ieder geval onderwijs en training. Dat zijn aspecten waar de Universiteit Utrecht en kennisinstituten

als Deltares en TNO zich ook op kunnen richten. Ik ben van mening dat het Watermondiaal programma van DG Internationale Samenwerking geflankeerd zou moeten zijn door een door STW en NWO gefinancierd onderzoeksprogramma rondom duurzaam waterbeheer. Dit zou ook moeten gebeuren voor de andere thema's waarvoor het ministerie zich sterk maakt zoals 'voedselzekerheid', wat niet toevallig ook een topsectorthema is.

Ik ben er ook van overtuigd dat er uitstekend academisch en toegepast onderzoek te verrichten valt in het kader van duurzaam waterbeheer in ontwikkelingslanden. Dit geldt ongetwijfeld voor de gamma en juridische aspecten van het waterbeheer, waar ik verder niet bij wil stilstaan aangezien dat niet mijn specialisme is. Als Technische Commissie Bodem spreken we geregeld van 'the tragedy of the commons'. Dit paradigma beschrijft hoe individuele vrijheid bij gemeenschappelijk gebruik van goederen of grondstoffen leidt tot onderbenutting of overexploitatie van die goederen of grondstoffen. Dat houdt in dat bij het gebruik van bijvoorbeeld grondwater of de ondergrondse ruimte het verdelingsvraagstuk altijd suboptimaal wordt opgelost als dit overgelaten wordt aan private partijen. Voorbeelden zijn makkelijk te vinden zoals de overexploitatie van grondwater in landen als Yemen en Bangladesh maar ook de onderbenutting van grondwater voor warmte/koude-opslag in Nederland. Sturing vanuit de overheid is nodig om de huidige maatschappelijke belangen af te wegen tegenover de draagkracht



Figuur 16. Watervoorziening en -voorraden in de context van global change (afkomstig van Barthel et al., 2008).

van het natuurlijk systeem en de verdeling van de baten van ditzelfde grondwater. Het is een uitdagend, breed onderzoeksonderwerp waarbij een interdisciplinaire benadering noodzakelijk is. Eén van de aspecten is het zogenaamde governance aspect, waarop de groep Milieumaatschappijwetenschappen van de UU veel onderzoek verricht.

Dit alles dient geplaatst te worden in de context van ‘global change’ en niet alleen ‘climate change’. In de laatste jaren is veel onderzoek gestimuleerd op het onderwerp ‘klimaat en water’. Dat is gerechtvaardigd als het gaat om de hydro-meteorologie. Meer algemeen is dit een te nauwe invalshoek zoals geïllustreerd in figuur 16. Wanneer de mondiale ontwikkelingen in onder andere demografie, urbanisatie, watergebruik en landbouw beschouwd worden dan kan de conclusie niet anders zijn dan dat water en waterbeheer in relatie tot ‘global change’ beschouwd moeten worden en niet alleen ‘climate change’. Dit geldt niet alleen voor Nederland maar des te meer voor China, Australië, Afrika of Zuid-Oost Azië. Climate change is een exponent van global change en staat niet op zichzelf.

### **Bron – pad – bronwater**

Er zijn ook relevante natuurwetenschappelijke onderzoeksonderwerpen op zich binnen het kader van waterkwaliteitsbeheer in ontwikkelingslanden. Ik wil hiertoe één hydrogeologisch onderwerp uitlichten. Mijn oud-collega Jan Willem Foppen heeft zich in de afgelopen tien jaar bij UNESCO-IHE gespecialiseerd op transport van bacteriën en virussen in de ondergrond. Eén van de slimme benaderingen die hij en zijn collega's hebben gemaakt is om niet te kijken naar welke ziekteverwekkende bacteriën er in het grondwater belanden vanaf de verontreinigingsbronnen maar aan het einde van de grondwaterstroombanen bij bronnen te kijken welke ziekteverwekkende bacteriën daar voorkomen. Het is immers ook slimmer om op het vliegveld van Reykjavik te kijken welke Nederlandse toeristen naar IJsland op vakantie gaan dan op de Dam in Amsterdam te gaan kijken. De ondergrond werkt als een filtratiemedium voor bacteriën en hiermee wordt inzicht gecreëerd welke bacteriën het meest mobiel en persistent zijn. Het onderzoek dat gedaan is naar bacterietransport in grondwater heeft vooral op kleine schaal plaats gevonden. Ik ben van mening dat inmiddels de inzichten ook opgeschaald kunnen worden naar lokale tot regionale schaal voor de gegevensarme gebieden waar de WASH-problematiek het grootst is. Zo'n risicobenadering voor bacteriële infectie van grondwatersystemen kan analogiën vertonen met het typologisch onderzoek zoals ik dat voorstel voor nutriëntentransport. Dit

onderwerp is des te belangrijker omdat er steeds meer waterstress zal ontstaan in snel opkomende economiën zoals Ghana, Indonesië, etc. Hergebruik van water en het koppelen van het watersysteem aan de waterketen zijn dan nodig om duurzaam waterbeheer mogelijk te maken.

### **Tenslotte**

Dames en heren, zoet water verhoudt zich tot zout water, als diamant tot steenkool. De moleculaire samenstelling is hetzelfde maar de waarde verschilt totaal. Marilyn Monroe koos voor diamant. Ik blijf me richten op zoet water. Hiermee sluit ik mijn inhoudelijke betoog af.

### **Dankwoord**

Ik eindig met het bedanken van enige personen en instituties. In de eerste plaats wil ik in eerste instantie TNO en vervolgens Deltares bedanken voor hun geloof in mij als professorabel medewerker en de bereidwilligheid om een leerstoel te ondersteunen aan de Universiteit Utrecht. De betrokken managers, maar liefst 7 in aantal, bedank ik voor hun inzet. Met dit aantal moet u maar bepalen of de benoeming zo lang geduurd heeft of dat TNO en Deltares zo vaak van manager wisselen.

Net als chemische reacties, kan er bij een carrière sprake zijn van katalysatoren en inhibitoren, mensen die een carrière versnellen of vertragen. Graag wil ik de hoogleraren Cees van der Weijden, Cees van den Akker en Peter de Ruitert hartelijk danken voor welke talenten zij in mij gezien hebben, waarmee ze mijn academische ontplooiing zeer bevorderd hebben. De inhibitoren laat ik graag voor wie ze zijn. Martin Wassen bedank ik voor zijn ontspannen openheid waarmee hij mij heeft ontvangen binnen zijn onderzoeksgroep Milieunatuurwetenschappen en het departement Innovatie-, Milieu- en Energiewetenschappen.

De voormalige promovendi Boris van Breukelen, Niels Hartog, Hans-Peter Broers, Cors van den Brink, Victor Beumer en Arnaut van Loon wil ik hartelijk danken voor de constructieve samenwerking bij hun promotie-onderzoek wat ook veel academische baten voor mij heeft opgeleverd. Mijn H-index is mede jullie resultaat. Daarnaast was het ook een plezier om jullie co-promotor te zijn en ik hoop soortgelijke werkzaamheden in de nabije toekomst volop te kunnen uitvoeren. In ruim twintig jaar heb ik bijzonder plezierig mogen werken met vele collega's bij TNO, Deltares, Universiteit Utrecht en daarbuiten.

Ik wil graag twee bijzondere collega's bij naam bedanken voor hun prettige samenwerking. In de eerste plaats Roelof Stuurman. Als angry-not-so-young-man-anymore bewonder ik je voortdurende scherpte en je onconventionele werkhouding, die veel deskundigheid en creativiteit bevat. In architectuurtermen ben je een exponent van het deconstructivisme: bont, spraakmakend, en onderhoudsgevoelig. Ik wijs er wel graag op dat ook dat een bouwstijl is. Ten tweede Bas van der Grift. Ik ken niemand met wie een half woord zo vaak genoeg is om elkaar over en weer te begrijpen als met jou. Dat maakt het samenwerken tot een groot genoegen. Als eigenaar van een Ford Focus hoor je volgens Topgear tot het leger der fantadrinkers. Jouw nuchterheid gaat samen met een ongelooflijk grote intuïtie in het vak der geochemie, die ik zeer bewonder. Opvallende overeenkomst tussen jullie is dat jullie beiden niet gepromoveerd zijn. Bas heeft in het afgelopen half jaar het besluit genomen om te willen gaan promoveren op het onderwerp 'Hydrologische en biogeochemische controles op fosfaatretentie in beken en sloten in het Rijn-Maas deltasysteem', dat ik mede zal gaan begeleiden. Beste Roelof, graag stel ik mijn diensten als promotor ook aan jou beschikbaar. Tenslotte prijs ik me gelukkig dat mijn beide ouders hier aanwezig zijn.

Meneer de rector, ik heb gezegd.

## Aangehaalde literatuur

- Barthel, R., Janisch, S., Schwarz, N., Trifkovic, A., Nickel, D., Schulz, C., Mauser, W. (2008). An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Env. Model. Software* (23), 1095–1121.
- Black, M. & King, J. (2009). *The Atlas of Water. Mapping the world's most critical resource*. Earthscan, 2<sup>nd</sup> ed., 128 pp.
- Dellwig, O., Watermann, F., Brumsack, H.-J., Gerdes, G. & Krumbein, W.E. (2001). Sulphur and iron geochemistry of Holocene coastal peats (NW Germany): a tool for palaeoenvironmental reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (167), 359–379.
- Doriz, J.M., Cassell, E.A., Orand, A. & Eisenman, K.G. (1998). Phosphorus storage, transport and export dynamics in the Foron River watershed. *Hydro. Proc.* (12), 285–309.
- Fendorf, S., Michael, H.A. & Van Geen, A. (2010). Spatial and temporal variations of groundwater arsenic in South and Southeast Asia. *Science* (328), 1123–1127. doi: 10.1126/science.1172974
- Griffioen, J., Brunt, R., Vasak, S. & Van der Gun, J. (2005). A global inventory of groundwater quality: First results. In 'Bringing groundwater quality research to the watershed scale', ed. N.R. Thomson. Int. Assoc. Hydrol. Sci., public. no. 297, pp. 3–10.
- Heiberg, L., Koch, C.B., Kjaergaard, C., Jensen, H.S. & Hansen, H.C.B. (2012). Vivianite precipitation and phosphate sorption following iron reduction in anoxic soils. *J. Env. Qual.*, doi:10.2134/jeq2011.0067.
- Hyacinthe, C. & van Cappellen, P. (2004). An authigenic iron phosphate in estuarine sediments: composition, formation and chemical reactivity. *Marine Chem.* (91), 227–251. doi: 10.1016/j.marchem.2004.04.006.
- Jarvie, H.P., Neal, C., Rowland, A.P., Neal, M., Morris, P.N., Lead, J.R., Lawlor, A.J., Woods, C., Vincent, C., Guyatt, H. & Hockenhull, K. (2012). Role of riverine colloids in macronutrient and metal partitioning and transport, along an upland-lowland land-use continuum, under low-flow conditions. *Sci. Total Env.*, in press. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.11.061.
- Laman, J.D. (2006). *Immuun etiquette: Omgang met vorm in context*. Inaugurele rede, Erasmus universiteit, 39 pp.



- LEI/CBS (2010). Land- en tuinbouwcijfers. Landbouw Economisch Instituut & Centraal Bureau voor de Statistiek, LEI-rapport 2010-068.
- Liu, J., Liang, X., Yang, J., Ye, Y., Su, M., Nie, Z. & Chen, Y. (2011). Size distribution and composition of phosphorus in the East Tiao River, China: the significant role of colloids. *J. Env. Monit.* (13), 2844-2850. doi: 10.1039/C1EM10482A.
- Lutterodt, G. (2012). Transport of multiple *Escherichia Coli* strains in saturated porous media. Ph.D, Delft University of Technology/UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 139 pp.
- Meybeck, M., Chapman, D.V. & Helmer, R. (1989). Global freshwater quality. A first assessment. WHO/UNEP/Blackwell reference.
- Montgomery, M.A. & Elimelech, M. (2007). Water and sanitation in developing countries: putting health in the equation. *Env. Sci. Technol.* (January 1). doi: 10.1021/es072435t.
- PBL (2011a). Welke veestapel past in Nederland. Inbreng voor de maatschappelijke discussie over begrenzing en sturing van de omvang van de veestapel. Planbureau voor de leefomgeving, Den Haag, 33 pp.
- PBL (2011b). The protein puzzle. The consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union. BBL Netherlands Environmental Agency, publ. numer 500166001, 218 pp.
- Sear, D.A., Armitage, P.D. & Dawson, F.H. (1999). Groundwater dominated rivers. *Hydrol. Proc.* (13), 255-276.
- United Nations (2010). The Millennium Development Goals report 2010. United Nations, New York.
- Van Bemmelen, J.M. (1896). Over de samenstelling, het voorkomen en de vorming van Sideroze (witte klier) en van vivianiet in de onderste darglaag der hoogveenen. *Verhand. Kon. Akad. v. Wetensch.* (1<sup>e</sup> sectie), DL (III), 3-16.
- Van Eck, G.T.M. (1982). Forms of phosphorus in particulate matter from the Hollands Diep/Haringvliet, the Netherlands. *Hydrobiol.* (92), 665-681.
- Wendland, F., Blum, A., Coetsiers, M., Gorova, R., Griffioen, J., Grima, J., Hinsby, K., Kunkel, R., Marandi, A., Melo, T., Panagopoulos, A., Pauwels, H., Ruisi, M., Traversa, P., Vermooten, J.S.A. & Walraevens, K. (2008). European aquifer typology: A practical framework for an overview about major groundwater composition at European scale. *Env. Geology* (55), 77-85. DOI 10.1007/s00254-007-0966-5

Winkel, L., Beerg, M., Amini, M., Hug, S.J. & Johnson, C.A. (2008). Predicting groundwater arsenic contamination in Southeast Asia from surface parameters. *Nature Geosciences* (1), 536–542. doi: 10.1038/ngeo254.

## Geraadpleegde websites (in mei 2012)

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Kruidenier>

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/selection/default.aspx?VW=T&DM=SLNL&PA=80807NED&D1=a&D2=o&D3=o&D4=a&HDR=G1,G2,G3&STB=T?LA=NL>

[http://water.usgs.gov/nawqa/sparrow/gulf\\_findings/primary\\_sources.html](http://water.usgs.gov/nawqa/sparrow/gulf_findings/primary_sources.html)

<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0252-Fysisch-chemische-waterkwaliteit.html?i=25-107>

<http://www.denederlandsegrondwet.nl/9353000/1/j9vvihlf299qosr/vioy5fu2vwzq?ctx=vh92jxmyjxhr>

<http://www.lei.wur.nl/NL/statistieken/Binternet/>

<http://www.vegetariers.nl/vegetarisme/dierenrechten/aantal-gegeten-dieren>

<http://www.wakkerdier.nl/vee-industrie/schape>

<http://www.wri.org/map/world-hypoxic-and-eutrophic-coastal-areas>



