

Tussen chemofobie en technocratie: milieukunde wordt volwassen

INAUGURELE REDE DOOR DR. IR. A.J. HENDRIKS

TUSSEN CHEMOFOBIE EN TECHNOCRATIE: MILIEUKUNDE WORDT VOLWASSEN

**Tussen chemofobie en technocratie:
milieukunde wordt volwassen**

3

Rede (in verkorte vorm) uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Milieukunde aan de Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de Radboud Universiteit Nijmegen, op 4 maart 2005

door dr. ir. A.J. Hendriks

*Mijnheer de rector magnificus,
 geachte dames en heren, jongens en meisjes,*

Veiligheid is een belangrijk thema in onze samenleving, of het nu gaat om voedsel, verkeer of openbaar leven. Vanmiddag ga ik in op de risico's die de aantasting van ons milieu met zich meebrengt. Daarbij volg ik een indeling die in de wetenschap gebruikelijk is. In de inleiding illustreer ik ontwikkelingen van de milieuproblematiek aan de hand van een aantal voorbeelden. Daarna behandel ik enkele methoden die wij in ons vakgebied hanteren. Bij de resultaten vermeld ik een aantal karakteristieke uitkomsten en in de discussie ga ik in op de samenwerking tussen betrokkenen. Tenslotte concludeer ik aan de hand van deze voorbeelden of de milieukunde inmiddels volwassen is en of chemofobie (onberedeneerde angst voor chemicaliën) dan wel technocratie (grenzeloos vertrouwen in traditionele technologische oplossingen) gerechtvaardigd is.

INLEIDING

Vraagstukken: wereldwijd en slepend

Vanaf het begin van onze jaartelling heeft de mensheid te maken met milieuproblemen. Onder Romeinen is vergiftiging door lood uit waterleidingen en drinkgerei een algemeen verschijnsel (Hernberg 2000). Sommigen denken zelfs dat dit uiteindelijk de val van het imperium heeft veroorzaakt (Nriagu 1983). Eveneens klassiek is de smog die in Londen door de eeuwen heen veel sterfte veroorzaakt, met een piek van duizenden slachtoffers in 1952. Toch hebben milieuproblemen tot het midden van de vorige eeuw vooral een lokaal en tijdelijk karakter.

Dat verandert dramatisch in de periode daarna. In 1962 publiceert Rachel Carson het boek *Silent Spring* (Carson 1962). Haar aanklacht tegen ongewenste neveneffecten van bestrijdingsmiddelen in de landbouw wordt algemeen beschouwd als de start van het wetenschappelijke milieubesef (UNEP 2002). Tien jaar later brengt de 'Club van Rome' het rapport *Limits to Growth* uit (Meadows et al. 1972). Deze groep van zelfbenoemde deskundigen stelt vast dat de aarde onvoldoende voedsel en brandstof kan voortbrengen om de groeiende bevolking te onderhouden. Vlak daarna komen in Afrika miljoenen mensen om van de honger. Tegelijkertijd kampen Europa en Amerika met een oliecrisis. In het begin van de jaren tachtig verschijnen er alarmerende berichten over verzuring van meren en bossen. De kaalslag in enkele sterk vervuilde gebieden in Midden-Europa wordt gezien als de voorbode van 'das Große Waldsterben' (Ulrich 1980). Rond 1990 komt de opwarming van de aarde door verbranding van fossiele brandstoffen in beeld (IPCC 1990). Daarmee worden de schaal en de tijd waarop milieuvraagstukken spelen verder vergroot. Als de ergste doemscenario's uitblijven, krijgt de tegenbeweging meer aanhang. Hun kritiek wordt verwoord in *The Sceptical Environmentalist* (Lomborg 2001). Optimisten menen dat de problemen zijn overschat. Pessimisten stellen daarentegen dat hun waarschuwingen hebben geleid tot de juiste maatregelen.

De ontwikkeling van de milieukunde laat zich vergelijken met de verschillende levensstadia van een mens. Bij de start is zij als een kind dat zijn omgeving ‘ontdekt’, zich grotendeels onbewust van gevaar. In de puberteit zet zij zich af tegen de gevestigde orde die het belang van het milieuvraagstuk bagatelliseert. Daarna volgt de verdieping van kennis die nodig is om het probleem op waarde te schatten, vergelijkbaar met een student die zichzelf een vakgebied eigen maakt. Inmiddels nemen milieukundigen deel aan de maatschappij, zoals jonge medewerkers in een organisatie: ze zijn aanwezig maar ze moeten zich wel laten horen. De komende periode zal blijken of de milieukunde ook als autoriteit verinnerlijkt in de maatschappij, waarbij haar bijdrage in de besluitvorming als vanzelfsprekend wordt beschouwd.

Problemen: plaatselijk en urgent

Het milieuvraagstuk is niet alleen mondiaal en abstract. Velen hebben te maken met concrete problemen op lokaal niveau. Zelf word ik geboren in het jaar waarin *Silent Spring* verschijnt. In mijn jeugd woon ik in de Arnhemse volksbuurt ‘t Broek. Af en toe zijn de straten wit, ook in de zomer. De wijk grenst aan een terrein met chemische bedrijven, waaronder de Hollandse Metallurgische Industrie Billiton. De witte neerslag in de wijk is lood-oxide, afkomstig uit de smeltovens van dit bedrijf. De effecten worden uitgebreid onderzocht in wat internationaal bekend wordt als ‘the Arnhem Lead Study’ (Brunekreef et al. 1981). Daaruit blijkt dat het loodgehalte in het bloed van kinderen hoger is naarmate ze dichterbij het bedrijf wonen. Binnen een straal van zeshonderd meter wordt de EU-richtlijn overschreden. In die tijd heeft één van mijn broers bloedarmoede en hebben we alledrie regelmatig last van benauwdheid. Later blijkt dat we een milde vorm van huisstofallergie hebben ontwikkeld. Of de looduitstoot daarvoor verantwoordelijk is, is achteraf niet vast te stellen. Recent onderzoek geeft aan dat luchtverontreiniging waarschijnlijk allergieën versterkt maar niet veroorzaakt (Brunekreef pers. med.). De verontreiniging blijft niet beperkt tot de ‘droge’ omgeving. Bij Rijkswaterstaat voeren we in de jaren negentig onderzoek uit naar de verontreiniging van waterbodems in rivieren. De Malburgerhaven, waar Billiton al die tijd zijn afvalwater op heeft geloosd, behoort tot de top-tien van ernstig vervuilde locaties in Nederland (Den Besten et al. 2003). In 2005 wordt de haven voor 11 miljoen euro gesaneerd.

Tekort aan voedsel en water komt voor mij dichtbij tijdens een onderzoek naar overbegrazing in de Sahel in 1984. Aan het eind van de droge periode hangt in de hele omgeving van het dorp waarin we wonen de lucht van gestorven vee. Het arme deel van de bevolking eet vanwege gebrek aan voedsel dan nog maar één keer per twee dagen. De catastrofe van de jaren daarvoor heeft gezorgd voor voldoende hulpgoederen en massale sterfte onder bevolking blijft gelukkig uit. Ons onderzoek laat zien dat de veebezetting in het studiegebied drie keer zo hoog is als de beschikbare vegetatie toelaat (De Bie et al. 1987). De oorzaak ligt in een complex van factoren. Belangrijk is de uit-

putting van gemeenschappelijke gronden door het ontbreken van een collectief beheer. Dit verschijnsel, ook wel de ‘tragedy of the commons’ genoemd, is ook een belangrijke oorzaak voor de eerder genoemde milieuproblemen (Harding 1968).

Als ik terug ben in Nederland, staan de grote rivieren centraal. De Rijn, al jaren een open riool, krijgt in de jaren tachtig een aantal giframpen te verwerken. De grootste is een brand bij het Zwitserse bedrijf Sandoz in 1986. Door de omvang van de ecologische schade belandt ze in de top-tien van chemische rampen aller tijden, samen met de ontploffing van de kernreactor in Tjernobyl in hetzelfde jaar (UNEP 2002). De aandacht voor catastrofes heeft ook positieve gevolgen. Door de belangstelling treedt het Rijn Actie Programma in werking onder het motto ‘De zalm terug in Rijn’. De waterkwaliteit verbetert daarna aanmerkelijk. Ook persoonlijk heb ik er baat bij. Collega-hoogleraar Toine Smits en ikzelf hebben onze aanstelling bij Rijkswaterstaat-RIZA aan de Sandoz-brand te danken.

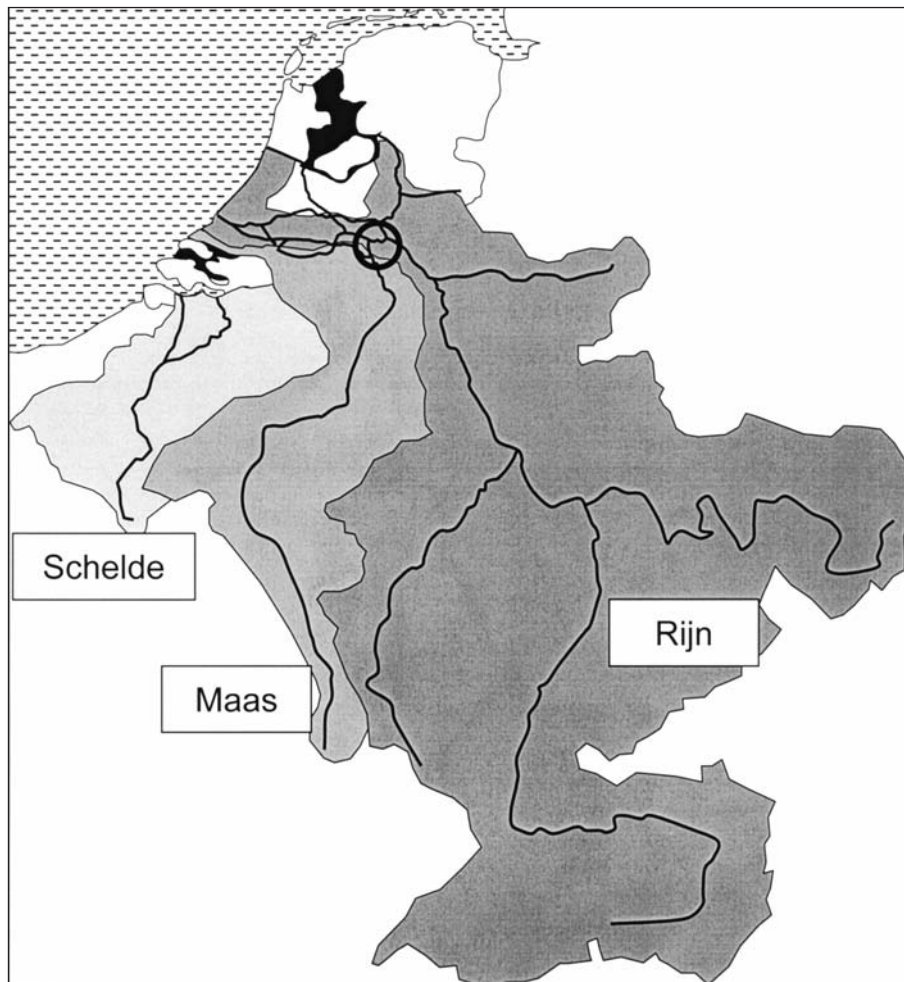
In de jaren negentig leiden enkele hoogwaters in de rivieren bijna tot grote overstromingen. Plotseling realiseren de bewoners van laag Nederland, waartoe ik zelf ook behoor, zich dat ze niet alleen ‘in het gezicht’ (vanuit de zee) maar ook ‘in de rug’ (vanuit de rivier) aangevallen kunnen worden. Sindsdien zijn er in Nederlandse rivieren geen (bijna-) rampen meer geweest. Twee jaar geleden echter, zorgt een ‘Jahrhundert-Hochwasser’ in de Elbe en Donau voor nog overstromingen van woonwijken en chemische industrieterreinen.

METHODEN

Studiegebied: vinger aan de pols in het stroomgebied

Bovengenoemde problemen illustreren duidelijk de vele gezichten die het milieuvraagstuk kent. In ons *onderwijs* laten we studenten dat in de volle breedte zien. In ons *onderzoek* zoeken we juist de diepgang en concentreren ons op de delta van Rijn, Maas en Schelde, met het Knooppunt Arnhem-Nijmegen als uitvalsbasis (Figuur 1). De kwaliteit en kwantiteit van het water dat Nederland binnenkomt, wordt bepaald door de ontwikkelingen in Duitsland en België. Veranderingen in de landbouw, industrie en bebouwing in de bovenstroomse gebieden zijn in Nederland goed merkbaar. Na passage van het Knooppunt Arnhem-Nijmegen stroomt het water via rivieren, uiterwaarden, polders, meren, kwelders en estuaria uiteindelijk naar de Waddenzee en Noordzee. In droge perioden is het oppervlaktewater in laag Nederland voor meer dan de helft afkomstig van inlaat uit de rivieren. De toestand in het Knooppunt Arnhem-Nijmegen is dus een goede indicator voor de situatie boven- én benedenstrooms, en daarmee voor een groot deel van Noord-West Europa. Net als de gezondheid van een mens wordt afgelezen aan de bloedsomloop in het lichaam, kan de conditie van een regio worden gekarakteriseerd door de waterlopen die het land doorsnijden. De kwantiteit wordt gemeten door op representatieve plekken de polsslagen en de waterhoogte (‘floodpulse’) te meten. De

Figuur 1. Rijn, Maas en Schelde bekken met zoete (zwart) en zoute (gestreept) wateren en het Knooppunt Arnhem-Nijmegen (cirkel).



kwaliteit wordt bepaald door de concentraties van stoffen te bepalen in een watermonster of een vingerprik.

Probleemgebied: herinrichting en verontreiniging bepalen het aanzien van de delta

De afgelopen eeuwen is de delta sterk veranderd. Vroeger ontvingen de rivieren schoon water van het land en voerden dat vrijelijk af naar de zee. Tegenwoordig worden grote delen van het stroomgebied in beslag genomen door intensieve landbouw, zware industrie en dichtbevolkte steden. Deze verontreinigen de delta door lozingen via het oppervlaktewater of uitstoot via de lucht. Het land wordt nu door dijken en dammen beschermd tegen overstromingen vanuit de rivier en de zee. Deze polders ontvangen daardoor geen water en sediment meer en komen lager te liggen dan de rivier en de zee. Voor snelle afvoer of tijdelijke berging van het water is steeds minder ruimte. Om te voorkomen dat bij hevige neerslag of storm laaggelegen polders volstromen wordt het gebied op de schop genomen. De beheerders verleggen dijken naar achteren, diepen beddingen uit, graven nevengeulen en verwijderen obstakels. Bij al dat graven komt veel verontreinigde grond vrij die daar in het verleden is afgezet. Deze kan alleen tegen hoge kosten worden opgeslagen in depots of gestort in zee. De problemen hangen zo sterk samen dat wij de traditionele scheiding tussen verontreiniging en herinrichting, zoals die in onderzoek en beleid wordt gehanteerd, hebben losgelaten. Voor het bundelen van zoet en zout gelden vergelijkbare argumenten (Nienhuis 2003).

Vakgebied: tussen de blauwe, grijze en groene milieukunde

De samenleving staat gesteld voor de vraag wat de gevolgen van herinrichting en verontreiniging zijn voor de planten, dieren en mensen die in het gebied leven. Bij herinrichting verandert de stroming van het water en daarmee de hoogte en samenstelling van de bodem. Bij verontreiniging leidt toename van de emissie tot een hogere concentratie van de betreffende stof. Deze factoren bepalen samen de mogelijkheden voor planten, dieren en mensen om in het gebied te leven. Wij concentreren ons op de relaties tussen de verschillende vakgebieden die traditioneel gekarakteriseerd worden door de kleuren blauw (water, fysica), grijs (industrie, chemie) en groen (landbouw, natuur, biologie). Enerzijds wordt mogelijke schade door herinrichting en verontreiniging geïdentificeerd (probleemgeoriënteerd). Anderzijds worden de oorzaken van de effecten achterhaald en worden alternatieven aangedragen (oplossingsgeoriënteerd).

Instrumenten: de toekomst is aan modellen

Het is onze ambitie om de ontwikkelingen niet alleen achteraf te begrijpen en te verklaren maar om ook te voorspellen. Daartoe maken we gebruik van rekenmodellen en databanken. Met deze instrumenten is het mogelijk om versnipperde informatie uit laboratoriumexperimenten en veldwaarnemingen van verschillende (vak)gebieden te

10

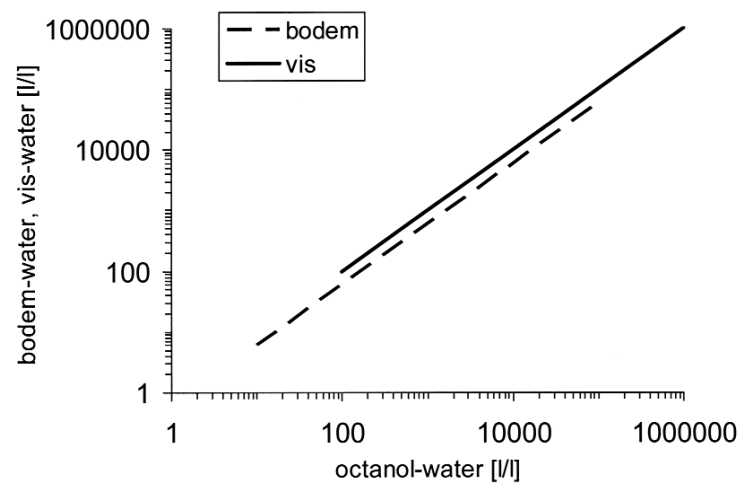
combineren tot een consistent geheel. Op deze wijze kan de kennis over enkele goed onderzochte vormen van herinrichting en verontreiniging worden vertaald naar locaties, periodes, stoffen en soorten die nauwelijks empirisch onderzocht zijn. Deze benadering maakt het ook mogelijk om bedreigingen van zeer uiteenlopende aard toch onderling te vergelijken. De gegevens die nodig zijn om de modellen te voeden, worden systematisch verzameld in databanken. Van veel stoffen en soorten zijn echter weinig data voorhanden. Om toch een schatting te maken, relateren we slecht bekende eigenschappen aan kenmerken die wel gemeten zijn. Hieronder volgen twee voorbeelden voor kenmerken van respectievelijk stoffen en soorten.

Stoffen: de vetzucht van recalcitrante verbindingen

Een belangrijke eigenschap van een stof is de mate waarin het zich verdeelt tussen octanol (een soort alcohol) en water. Als beide oplosmiddelen worden gemengd gaat de octanol na enige tijd boven het water drijven. De opgeloste stoffen verdelen zich over beide oplosmiddelen. Vetoplosbare stoffen gaan vooral naar octanol, water oplosbare stoffen voor naar water. Aan de hand van de structuur van de stof kan zelfs vooraf worden berekend hoe die verdeling zal zijn. De octanol-water verdeling K_{OW} geeft een goede indicatie van de mate waarin het gif bindt aan bodemdeeltjes of ophoopt in organismen (Figuur 2).

De snelheid waarmee stoffen worden uitgewisseld is ook een functie van de octanol-

Figuur 2. Distributie van stoffen over bodem en water en over vis en water versus de verdeling over octanol-water (Karickhoff et al. 1979, Mackay 1982).



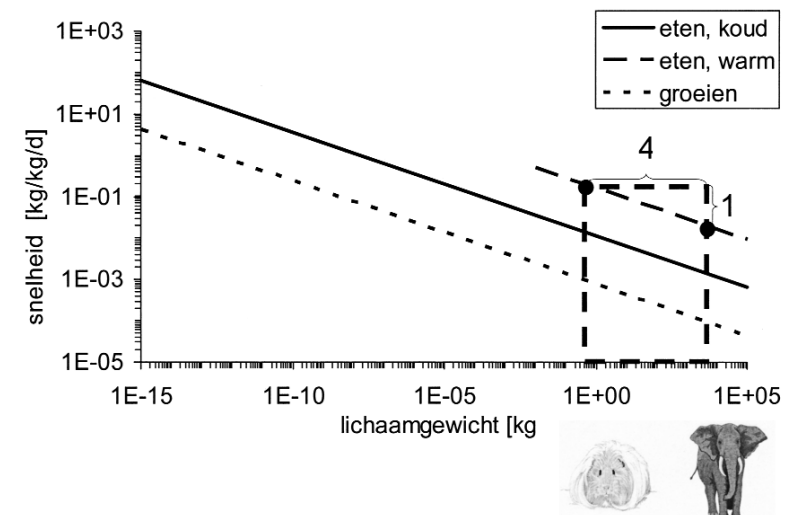
water verdeling K_{ow} omdat de celmembranen die gepasseerd moeten worden eveneens vettig van aard zijn. Zelfs gehalten in niet-vettige componenten als eiwitten, celstof (cellulose) en houtstof (lignine) kunnen redelijk geschat worden met deze K_{ow} . De voorspellingen worden minder goed als het gif wordt afgebroken of vanwege een lange inwerktijd sterker bindt aan de bodem. Wij werken op dit moment aan modellen die daar wel rekening mee houden. Als de stoffen afgebroken worden of sterk binden aan de bodem zijn de gehalten in de organismen veel lager (Ten Hulscher et al. 2003). De noodzaak om bodems te saneren wordt aanmerkelijk minder en daarmee kunnen miljoenen bespaard worden. Helaas wordt deze kennis in het beleid nog nauwelijks gebruikt.

11

Soorten: de macht van de grootte

Een dominant kenmerk van planten- en diersoorten waar tot op heden in modellen weinig gebruik van wordt gemaakt is hun gewicht. Al heel lang is bekend dat de hoeveelheid lucht, water en voedsel die planten en dieren verbruiken per kilogram lichaamsgewicht en per dag evenredig is met het gewicht tot de macht $-1/4$. Een olifant van 5000 kg bijvoorbeeld, eet $5000^{3/4}/0.5^{3/4} = 1.000$ keer zoveel als een cavia van 0,5 kg (Hendriks 1999). Per kilogram lichaamsgewicht eet een cavia echter $0.5^{-1/4}/5000^{-1/4} = 10$ keer zo veel als een olifant (Figuur 3). De leeftijd waarop organismen volwassen worden of dood gaan, schaalt met het gewicht tot de macht $+1/4$. Net als veel andere grootheden van tijd,

Figuur 3. De consumptie door koudbloedige (doorgetrokken) en warmbloedige (gestreept) organismen en de productie (gestippeld) uitgedrukt in kg per kg lichaamsgewicht per dag versus hun gewicht (Hendriks 1999).



12

waaronder de periode tussen twee pieken in fluctuerende aantallen van een prooi- en een predatorsoort. Zelfs de dichtheid van populaties en de (minimum)omvang van het verspreidingsgebied zijn gerelateerd aan de grootte van de soort. De interpretatie van de helling was lange tijd onbevredigend. Een exponent van $\frac{1}{3}$ zou eenvoudig verklaard kunnen worden met de oppervlakte-inhoud relatie. Recentelijk echter, heeft een reeks publicaties in toonaangevende tijdschriften aannemelijk gemaakt dat beperkingen in het transport langs cilindrische vatenstelsels in organismen leiden tot $\frac{1}{4}$ (West et al. 1997). Helaas zijn zowel de ontwikkeling als de toepassing van deze kennis grotendeels aan Nederland voorbij gegaan.

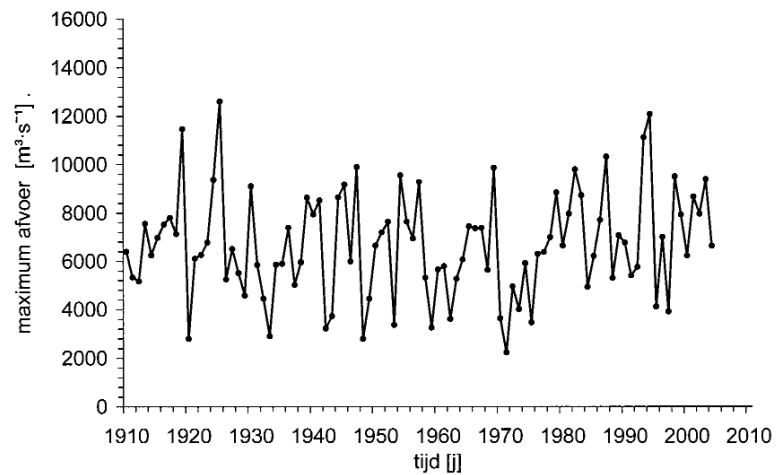
Tot zover een korte beschrijving van de problematiek wij ons op richten en de werkwijze die we hanteren. Hieronder volgen enkele voorbeelden van de behaalde resultaten.

RESULTATEN

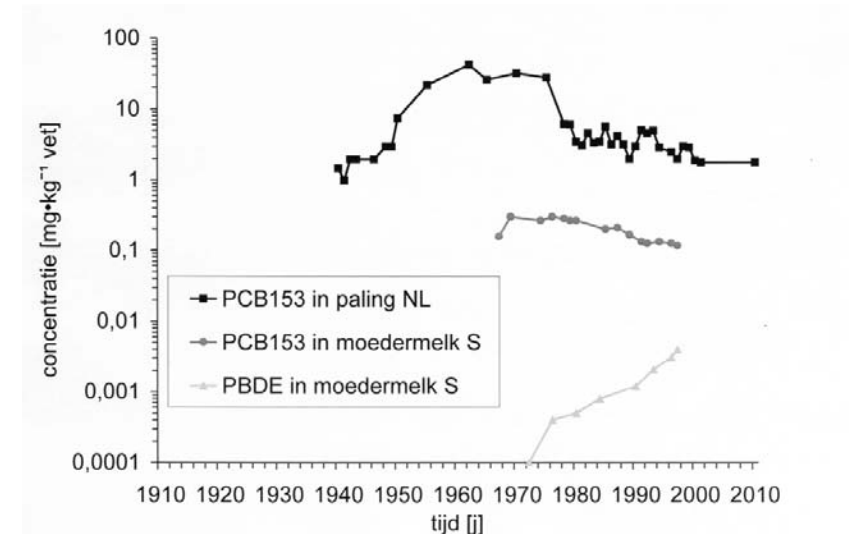
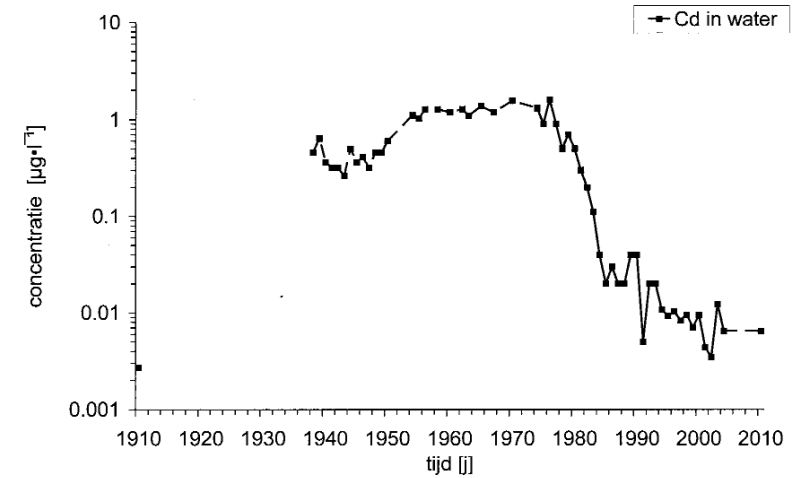
Waterkwantiteit: pieken op de verkeerde momenten

De ruimte die de rivier nodig heeft, wordt bepaald aan de hand van de jaarmaxima van de afvoer over de voorafgaande periode. Als er weinig hoge afvoeren zijn, wordt de kans op een extreem hoge waarde met bijbehorende overstroming kleiner. Na enkele hoogwaters in de jaren twintig is de maximumafvoer lange tijd laag gebleven (Figuur 4a).

Figuur 4. a. Maximum afvoer, b. concentratie cadmium in water [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$], c. concentratie PCB153 in paling [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ vet] in de Rijn (Parmet et al. 2002, Hendriks et al. 1997, Hendriks en Pieters 1993, Solomon and Weiss 2002).



13



De recente hoogwaters van 1993 en 1995 hebben echter laten zien dat de waarden uit de jaren twintig minder uitzonderlijk zijn dan tot dan toe aangenomen (Parmet et al. 2002). De afvoer die 1 maal in de 1250 jaar tot overstroming mag leiden wordt nu berekend op $16000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Om zo'n hoog debiet aan te kunnen moet er ruimte gemaakt worden. Daarom gaat het gebied op de schop (Klijn et al. 2001).

In de afgelopen eeuw is de maximumafvoer niet statistisch significant toegenomen (Van de Langemheen, pers. med.). Klimaatmodellen berekenen echter dat de opwarming van de aarde zal leiden tot grote fluctuaties in het neerslagpatroon en mogelijk grotere piekafvoeren. Teneinde overstromingen te voorkomen wordt bij de herinrichting van het rivierengebied daarom rekening gehouden met afname van de ruimte en toename van de afvoer.

Waterkwaliteit cadmium: erfenis uit een recent verleden

De afgelopen eeuw zijn de concentraties van veel prioritaire stoffen in de grote rivieren eerst gestegen en daarna gedaald, met een piek in de jaren zestig en zeventig. Het cadmiumgehalte in de Rijn bij Lobith bijvoorbeeld, was in die periode een factor 100 hoger dan nu (Figuur 4b). De norm, die bescherming biedt aan 95 procent van de planten- en diersoorten, werd tussen 1950 en 1980 ruimschoots overschreden. Watervlooiën die in het laboratorium werden blootgesteld aan rivierwater stierven dan ook acuut. De gemeten concentraties van alleen al cadmium waren hoog genoeg om die sterfte te verklaren maar het is waarschijnlijk ook andere stoffen hebben bijgedragen aan die sterfte (Hendriks et al. 1997). In die tijd waren de rivieren open riolen. Het cadmiumgehalte is inmiddels spectaculair gedaald tot circa een factor 3 boven het natuurlijke achtergrondgehalte. De trends in de overige zoete oppervlaktewateren zijn vergelijkbaar. Momenteel overschrijdt 3 procent van de gemeten cadmiumconcentraties de Nederlandse norm (Beek en Oudendijk 2001). Ongeveer 11 procent van de metingen overschrijdt de Europese concept-norm, die gemiddeld ruim een grootte-orde strenger zijn. Helaas is de situatie voor sediment veel slechter. Grote delen van de delta zijn nog steeds bedekt met verontreinigd slib dat zich sinds het midden van de overige eeuw heeft afgezet. Dat beperkt de mogelijkheden voor natuurontwikkeling en recreatie.

Waterkwaliteit PCB's: de geschiedenis herhaalt zich

Verontreiniging door polychloorbifenylen, beter bekend als PCB's, had eveneens een piek in de jaren zestig en zeventig (Figuur 4c). PCB's zijn mijn favoriete stofgroep omdat ze alle facetten van de verontreinigingsproblematiek laten zien. Dit soort halogeenverbindingen zijn ontwikkeld om lang mee te gaan als koelvloeistof, brandvertrager en dergelijke. Het zal dan ook geen verbazing wekken dat ze in het milieu moeilijk afbreken. Via lucht en water hebben ze zich over de hele aarde verspreid, ook in gebieden waar geen mensen wonen. PCB's hopen op in voedselketens. Dieren en mensen die veel vis eten, zoals otters, zeehonden en eskimo's worden het meest blootgesteld. PCB's zijn ook interessant uit het oogpunt van giftigheid. Hoewel ze sterk op elkaar lijken, leiden subtiele verschillen in de posities van de chlooratomen tot verschillen in giftigheid tot een factor 100.000. Enkele PCB's hebben dezelfde werking als (2,3,7,8-tetrachloor-dibenzo-p-)dioxine, de meest giftige door mensen gemaakte stof. Dioxines duiken regel-

matig op in het nieuws, zoals in recente schandalen over verontreiniging van kippen en aardappelschillen. Langdurige belasting met lage concentraties leidt tot subtiele effecten, zoals groeiachterstand bij kinderen en verminderde weerstand bij zeehonden. Bij kortdurende blootstelling aan hoge concentraties ontstaat eerst chlooracne, zoals de Oekraïense presidentskandidaat Joesjtsjenko recent nog ondervond. Nog hogere niveaus leiden tot de dood. Het gebruik van PCB's werd in West-Europa al gestaakt rond 1980. Maar door hun persistentie komen ze nog voor in concentraties die de normen voor bescherming van dieren en mensen overschrijden (De Boer 2001). Dat deze stoffen ook daadwerkelijk het einde van de voedselketen bereiken, blijkt ondermeer uit analyses van moedermelk van Zweedse vrouwen (Figuur 4c). Gelukkig nemen de gehalten van PCB's in vis en moedermelk beide af. Minder geruststellend is dat de gehalten van vergelijkbare broomverbindingen juist toenemen (Solomon en Weiss 2001). De noodzaak om dit type stoffen te gebruiken in allerlei toepassingen is immers gebleven. De nieuwe stoffen zijn soms iets beter afbreekbaar en iets minder giftig maar verder hebben ze dezelfde eigenschappen. Inmiddels is ook een aantal broomverbindingen verboden en worden nu fluorverbindingen gebruikt en ... in het milieu teruggevonden.

Waterkwaliteit nieuwe stoffen: onbekend maakt onbemind

Inmiddels wordt vaak meer dan 90 procent van de giftigheid van water uit de Rijn veroorzaakt door stoffen die in het onderzoek nog niet gedetecteerd kunnen worden en waarvoor in het beleid nog geen aandacht voor is (Hendriks et al. 1994). Het beleid weet steeds beter te voorkomen dat stoffen in het milieu terechtkomen maar de samenleving gaat door met technologische vernieuwingen. Vooral stoffen die niet in de gebruikelijke kaders passen, dreigen uit het zicht te verdwijnen. Midden jaren negentig werd ontdekt dat sommige stoffen veranderingen teweegbrengen in de hormoonhuishouding van organismen waardoor hun geslacht veranderen kan. Deze effecten werden tot dan toe niet meegenomen bij de gangbare beoordeling. Momenteel staan geneesmiddelen voor dieren en mensen in de belangstelling. Toelating voor therapeutisch gebruik is gebonden aan strenge procedures maar lozing in het milieu vindt vrijelijk plaats. Voor de nabije toekomst dienen zich al weer nieuwe stofgroepen aan waarvoor nog geen enkel beleid is. Dat geldt bijvoorbeeld voor de stoffen die geproduceerd worden met de nano-technologie. Hoewel het in het algemeen gaat om al bestaande stoffen, kan de nieuwe wijze van produceren extra giftige varianten opleveren (RS 2004). Zoals vaker is de kennis over de mogelijke voordelen van de nieuwe technologie vele malen groter dan de kennis over potentiële nadelen. Het zou goed zijn als de sector daar zelf meer kennis over aanlevert om te voorkomen dat de samenleving na enkele vermeende risico's zich afkeert van de nieuwe technologie. Anders is een controversie tussen chemofoben en technocraten even onafwendbaar als in het debat over genetisch veranderd voedsel.

Herkenning van kansarme soorten

De herinrichting die nodig is om hoge afvoeren op te vangen leidt tot veranderingen in de omvang en de ligging van verschillende typen ecosystemen, zoals bos, grasland, moeras, plassen, rivieren en estuaria. De geschiktheid wordt beoordeeld door kenmerken als de totale oppervlakte, de grootteverdeling van de afzonderlijke stukken en hun onderlinge afstand. In de modellen vergelijken we deze karakteristieken met de eisen die een populatie stelt aan bijvoorbeeld het minimaal benodigde areaal, de dichtheid van de geschikte elementen en de maximaal overbrugbare afstand (Kalkhoven et al. 1990, Duel et al. 1996, Lenders et al. 1998). Zo bepalen we voor elke soort afzonderlijk de verwachte ontwikkeling. De informatie over alle soorten voegen we samen in een maat voor de diversiteit. In deze index wordt meegewogen hoe zeldzaam de soort is, welke wettelijke status ze heeft en hoe karakteristiek ze voor de delta is (De Nooij et al. 2004).

Bij verontreiniging is de aanpak vergelijkbaar. Eerst wordt vastgesteld hoeveel van een gif in het milieu terecht komt. Dat werd vroeger afgeleid uit de plannen van industrieën om hun lozingen te verminderen (Ragas et al. 1997). Deze puntbronnen zijn inmiddels aangepakt en diffuse verontreiniging wordt steeds belangrijker (Witmer et al. 2004). De verwachte belasting van een stroomgebied kan daarom beter geschat worden door de verontreiniging tijdens de fabricage-, transport-, gebruiks- en afvalfase van alle producten en diensten bij elkaar op te tellen. Vervolgens bekijken we hoe deze stoffen zich verdelen over water, bodem en lucht. Dan wordt geschat hoeveel door organismen wordt opgenomen en uitgescheiden via water, lucht en voedsel (Huijbregts et al. 2005, Van de Meent 2004). Uit de concentratie in planten, dieren en mensen leiden we de effecten op individuen en populaties af.

De modellen zijn inmiddels gebruikt voor verschillende gebieden en soorten. Zo laat toepassing op de midden-Waal zien wat de gevolgen zijn van de afname van de veeteelt ten gunste van ontwikkeling van natuur en verruiming van het winterbed. De oppervlakte aan intensief grasland wordt minder en het areaal aan extensief grasland en water wordt uitgebreid. Als gevolg daarvan neemt het aantal aalscholverkolonies in dit gebied toe. Voor otters verandert er weinig omdat de oppervlakte aan geschikt moeras onvoldoende groeit (Lenders et al. 1998). Voor verontreiniging is het beeld vergelijkbaar. De modellen, gestaafd door incidentele metingen, laten zien dat PCB's accumuleren in voedselketens en tot hoge concentraties in viseters als aalscholvers en otters leiden. Deze gehalten worden omgerekend naar de ontwikkeling van populaties met informatie uit laboratoriumexperimenten. Daarin is bepaald bij welke concentraties de overleving en voortplanting afneemt. De uitkomsten geven aan dat de belasting met PCB's in de jaren zestig en zeventig voldoende hoog was om de geringe aantallen aalscholvers in die periode te verklaren (Hendriks en Enserink 1996). De verbetering daarna heeft het aantal aalscholvers goed gedaan. De concentraties voor otters, die veel gevoeliger zijn

voor PCB's, zijn echter in de hele periode te hoog om de ontwikkeling van een populatie in de delta mogelijk te maken.

De modellen laten zien dat herinrichting en verontreiniging voor aalscholvers en otter beide belangrijk zijn. Veldwaarnemingen laten zien dat dit bijvoorbeeld ook voor ongewervelde dieren geldt (Peeters 2001). Daarmee is zeker niet gezegd dat andere invloeden verwaarloosd kunnen worden. Bij veel soorten zijn bijvoorbeeld ook vermesting, verzuring en verstoring van belang.

De natuur gaat boven de leer

Ik wil ook nog iets recht zetten. De milieukunde wordt soms door buitenstaanders gezien als een sombere wetenschap, die wel problemen maar geen (haalbare) oplossingen aandraagt. Dat is een verkeerd beeld. Natuurlijk is het de taak van de milieukunde om de betekenis van herinrichting en verontreiniging voor de gezondheid van planten, dieren en mensen in beeld te brengen. In omgekeerde richting geeft zij echter ook nadrukkelijk aan waar de oorzaken en dus de oplossingen liggen. Daarbij maakt ze graag gebruik van de antwoorden die de natuur na miljoenen jaren evolutie zelf al heeft gevonden. Ik geef hieronder twee voorbeelden.

Bij herinrichting is het van groot belang dat dijken en oevers zo stevig zijn dat ze niet worden weggeslagen. Van oudsher is veel onderzoek besteed aan de optimale structuur (vorm, materiaal) van deze werken. Dat planten en dieren kunnen helpen bij het verstevigen van dijken en oevers is minder goed bekend. Uit milieukundig onderzoek blijkt dat bijvoorbeeld mosselbanken, zeegrasvelden en kwelders elkaar kunnen beschermen tegen golfslag en stroming, zodanig dat de achterliggende dijken minder hoog of stevig hoeven te zijn (Van Katwijk 2003).

Bij verontreiniging stelt de milieukunde niet alleen vast welke schade wordt toegebracht, maar geeft ook aan welke eigenschappen van stoffen tot problemen leiden. De samenleving vermindert vervolgens het gebruik van deze stoffen en ontwikkelt alternatieven die deze kenmerken niet hebben. Dat is bijvoorbeeld goed zichtbaar in de bestrijding van plagen in de landbouw. De synthetische, persistente chloorbestrijdingsmiddelen zijn in de jaren zeventig opgevolgd door afbreekbare verbindingen op basis van fosfor. Inmiddels worden deze meer en meer vervangen door bijvoorbeeld pyrethroiden. Deze zijn afgeleid van natuurlijke toxines die sommige planten zelf aanmaken om zich te beschermen. Soms worden natuurlijke vijanden van plagen succesvol ingezet.

Gebruik van natuurlijke processen zoals hierboven genoemd staat bekend onder uiteenlopende begrippen als 'milieuvriendelijke bestrijding', 'biologische waterzuivering', 'natuurvriendelijke oeververdediging', 'eco-engineering', 'fytoremediatie', 'actief biologisch beheer', 'ecosystem-based' vis- of rivierbeheer river', 'eco-design' et cetera, et cetera. Wat de namen ook allemaal mogen zijn, ze hebben met elkaar gemeen dat natuurlijke processen en patronen worden ingezet om problemen op te lossen. Milieukunde

signaleert dus niet alleen vroegtijdig problemen maar draagt ook oplossingen aan, die vaak geïnspireerd zijn door de natuur zelf.

DISCUSSIE

Bèta-bèta: integratie in modellen

De milieukunde is inmiddels een zelfstandige wetenschap, met talloze specialisaties: milieuchemie, milieutoxicologie, milieubiologie enzovoorts. In onze modellen wordt diverse en soms tegenstrijdige informatie uit deze vakgebieden systematisch gecombineerd. Afzonderlijke experimenten en veldwaarnemingen kunnen wel een indicatie zijn van een probleem maar zonder modellen is het vaak onmogelijk om een hard verband tussen oorzaak en gevolg te leggen. Alleen in geval van een hoge, kortdurende belasting door één dominante factor kunnen de gevolgen zo acuut en groot zijn dat nadere onderbouwing niet nodig is. Zoals in het voorgaande beschreven, komen deze situaties steeds minder voor. De gevallen waarbij verschillende factoren tegelijkertijd de ontwikkeling van populaties beïnvloeden nemen toe. Een kwantitatieve afweging daartussen is onontbeerlijk, zeker wanneer betrokken onderzoekers en beleidsmakers geneigd zijn om het belang van de factoren waar zij zich zelf mee bezig houden te overschatten. Nu het beleid de ambitie heeft om meer te anticiperen in plaats van te reageren op de problemen neemt ook de behoefte aan kwantitatieve voorspellingen toe. Om het draagvlak voor ingrijpende en dure maatregelen in de samenleving te behouden zal het onderzoek zich daarom steeds meer moeten toelagen op eenvoudige modellen die complexe oorzaak-gevolgrelaties simuleren. De rol van laboratoriumexperimenten en veldwaarnemingen blijft onverminderd groot maar onderzoek en beleid hebben er baat bij wanneer ze meer in samenhang met modelstudies worden uitgevoerd.

Bèta-gamma: van multi- naar interdisciplinair

In de jaren tachtig werd het multidisciplinaire karakter aangevoerd als een belangrijke meerwaarde van de milieukunde in vergelijking met de meer specialistische wetenschappen (Broekhans 2003). Of dat toen werkelijk zo uniek was waag ik te betwijfelen. In mijn herinnering werkten velen vanuit verschillende vakgebieden samen aan de oplossing van natuur-, milieu- en waterproblemen. In onze huidige projecten zijn ook vaak verschillende vakgebieden vertegenwoordigd, zowel vanuit de 'bèta' als 'gamma' sector. Zo wordt bijvoorbeeld bij de bescherming van planten- en diersoorten ook hun wettelijke status in internationale conventies en richtlijnen meegewogen (De Nooij et al. 2004). De wijze waarop de lokale bevolking problemen die samenhangen met natuur- of milieuproblemen beleeft, is eveneens van belang.

In veel gevallen van bèta-gamma interactie gaat het om multidisciplinaire groepen, waarbij iedereen vanuit de eigen achtergrond bijdraagt. De econoom berekent wat een maatregel aan geld kost, de ecooloog wat het aan natuur oplevert. Door de onvermijdelijke

spraakverwarring gaat dat niet altijd gemakkelijk. Interdisciplinaire samenwerking in de zin van het doorgronden van elkaars vakgebied komt minder voor. Terwijl specialisatie doorgaat zal de behoefte aan samenhang steeds groter worden. Die is vaak groter dan op het eerste gezicht lijkt. Waar een ecooloog streeft naar diversiteit, probeert een econoom monopolies te voorkomen. Verschillen en overeenkomsten in begrippen die in beide wetenschappen voorkomen, zoals productie, consumptie, competitie leveren inzicht in elkaars visie op het milieuvraagstuk (Hendriks et al. 2002). De tijd is rijp om de abstracte en kwalitatieve concepten om te zetten naar concrete en kwantitatieve toepassingen. Het doet ons dan ook veel genoegen dat de universiteit onze afdeling een subsidie heeft toegekend voor een promotieonderzoek op dit gebied.

CONCLUSIES

Chemofobie te somber en technocratie te opgewekt

De voorbeelden die hierboven besproken zijn laten zien dat chemofobie, gedefinieerd als onberedeneerde angst voor chemicaliën, niet nodig is. Schade door verontreiniging is in principe controleerbaar en beheersbaar. Stoffen worden gefabriceerd, toegepast, beoordeeld en verboden. Wel dreigen we steeds meer achter de feiten aan te lopen. Terwijl we de troep met 'oude' stoffen nog aan het opruimen zijn, dienen zich hun vervangers zich al weer aan. Technologische ontwikkelingen moeten minder vrijblijvend dan nu vooraf beoordeeld worden op mogelijke milieuproblemen.

Technocratie in de zin van grenzeloos vertrouwen in traditionele oplossingen van fysisch-chemische aard helpt evenmin. Natuurwetenschappelijke innovaties hebben ons welvaart maar ook het milieuvraagstuk bezorgd. Sommige problemen, waaronder schade door overstromingen en verontreinigingen, zijn verminderd door technologische ingrepen, zoals aanleg van dijken en verandering van productieprocessen. Dat geeft ons echter niet de garantie dat alle huidige en toekomstige milieuvraagstukken ook zo succesvol kunnen worden aangepakt. Bovendien geeft de natuur vaak zelf het goede voorbeeld met ecologische oplossingen.

Milieukunde is volwassen maar nog niet volgroeid

Milieukunde heeft de stadia van verwondering (kind), verbazing (puber) en afzondering (student) achter zich gelaten. Inmiddels is de milieukundige een gewaardeerde medewerker in de samenleving naar wie geluisterd wordt. Maar wel pas na aandringen. Voorgenomen activiteiten worden automatisch beoordeeld op juridische, sociale, economische of wetenschappelijke aspecten, maar consequenties voor het milieu worden pas na aandringen door belangengroepen meegewogen. Daarmee zoekt de maatschappij continu de grenzen op die het milieu stelt. Omdat we met steeds meer zijn en ook steeds meer willen, moeten we die grenzen steeds beter vooraf kennen.

De makkelijke problemen worden opgelost maar de moeilijke blijven en er komen nieuwe bij. Successen zijn vooral geboekt bij enkele duidelijke problemen met een lokaal en losstaand karakter. Dit geldt bijvoorbeeld voor enkele industriële puntbronnen van cadmium met evident giftig afvalwater of voor een versteviging van zwakke plek in een dijk. De vele internationale en samenhangende vraagstukken die omgeven zijn met meer onzekerheden wachten nog op een aanpak. Daartoe hoort bijvoorbeeld de ophoping van persistente halogeenverbindingen en hun vervangers in gespecialiseerde viseters elders op de wereld. Of de invloed van klimaatverandering op de overstromingen.

Anticiperen (vooraf) wordt belangrijker worden dan reageren (achteraf). In aanvulling op begrijpen en verklaren wordt voorspellen cruciaal. Terwijl verdieping van kwalitatieve kennis over afzonderlijke factoren belangrijk blijft zal het belang van kwantitatieve integratie vanuit verschillende vakgebieden toenemen. Dit houdt in dat het onderwijs niet alleen vakbekwame milieukundigen moet afleveren, maar ook dat deze kennis beter wordt verinnerlijkt in andere opleidingen. Voor het onderzoek betekent dit het systematisch ordenen van kennis in modellen en databanken. Het zal u niet verbazen dat onze afdeling aan beide graag bijdraagt.

DANKBETUIGING

Aan het eind van dit betoog maak ik graag gebruik van de traditie om af te sluiten met een dankbetuiging.

Het bestuur van de Stichting Katholieke Universiteit, het College van Bestuur en het bestuur van de Faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica: ik ben u erkentelijk voor het in mij gestelde vertrouwen.

Collega's van verschillende afdelingen en faculteiten van de Radboud Universiteit: ik ben blij met de hartelijke ontvangst die ik bij kennismaking steevast krijg. Bovenstaand betoog biedt vast aanknopingspunten voor samenwerking.

Medewerkers van de afdeling Milieukunde: ik voel me vanaf het begin thuis bij jullie. Ik deel jullie passie voor onderzoek en onderwijs. Bovendien is de sfeer op de afdeling net zo opgeruimd als mijn kamer.

Promovendi en studenten van de afdeling Milieukunde: jullie nieuwsgierigheid en betrokkenheid werkt stimulerend. Jullie hebben gekozen voor milieukunde, hoewel jullie met jullie capaciteiten in andere vakgebieden aanmerkelijk meer kunt verdienen. De zorg voor het milieu en toekomstige generaties is jullie toevertrouwd.

Docenten tijdens mijn eigen studie en promotie: ik dank jullie voor jullie inzet. Uit mijn benoeming blijkt dat jullie wijze lessen zin hebben gehad.

Collega's bij mijn vorige werkgevers TNO en RIZA: ik kijk met veel plezier terug op de afgelopen jaren. Door jullie inzet blijft de milieu- en waterproblematiek onder de

aandacht van het beleid en beheer. Ik wens jullie toe dat relevant advies gebaseerd blijft op degelijk onderzoek.

Onderzoekers, docenten, beleidsmakers en beheerders bij andere organisaties: ik dank jullie voor de prettige samenwerking tot nu toe en zie uit naar nieuwe gezamenlijke activiteiten. Voor goede ideeën is altijd geld te vinden.

Familie, vrienden, burens: het is voor jullie vast even wennen, zo met toga en baret. Dankzij jullie ga ik ook buiten het werk met plezier door het leven.

Ma: je stond en staat altijd voor ons klaar. Je hebt al gemerkt dat we met deze baan nog vaker een beroep op je doen.

Marian: je bent een zorgzame moeder, een teamleider bij Grontmij en al zeventien jaar mijn maatje. In jou krijgt de universiteit er gratis een hydrologe bij.

Maaïke, Karlijn en Floris: op mijn CV prijkt sinds 1996 slechts één hobby: mijn kinderen. Met lego en laptop aan tafel, op de schaatsbaan of in het zwembad, we maken veel pret samen.

Tenslotte, dames en heren, dank ik u voor uw aandacht.

Ik heb gezegd.

REFERENTIES

- Beek M.A., Oudendijk M., 2001, *Toetsing van milieukwaliteitsnormen uit de KRW*, Werkdocument 2003.062X, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad.
- Broekhans B., 2003, *Hoe milieukunde geschiedenis werd*, Nijmegen University Press, Ede.
- Brunekreef B., Veenstra S.J., Biersteker K., Boleij J.S.M. 'The Arnhem Lead Study I: Lead uptake by 1- to 3-year old children living in the vicinity of a secondary lead smelter in Arnhem, The Netherlands', In: *Environmental Research* 25: 441-448
- Carson R., 1962, *Silent Spring*, Houghton Mifflin Company, Boston, USA.
- De Bie S., van Dijk H.H., Geerling C., Hendriks A.J., Hermsen M., van der Hoek R., Kalkoumdo G., Kolff A., 1987, *Elévation et environnement au plateau Mossi, Burkina Faso*, Rapport, Department of Nature Management, Agricultural University, Wageningen.
- De Boer J., 2001, 'Verontreinigingen in visserijproducten: consequenties van nationale en Europese normstelling', In: *Aquacultuur* 2: 23-26.
- De Nooij R.J.W., Lenders H.J.R., Leuven R.S.E.W., de Blust G., Geilen N., Goldschmidt B., Muller S., Poudevigne I., Nienhuis P.H., 2004, 'BIO-SAFE: assessing the impact of physical reconstruction on protected and endangered species', *River Research and Applications* 20: 299-313.
- Den Besten P.J., Ten Kate E.V., Schmidt C.A., Van den Heuvel H., 2003, *Saneringsprogramma Waterbodems Rijkswateren 2004 - 2009*, Nota, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad.
- Duel H., Pedrolí G.B.M., Arts G., 1996, *Een stroom natuur, Natuursteebeelden voor Rijn en Maas*, Achtergrond document B: Ontwikkelingsmogelijkheden voor doelsoorten, RIZA/Grontmij/Waterloopkundig Laboratorium, Lelystad.
- Harding G., 1968, 'The tragedy of the commons', In: *Science* 162: 1243-1248.
- Hendriks A.J., 1999, 'Allometric scaling of rate, age and density parameters in ecological models', In: *Oikos* 86: 293-310.
- Hendriks A.J., De Jonge J., den Besten P.J., Faber J.H., 1997, 'Gifstoffen in het rivierengebied: Een belemmering voor natuurontwikkeling?', In: *Landschap* 14: 219-233.
- Hendriks A.J., Enserink E.L., 1996, 'Modelling direct response of single species populations to micro-contaminants as a function of species size with examples for waterfleas (*Daphnia magna*) and cormorants (*Phalacrocorax carbo*)', In: *Ecological Modelling* 88: 247-262.
- Hendriks A.J., Maas-Diepeveen, J.L., Noordsij, A., van der Gaag, M.A. 1994, 'Monitoring response to XAD-concentrated water in the Rhine delta: A major part of the toxic compounds remains unidentified', In: *Water Research* 28: 581-598.
- Hendriks A.J., van der Veeren R., Van Konijnenburg PG, 2002, *Ecologische, economische en sociologische begrippen in het waterbeheer. Van spraakverwarring naar begrip, van theorie naar toepassing, een aanzet*, Werkdocument 2002.206X, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad, Rapport 2002-146, Dienst Weg en Waterbouw, Delft.
- Hernberg S., 2000, 'Lead poisoning in a historical perspective', In: *American Journal of Industrial Medicine* 38: 244-254.
- Huijbregts M.A.J., Geelen L.M.J., Hertwich E.G., McKone T.E., Van de Meent D., 2005, 'A comparison between the multimedia fate and exposure models Caltox and Uniform System for Evaluation of Substances adapted for life-cycle assessment based on the population intake fraction of toxic pollutants', In: *Environmental Toxicology and Chemistry* 24: 486-493.
- IPCC 1990, *First Assessment Report*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kalkhoven J., Hendriks A.J., Kwakernaak C., 1990, 'Kennissystemen in de landinrichting, een verkenning aan de hand van de problematiek van versnippering', In: *Landinrichting* 30, 4: 22-28.
- Klijn F., Dijkman J., Silva W., 2001, *Ruimte maken voor de Rijn: Samenvatting van wat het onderzoek heeft opgeleverd*, Nota 2001.032, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad, Rapport Q2975.22, WL/Delft Hydraulics, Delft.
- Lenders H.J.R., Leuven R.S.E.W., Nienhuis P.H., Oostinga K.D., Van den Heuvel P.J.M., 1998, *Ecological rehabilitation of floodplains along the reach of the middle reach of the river Waal: A prosperous future for fauna target species?*, New concepts for sustainable management of river basins, Nienhuis et al. (eds.), Backhuys Publishers, Leiden: 115-130.
- Lomborg B., 2001, *The skeptical environmentalist*, Cambridge University Press, UK.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. III, 1972, *Limits to Growth*, Potomac Associates, New York.
- Nienhuis P.H., 2003, *Water en waarden: Ecologisch onderzoek als basis voor waterbeheer en natuurbeheer*, Afscheidsrede, 31 oktober 2003, Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica, Universiteit Nijmegen.
- Nriagu J.O., 1983, *Lead and lead poisoning in antiquity*, John Wiley and Sons, New York, USA.
- Parmet B.W.A.H., Van de Langemheen W., Chbab E.H., Kwadijck J.C.J., Diermanse F.L.M., Klopstra D., 2002, *Analyse van de maatgevende afvoer van de Rijn te Lobith*, Nota 2002.012, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA, Lelystad.
- Peeters E.T.H.M., 2001, *Benthic macroinvertebrates and multiple stressors*, PhD thesis, University of Wageningen, Wageningen.
- Ragas A.M.J., Haans J.L.M., Leuven R.S.E.W., 1997, 'Selecting water quality models for discharge permitting', In: *European Water Pollution Control* 7: 59-67/
- RS 2004, *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Royal Society and Royal Academy of Engineering's, London, UK.
- Solomon G.M., Weiss P.M., 2001, 'Chemical contaminants in breast milk: time trends and regional variability', In: *Environmental Health Perspectives* 109A: 339-347.
- Ten Hulscher T.E.M., Postma P., den Besten P.J., Stroomborg G.J., Belfroid A., Wegener J.W., Faber J.H., van der Pol J.J.C., Hendriks A.J., van Noort P.C.M., 2003, 'Tenax® extraction mimics benthic and terrestrial bioavailability of organic compounds', In: *Environmental Toxicology and Chemistry* 22: 2258-2265.
- Ulrich B., 1980, 'Die Wälder in Mitteleuropa: Messergebnisse ihrer Umweltbelastung, Theorie einer Gefährdung, Prognose ihrer Entwicklung', In: *Allgemeines Forstzeitschrift* 35: 1198-1202.
- UNEP, 2002, *Global Environment Outlook 3*, Earthscan, London, UK.
- Van de Meent D, 2004, *Meer dan een glazen bol*, Oratie, 6 februari 2004, Radboud Universiteit Nijmegen.

- Van Katwijk M.M., 2003, *Reintroduction of eelgrass (Zostera marina L.) in the Dutch Wadden Sea; a research overview and management vision*. In: Challenges to the Wadden Sea area, Proceedings of the 10th International Scientific Wadden Sea Symposium, Groningen, The Netherlands 31 Oct. - 3 Nov. 2000, Wolff et al. (eds.), Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries and Dep of Marine Biology University of Groningen: 173-196.
- West GB, Brown JH, Enquist BJ, 1997, 'A general model for the origin of allometric scaling laws in biology', In: *Science* 276: 122-126.
- Witmer M, Enserink L, De Jonge J (eds.), 2004, *Van inzicht naar doorzicht. Beleidsmonitor water, thema chemische kwaliteit van oppervlaktewater*, Rapport 500799004, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven.