

PROF. DR. CAROLIEN KROEZE

Een toekomst vol verrassingen

Open Universiteit
www.ou.nl



Carolien Kroeze

Een toekomst vol verrassingen

Open Universiteit
www.ou.nl



© Copyright C. Kroeze, 2010

All rights reserved. No part of this publication may reproduced, stored, in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Ontwerp omslag: Janine Cranshof, Afdeling Visuele Communicatie, Open Universiteit

Foto omslag: Erwin Zijlstra (<http://www.erwinzijlstra.nl/>)

Opmaak binnenwerk: Evelin Karsten-Meessen

Redactie: Bep Franke

ISBN/EAN: 978 90 358 1662 6

Printed in The Netherlands

Inhoud

Een toekomst vol verrassingen 7

Toekomstverkenningen zijn van alle tijden 9

Milieutoekomstverkenningen: voorbeelden uit het verleden 11

Toekomstverkenningen kloppen niet altijd 14

Een toekomst vol verrassingen! 23

Invulling van de leerstoel 26

Onderwijs en promovendi 29

Dankwoord 30

Literatuurverwijzingen 32



Een toekomst vol verrassingen

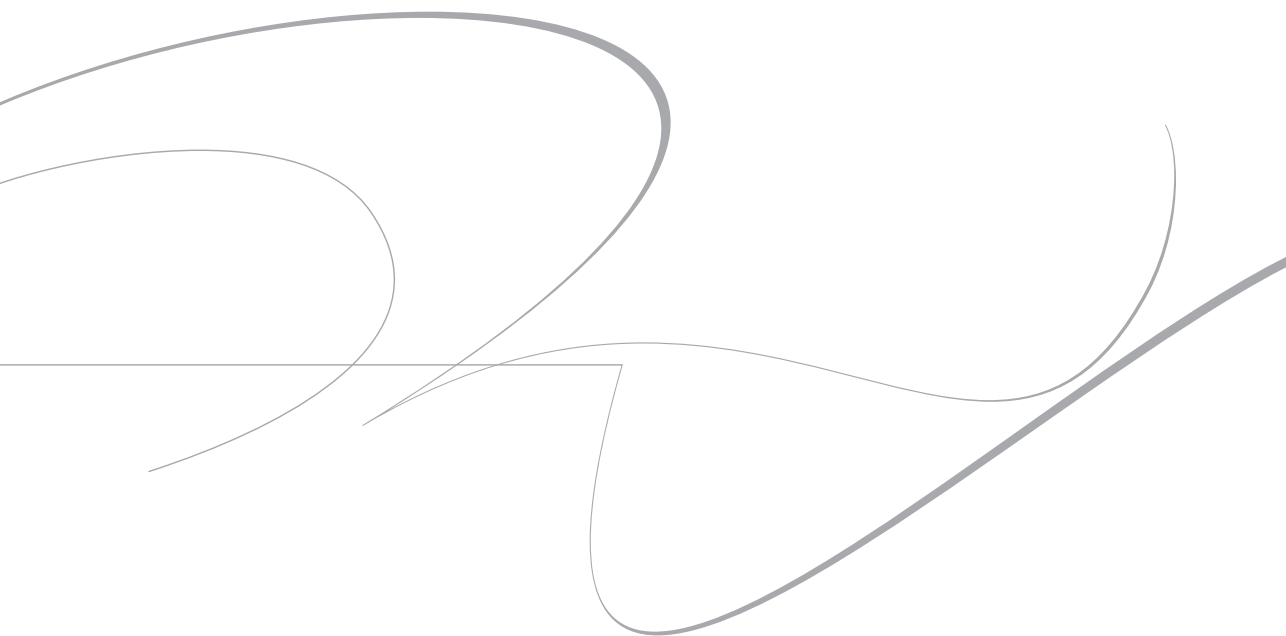
Rede

in verkorte vorm uitgesproken bij de openbare aanvaarding van
het ambt van hoogleraar Milieutoekomstverkenningen bij de Open
Universiteit

op vrijdag 4 juni 2010

door prof. dr. Carolien Kroeze





Een toekomst vol verrassingen

Geachte Rector Magnificus, beste collega's, studenten, familieleden en vrienden,

Vandaag ga ik het met u hebben over de toekomst van het milieu. De toekomst van het milieu is zorgelijk. Er liggen grote problemen te wachten op een oplossing. Maar het is ook een toekomst vol verrassingen.

Ik zal u een aantal voorbeelden geven van milieutoekomstverkenningen. Ten eerste voorbeelden van twee historische studies. Deze voorbeelden illustreren een paar robuuste conclusies over de toekomst van het milieu. Maar het gaat niet altijd goed. Ik zal daarom ingaan op een aantal recentere voorbeelden, die illustreren waar het mis kan gaan met toekomstverkenningen.

En tenslotte zal ik ingaan op de invulling van de leerstoel Milieutoekomstverkenningen.

Ik hoop u te kunnen verrassen.





Toekomstverkenningen zijn van alle tijden

Kunnen we de toekomst kennen? We willen het wel graag. In menig tijdschrift is de horoscoop een veel gelezen rubriek. Kaartlezen, hand-lezen, glazen bollen, ze zijn van alle tijden (zie figuur 1).

In de Griekse oudheid waren er de orakels. Orakels werden beschouwd als een bron van wijsheid en geraadpleegd over moeilijke kwesties. Ze werden ook beschouwd als spreekbuis voor de goden, die via orakels boodschappen over de toekomst naar de mensen communiceerden. Het bekendste orakel is wellicht het Orakel van Delphi.

Maar ik denk ook aan de oudtestamentische profeten van ver voor onze jaartelling. Dat waren maatschappijkritische mensen. Lastpakken en ruziemakers. Ze hadden kritiek op het gezag en de politiek over allerlei maatschappelijke kwesties. Wars van machtsvertoon en status, verwierpen ze de cultus van uiterlijk vertoon en oppervlakkigheid en riepen ze op tot oprechtheid en integriteit. Anders dan vaak wordt gedacht, waren het geen waarzeggers. Ze voorspelden de toekomst niet, maar confronteerden burgers met de mogelijke toekomstige consequenties van hun huidige gedrag. En die consequenties waren niet mis. Ze werden vaak betiteld als onheilsprofeten (of alarmisten), maar in retrospectief wel onheilsprofeten die perspectief boden. De deur naar een betere wereld was nooit helemaal dicht: er was altijd nog een nieuwe toekomst mogelijk.



Figuur 1 De kristallen bol
John William Waterhouse (1902).

Deze voorbeelden komen uit de mythologie, de godsdienst en de wereld van het spiritualisme. Niet echt een inleiding die men verwacht bij een oratie van een hoogleraar aan een faculteit natuurwetenschappen. En dat brengt mij wellicht bij de eerste verrassing van vandaag: behoren toekomstverkenningen tot het domein van de natuurwetenschappen? Wat mij betreft is het antwoord op deze vraag: ja. En ik zal u vertellen waarom.

Milieu-toekomstverkenningen: voorbeelden uit het verleden

De milieukunde is een relatief jonge wetenschap. In de milieukunde bestuderen we door mensen veroorzaakte milieuproblemen (Boersema, 2009). Veel milieukundige studies zeggen iets over de toekomst van het milieu¹. Dit noemen we ook wel milieu-toekomstverkenningen. Ik wil u hiervan een aantal voorbeelden geven en begin met twee historische voorbeelden waarvan de conclusies destijds robuust waren: de ruim honderd jaar oude studie van Arrhenius, en de 'Grenzen aan de Groei' van de Club van Rome.

Arrhenius

Mijn eerste voorbeeld stamt uit het jaar 1896, ruim honderd jaar geleden. Het is een studie van Svante Arrhenius, een Zweedse hoogleraar in de fysische chemie, die ongeveer 140 jaar geleden werd geboren in de buurt van Uppsala (zie figuur 2).



Figuur 2 Svante Arrhenius (1859-1927).

Arrhenius bestudeerde het mondiale klimaat. Niet met grote supercomputers zoals we vandaag doen, en zelfs zonder rekenmachine. Maar gewoon met pen en papier, en op basis van gangbare kennis over fysische en chemische processen in de atmosfeer. Hij berekende wat er met de temperatuur van de aarde zou gebeuren als het kooldioxidegehalte (of CO₂-gehalte) zou veranderen. Zijn inschatting was dat bij een verdubbeling van het CO₂-gehalte de temperatuur gemiddeld 5 tot 6 °C zou stijgen (Arrhenius, 1896). Tegenwoordig noemen we dit de klimaatgevoeligheid, en gebruiken we grote supercomputers om de klimaatverandering (inclusief de mondiale temperatuurstijging) bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie te berekenen. Ruim

¹ Milieu kan worden gedefinieerd als de fysische, niet-levende en levende, omgeving waarmee een maatschappij een wederkerige relatie onderhoudt. (Boersema, 2009).

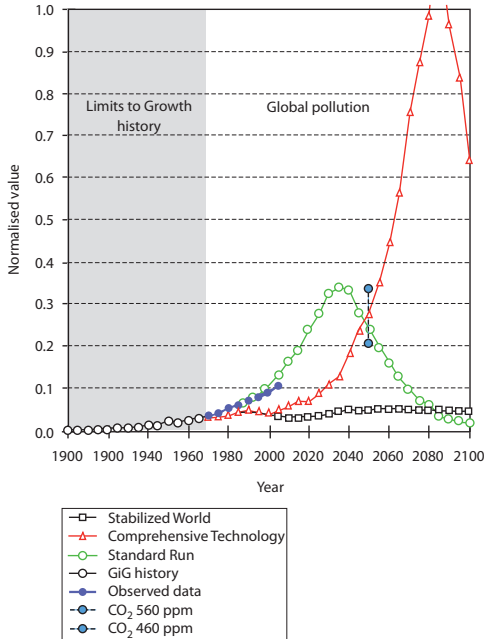
honderd jaar na Arrhenius is de wetenschappelijke consensus dat de klimaatgevoeligheid tussen de 1,5 en 4,5 °C ligt (IPCC, 2007). Dit is een bijzonder robuuste conclusie, waarover weinig wetenschappelijke discussie bestaat. De vraag is dus niet of het klimaat gaat veranderen in de toekomst, maar wat er precies waar en wanneer gaat gebeuren, en hoe erg dat is. Dit lijkt in de huidige commotie rond het klimaatpanel (IPCC²) wel eens vergeten te worden.

Club van Rome

Een ander voorbeeld betreft de Club van Rome, een mondiale denktank die vooral actief was in de laatste decennia van de vorige eeuw. Hun missie was *“to act as a global catalyst for change through the identification and analysis of the crucial problems facing humanity and the communication of such problems to the most important public and private decision makers as well as to the general public.”* Hun eerste publicatie was ‘The Limits to Growth’ uit 1972 (Club of Rome, 1972), en werd gevolgd door een aantal herzieningen (Club of Rome, 1993; Club of Rome, 2004). De Club van Rome gebruikte als eerste een computermodel (World3) om de consequenties te bestuderen van menselijk handelen op natuurlijke en maatschappelijke systemen. Ze legden verbanden tussen wereldbevolking, industrialisatie, vervuiling, voedselproductie en uitputting van grondstoffen. Er werd daarbij uitgegaan van exponentiële groei. De belangrijkste boodschap van de Club van Rome was dat voorraden van hulpbronnen eindig zijn, en dat er dus grenzen zijn aan de groei. Zonder maatschappelijke veranderingen zouden er wereldwijd problemen kunnen ontstaan.

Er kwam veel kritiek op deze toekomstverkenningen. Het is interessant dat in 2008 een studie verscheen waarin de projecties van de Club van Rome uit 1972 vergeleken zijn met wat er werkelijk is gebeurd (Turner, 2008a,b). De conclusie was dat de Club van Rome in 1972 de trends voor de decennia die zouden komen goed in wist te schatten. Ik noem twee voorbeelden: uitputting van grondstoffen en mondiale vervuiling van de atmosfeer. De trends in de periode 1970-2000 komen goed overeen met de inschattingen van de Club van Rome uit 1972 (zie bijvoorbeeld in figuur 3). Dit maakt de boodschap van de Club van Rome opnieuw actueel, zoals ook blijkt uit een zeer recente verklaring van de Club van Rome in aanloop naar de klimaatonderhandelingen in Kopenhagen (Club of Rome, 2009). Hierin roept de Club van Rome op om te streven naar een stabilisatie van de CO₂-concentraties op 350 ppmv, een niveau lager dan het huidige. Zeer ambitieus.

² Intergovernmental Panel on Climate Change



Figuur 3 Vergelijking van de projecties van de Club van Rome met de werkelijke trends voor vervuiling van de atmosfeer met broeikasgassen (Turner, 2008a,b).

Wat kenmerkt deze twee voorbeelden? Allereerst, ze blijken achteraf vrij goed te kloppen. De conclusies van Arrhenius zijn al meer dan een eeuw onomstreden, en ook die van de Club van Rome zijn – achteraf gezien – in belangrijke mate correct. Een tweede overeenkomst is dat het in beide voorbeelden gaat om mondiale trends op de lange termijn.

Toekomstverkenningen kloppen niet altijd

We weten allemaal dat het ook vaak misgaat als we iets proberen te zeggen over de toekomst. De voorbeelden kunt u zelf invullen: de weersverwachtingen bijvoorbeeld, of de inschattingen over economische groei in Nederland voor het komende jaar. Ik wil graag wat dieper ingaan op een paar milieutoekomstverkenningen die er naast zaten. Het zijn voorbeelden van hoe we ons lieten verrassen door de toekomst, ondanks de verkenningen die er lagen.

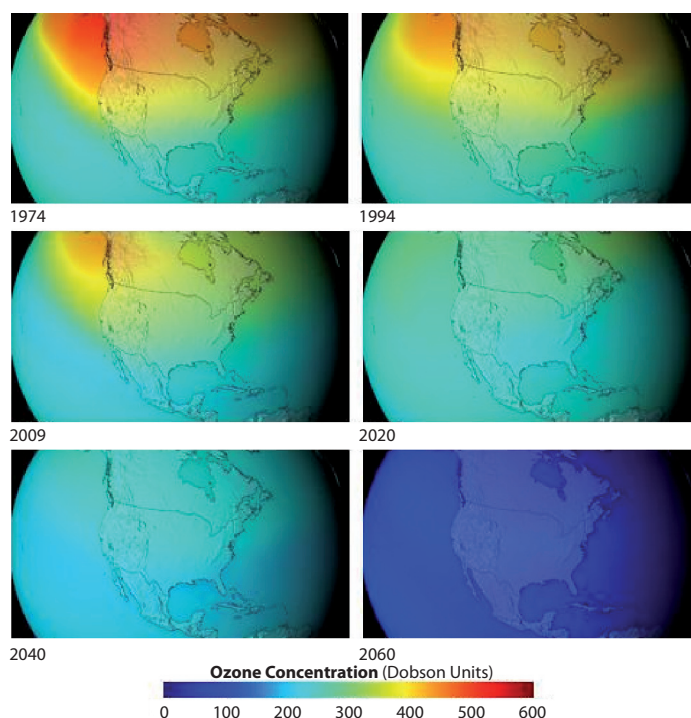
Het gat in de ozonlaag: veel groter dan verwacht

Allereerst de aantasting van de ozonlaag. De ozonlaag is een hogere luchtlaag (op ongeveer 10 kilometer boven de grond) met relatief hoge ozonconcentraties. Ozon (O_3) ontstaat doordat zuurstofmoleculen (O_2) met zuurstofradicalen (O.) reageren. De ozonlaag dient als een filter voor ultraviolette straling, die in hoge doses schadelijk kan zijn voor organismen en huidkanker kan veroorzaken. De ozonconcentratie in de stratosfeer neemt af door menselijk toedoen: chloor- en broomhoudende stoffen zijn hiervoor verantwoordelijk, met name de chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's). Dit zijn stoffen die van nature niet op aarde voorkomen. Sinds 1930 worden ze door mensen gemaakt, in eerste instantie als veilige koelmiddelen. Daarna werden ze ook gebruikt als isolatiemiddel, blusmiddel, blaasmiddel en oplosmiddel. Tegenwoordig zijn ze verboden om de ozonlaag te beschermen.

Midden jaren zeventig publiceren Molina en Rowland een eerste publicatie over een mogelijk toekomstig effect van CFK's op de ozonlaag (Molina & Rowland, 1974). Op dat moment was het slechts een hypothese dat de ozonlaag zou kunnen worden aangetast door CFK's. De industrie reageerde fel, en vocht het verband aan.

Het duurde nog tien jaar voordat het gat in de ozonlaag werd ontdekt door Farman en collega's (Farman et al., 1985). En wat bleek? De aantasting was veel erger dan Molina en Rowland tien jaar eerder hadden voorspeld. Het was ook veel lokaler en seizoensgebonden. Molina en Rowland gingen uit van een geleidelijke aantasting: een beetje meer chloor in de stratosfeer zou resulteren in een beetje minder ozon. Maar het systeem is grilliger en gevoeliger: het enorme gat in de ozonlaag dat in 1985 boven Antarctica werd ontdekt, bracht een schok teweeg die twee jaar later resulteerde in het aanvaarden van het Montreal Protocol: een wereldwijd verdrag ter bescherming van de ozonlaag (UNEP, 1987) (zie figuur 4). Hierin is geregeld dat CFK's niet meer gebruikt mogen worden.

Wat opvalt in deze geschiedenis is dat de werkelijkheid erger is dan de achteraf bezien te conservatieve inschatting van Molina en Rowland. Op basis van verkenning werd gezocht naar geleidelijke ozonafbraak. Maar de simpele verbanden tussen vervuiling en milieuschade waren ontoereikend: er werd geen rekening gehouden met versterkende effecten en lokale omstandigheden. Het zoeken naar deze te simpele verbanden droeg er zelfs toe bij dat het ozongat aanvankelijk wel gemeten, maar niet als zodanig herkend werd. Het milieusysteem zit kennelijk vol verrassingen.



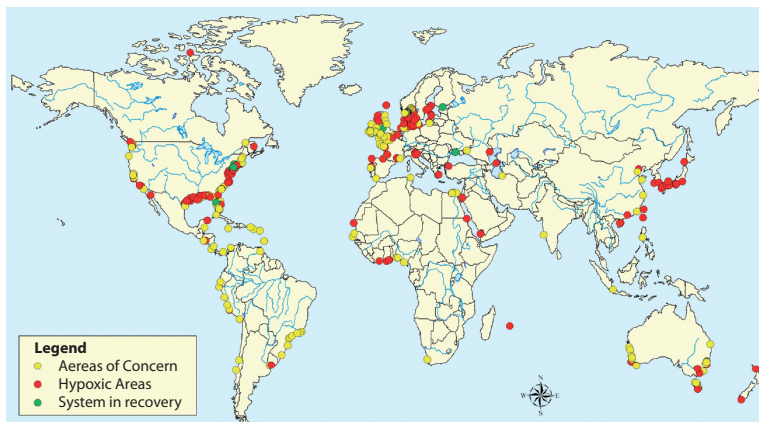
Figuur 4 Ozonconcentratie in de stratosfeer voor een scenario dat een toekomst beschrijft zonder Montreal Protocol.

Bron: NASA.

De belasting van kustwateren met nutriënten: niet overal zo erg als gedacht

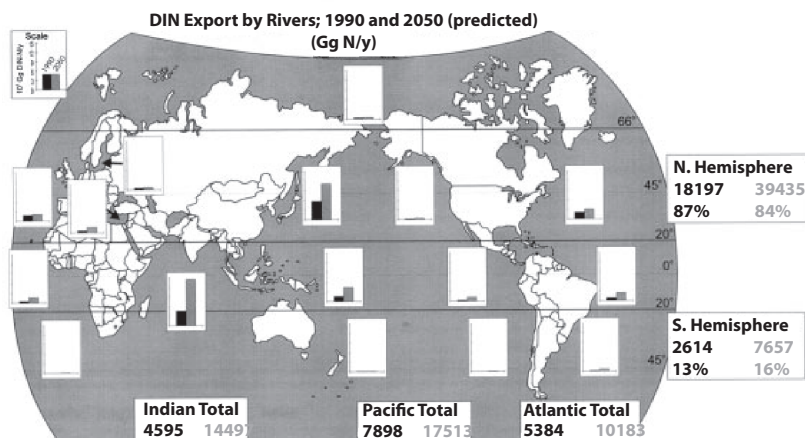
Mijn tweede voorbeeld van hoe het mis kan gaan is er één uit eigen werk. Het betreft de belasting van kustwateren met nutriënten. Een overschot aan nutriënten in kustwateren kan leiden tot vermessing, ofwel eutrofiëring, met negatieve gevolgen voor ecosystemen,

biodiversiteit, visserij en toerisme. Algenbloei is het meest bekende probleem van eutrofiëring. Een overmaat aan algen kan resulteren in toxiciteitproblemen, of in zuurstofloosheid. Episodes van ernstige eutrofiëring in kustwateren komen wereldwijd voor (Diaz & Rosenberg, 2008; Selman et al., 2008) (zie figuur 5). De belangrijkste bron van de nutriënten in kustwateren zijn de rivieren die meststoffen van het land naar de zee transporteren. Het betreft hierbij vooral stikstof (N), fosfor (P) en koolstof (C), grotendeels afkomstig van het land. Momenteel wordt de belasting van het milieu met stikstof als één van de meest ernstige milieuproblemen gezien (Rockstrom et al., 2009). De vraag hoeveel nutriënten er van land naar zee stromen, is lastig, en vaak een belangrijke onzekerheid in de stikstofbudgetten (Kroeze et al., 2003; Kroeze et al., 2008).



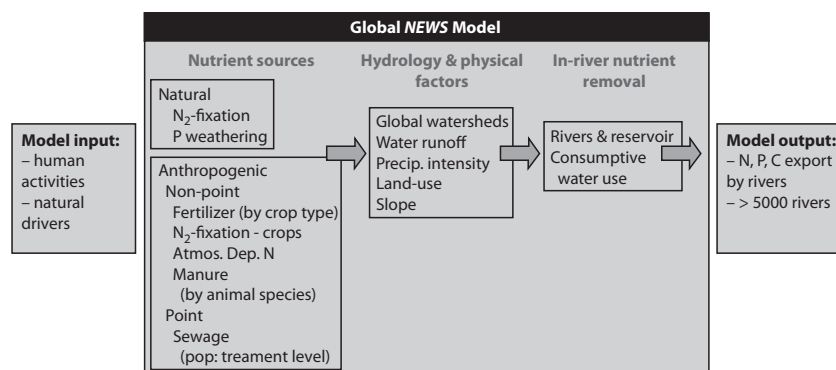
Figuur 5 Waargenomen episodes van eutrofiëring in kustwateren (Selman et al., 2008).

Figuur 6 laat een berekening zien die ik in 1998 heb gepubliceerd met Sybil Seitzinger. Wij hadden een mondiaal model ontwikkeld, waarmee we de belasting van kustwateren met nutriënten konden berekenen (Seitzinger & Kroeze, 1998) als functie van menselijke activiteit op het land (Caraco & Cole, 1999). Met dat model berekenden we wat er zou gebeuren in de komende decennia, als de wereldbevolking zou stijgen, en daarmee de landbouwproductie en de wereldeconomie. Onze inschattingen voor 2050 waren gebaseerd op de destijds gangbare projecties van de Verenigde Naties, de Food and Agriculture Organization (FAO) en het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). We berekenden dat in alle wereldzeeën de kans op eutrofiëring zou toenemen doordat rivieren steeds meer nutriënten zouden vervoeren. Het was een uitkomst die we ook verwacht hadden: meer mensen zou resulteren in meer vervuiling, overal ter wereld.



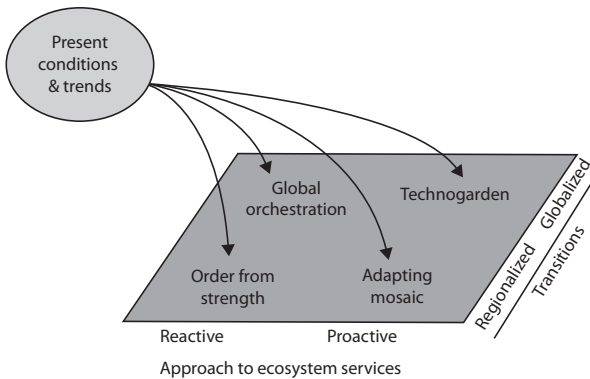
Figuur 6 Hoeveelheid opgelost anorganisch stikstof (DIN) dat door rivieren naar kustwateren werd vervoerd in 1990 en de berekening voor 2050 (Kroeze & Seitzinger, 1998b).

Kort daarna zijn we met *Global NEWS* gestart: een internationale groep wetenschappers, waarmee we soortgelijke modellen bouwen (zie figuur 7). Het *Global NEWS* project heeft tot nu toe twee belangrijke mijlpalen gekend. In 2005 hebben we gepubliceerd over onze eerste generatie modellen (Beusen et al., 2005; Dumont et al., 2005; Harrison et al., 2005a; Harrison et al., 2005b; Seitzinger et al., 2005). Het betreft modellen voor het transport van verschillende vormen van N, P en C van land naar zee. Sinds 2005 zijn de modellen verbeterd en in één interface ondergebracht (Mayorga et al., 2010). Bovendien lag de focus de laatste jaren niet zozeer op het modelleren van de huidige situatie, maar meer op trends in de tijd, voor de periode van 1970 tot 2050 (Beusen et al., 2009; Harrison et al., 2010; Seitzinger et al., 2010; Van der Struijk & Kroeze, 2010; Yasin et al., 2010).



Figuur 7 Schematische weergave van de *Global NEWS* modellen (Mayorga et al., 2010; Seitzinger et al., 2010).

Voor het verkennen van de toekomst hebben we de Millennium Ecosystem Assessment scenarios (MEA) als basis gebruikt. De Millennium Ecosystem Assessment is uitgevoerd tussen 2001 en 2005. Deze studie was gericht op de relatie tussen ecosystemen, biodiversiteit en menselijk welzijn en de gevolgen van de aantasting van ecosystemen en biodiversiteit. Doel was om de stand van de wetenschappelijke kennis over de aantasting van ecosystemen te verzamelen (Leemans, 2008). Hiertoe zijn vier MEA-scenario's ontwikkeld (Alcamo et al., 2006). Ze beschrijven mogelijke (*not implausible*) toekomstige ontwikkelingen die relevant zijn voor de aantasting van ecosystemen. De scenario's verschillen op twee punten van elkaar: de veronderstelde mate van globalisering en de mate waarin wordt geanticipeerd op milieuproblemen. Global Orchestration en Technogarden zijn twee scenario's uitgaande van globalisering. In Order from Strength en Adapting Mosaic wordt uitgegaan van regionalisering: de ontwikkeling vindt vooral plaats binnen continenten en minder daartussen. Daarnaast zijn er twee scenario's waarin wordt verondersteld dat men een proactieve houding heeft ten aanzien van milieubeleid (Technogarden en Adapting Mosaic), en twee scenario's waarin dat niet het geval is (Global Orchestration en Order from Strength) (zie figuur 8).



Figuur 8 De Millennium Ecosystem Assessment (MEA) Scenarios (Alcamo et al., 2006).

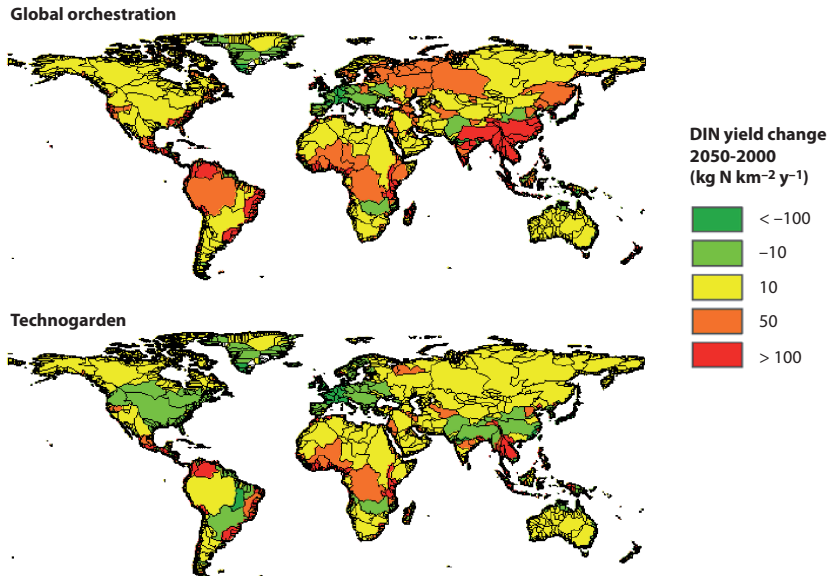
De verhaallijnen van de vier scenario's zijn binnen de Millennium Ecosystem Assessment ten dele gekwantificeerd. In het Global NEWS project is een volledige kwantitatieve interpretatie gemaakt en zijn model-inputs gegenereerd die consistent zijn met elk van de scenario's (Bouwman et al., 2009; Fekete et al., 2009; Van Drecht et al., 2009). Het betreft trends in bevolking, verstedelijking, landbouw, riolering en energievoorziening. Bovendien wordt rekening gehouden met de gevolgen van klimaatverandering, irrigatie en dammen op de hydrologie.

Ik laat u wat resultaten zien van de twee geglobaliseerde scenario's voor het jaar 2030: *Global Orchestration* (reactief milieubeleid) en *Technogarden* (proactief milieubeleid) (zie figuur 9).

Global Orchestration is voor veel regio's een *worst case* scenario voor het milieu: de wereldbevolking groeit relatief snel, evenals de economie en er is weinig aandacht voor milieu. Het is dan ook niet verrassend dat de totale hoeveelheid opgelost anorganisch stikstof (DIN³) die rivieren naar kustwateren vervoeren, toeneemt tussen 2000 en 2030. Dit berekenden Sybil Seitzinger en ik ook in 1998. Wat wel verrassend is, is dat dit niet voor alle wereldregio's geldt: er zijn grote gebieden waar het stikstoftransport door rivieren in 2030 lager zal zijn dan vandaag. Aanvankelijk dachten we rekenfouten gemaakt te hebben. We gingen ervan uit dat we, net als in onze eerdere toekomstverkenningen met voorlopers van de Global NEWS modellen (Kroeze & Seitzinger, 1998b; Kroeze et al., 2001; Seitzinger & Kroeze, 1998; Seitzinger et al., 2002), overal in de wereld een toename van de vervuiling zouden zien in dit worst case scenario. Maar dat bleek niet het geval. In veel stroomgebieden berekenden we dalende nutriëntentransporten. Dit is het netto-effect van veranderingen in hydrologie en menselijke activiteit. Met name het toenemend aantal dammen voor irrigatie en waterkracht resulteert in toenemende retentie van nutriënten in rivieren. Daarnaast speelt in Europa het mest- en landbouwbeleid een rol.

In het 'groene' Technogarden scenario is de mondiale belasting van kustwateren met stikstof lager dan in Global Orchestration. Dat is volgens verwachting, en het gevolg van een efficiënter stikstofgebruik in de landbouw, een betere rioolwaterzuivering en meer waterkrachtcentrales. Toch zien we ook hier verrassende regionale patronen: er zijn stroomgebieden met grote toe- en afnamen tussen 2000 en 2030 in dit scenario.

Wat leren we van deze vergelijking? In onze eerdere modellen hielden we geen rekening met veranderingen in hydrologie. Deels kwam dit doordat de eerdere modellen te grof van schaal waren. Ons stikstofmodel uit 1998 bevatte een paar honderd stroomgebieden, de huidige Global NEWS modellen een paar duizend. Maar belangrijker was dat we belangrijke processen over het hoofd zagen, met name het effect van dammen en irrigatie. Daardoor waren onze projecties voor de toekomst, terugkijkend, gebaseerd op te simpele veronderstellingen.



Figuur 9 Verandering in stikstofexport (DIN) door rivieren tussen 2000 en 2050, zoals berekend door Global NEWS modellen op basis van de MEA-scenario's Global Orchestration (globalisering, reactief milieubeleid) en Technogarden (globalisering, reactief milieubeleid) (Seitzinger et al., 2010).

Milieumaatregelen: onverwachte neveneffecten

Op zoek naar oplossingen voor milieuproblemen komen we vaak voor verrassingen te staan. Schijnbare oplossingen blijken niet altijd effectief te zijn (Reijnders, 2006; Reijnders, 2007). Tal van oplossingen voor het ene probleem, veroorzaken elders nieuwe problemen (Brink et al., 2001a; Brink et al., 2001b; Havlikova & Kroeze, 2009; Ignaciuk et al., 2002).

Biobrandstoffen zijn hiervan een voorbeeld. Er wordt doorgaans geredeneerd dat het verbranden van brandstoffen die gegenereerd zijn uit niet-fossiel plantaardig materiaal geen netto-broeikasgasemissies opleveren. Maar dit beeld is te rooskleurig om verschillende redenen. Een belangrijke reden is dat deze redenering voorbij gaat aan de uitstoot van het broeikasgas lachgas (N₂O) tijdens de groei van biobrandstoffen. In hoeverre biobrandstoffen werkelijk schoner zijn dan fossiele brandstoffen, hangt sterk af van de bemesting tijdens de productie van de grondstoffen. Het is duidelijk dat de netto-milieuwinst van biobrandstoffen aanvankelijk is overschat door hier geen rekening mee te houden (Crutzen et al., 2007; de Mira & Kroeze, 2006; Reijnders & Huijbregts, 2007).

Een ander voorbeeld is het beleid gericht op het beschermen van de ozonlaag. De meeste aantasters van de ozonlaag zijn ook krachtige broeikasgassen. Zonder Montreal Protocol⁴ zou de uitstoot van broeikasgassen groter zijn dan momenteel het geval is (Velders et al., 2007). Dit is een prettig neveneffect van het beleid om de ozonlaag te beschermen. Het had echter nog beter kunnen zijn: de belangrijkste vervangers van CFK's zijn de zogenaamde waterstoffluorkoolwaterstoffen (HFK's). Dit zijn stoffen die de ozonlaag niet aantasten, en daarom niet geregeld zijn onder het Montreal Protocol. Maar het zijn helaas nog steeds zeer krachtige broeikasgassen, en daarom zijn ze wel opgenomen in het Kyoto Protocol onder het klimaatverdrag. Tot nu toe heeft dat weinig effect gehad op het gebruik ervan, en de verwachting is dat in de toekomst de HFK's een belangrijk aandeel hebben in klimaatverandering (Velders et al., 2009).

Er zijn ook positieve verrassingen. Beleid gericht op luchtvervuiling heeft als onbedoeld neveneffect een bijdrage geleverd aan het schoner worden van de Noordzee (Kroeze et al., 2001). En gezonder eten is goed voor het milieu (Reijnders & Soret, 2003).

Waar ging het mis?

Wanneer gaat het mis met milieutoekomstverkenningen? Wanneer laten we ons verrassen door de werkelijkheid? De voorbeelden die ik gegeven heb, lenen zich voor een analyse van mogelijke antwoorden op deze vraag. Ik noem vier mogelijke redenen.

Een eerste mogelijke oorzaak is het over het hoofd zien van niet-lineaire processen en terugkoppelingen. Het onverwacht grote gat in de ozonlaag is hier een voorbeeld van. Men had een te simpel beeld van het systeem. Natuurlijke systemen kenmerken zich echter vaker door niet-lineaire reacties en omslagpunten (Scheffer et al., 2009).

Een tweede reden voor het onjuist inschatten van toekomstige trends is het onterecht negeren van belangrijke processen of determinanten, of van trade-offs. De overschatting van de belasting van kustwateren met nutriënten is daar een voorbeeld van. Onze oorspronkelijke modellen bleken te weinig rekening te houden met veranderende hydrologie door, bijvoorbeeld, dammen.

⁴ Montreal Protocol ter bescherming van de ozonlaag



Een derde reden is het onjuist definiëren van het systeem. Foute systeemgrenzen leiden vaak tot fouten in analyses en onterechte conclusies. Zo was de netto-milieuwinst van biobrandstoffen aanvankelijk overschat doordat geen rekening werd gehouden met de uitstoot van lachgas tijdens de groei ervan (Crutzen et al., 2007; de Mira & Kroeze, 2006; Reijnders & Huijbregts, 2007).

Een vierde reden is het niet rekening houden met neveneffecten van maatregelen. Bijvoorbeeld zoals dat gebeurde bij de introductie van HFK's als alternatief voor CFK's. De ozonlaag was ermee gered, maar voor het klimaatprobleem biedt het geen oplossing. En dat, terwijl er voldoende goede alternatieven voorhanden waren die het klimaat niet veranderen.

En tenslotte is het gebrek aan kwalitatief goede sets van meetresultaten, of een onjuiste interpretatie ervan, een belangrijke bron van onzekerheden in milieumodellen. Maar hier ga ik in dit verhaal verder niet op in.

We kunnen uit dit alles lessen leren voor nieuwe studies naar de toekomst van het milieu.

Een toekomst vol verrassingen!

Wat heb ik tot nu toe behandeld? Ik heb u verteld dat toekomstverkenningen van alle tijden zijn, maar milieutoekomstverkenningen niet. Daarna heb ik twee historische voorbeelden gegeven die aantonen dat het goed mogelijk is om iets zinvol te zeggen over de toekomst. Het zijn beide voorbeelden van mondiale trends op de lange termijn. Tenslotte heb ik voorbeelden gegeven van hoe het mis kan gaan met milieutoekomstverkenningen en besproken waarom het mis ging.

De toekomstverkenningen die ik tot nu toe heb besproken, zijn alle voorbeelden van 'verrassingsvrije scenario's'. Ze zijn doorgaans gebaseerd op conservatieve trends en houden geen rekeningen met verrassende gebeurtenissen of trendbreuken. Bij het opstellen van veel scenario's wordt er bewust voor gekozen om catastrofale toekomstbeelden niet mee te nemen, omdat ze niet erg waarschijnlijk lijken. Wie had tien jaar geleden de terroristische aanslagen op het WTC in New York kunnen voorzien? Of de financiële crisis? Of een griep пандemie? Wie had begin 1985 kunnen voorzien dat er dat jaar een groot gat in de ozonlaag ontdekt zou worden? Toch zijn het deze verrassingen die vaak voor trendbreuken en doorbraken zorgen.

Natuurlijke ecosystemen reageren niet altijd zoals we verwachten. Onze conservatieve modellen zijn niet in staat om de reacties van gevoelige soorten op milieudruk in kaart te brengen. Projecten als de natuurkalender illustreren de onverwachte effecten van klimaatverandering op de natuur in onze achtertuin. Duizenden Nederlanders zien dat met eigen ogen, en rapporteren het aan de natuurkalender. Zo ruikt Ambrosia op in Nederland (Van Vliet et al., 2002; Van Vliet et al., 2009) en de eikenprocessierups. Twee soorten die veel overlast kunnen veroorzaken door allergische reacties.

Wat is een verrassing precies? Er bestaan verschillende definities (van Notten et al., 2005). Veel ervan komen erop neer dat we verrast zijn als er iets gebeurt wat we niet verwacht hadden. Of een gebeurtenis een verrassing is, wordt dus sterk bepaald door ons verwachtingspatroon, of, zo u wilt, ons wereldbeeld en onze visie op bepaalde situaties.

In de milieukunde bestuderen we milieuproblemen graag van begin tot eind: de onderliggende oorzaken, daaruit volgende milieudruk en veranderingen in het milieusysteem, de effecten op ecosystemen en maatschappij, en de mogelijke oplossingen. Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat verrassingen in elke stap van deze causale keten voorkomen (zie figuur 10).

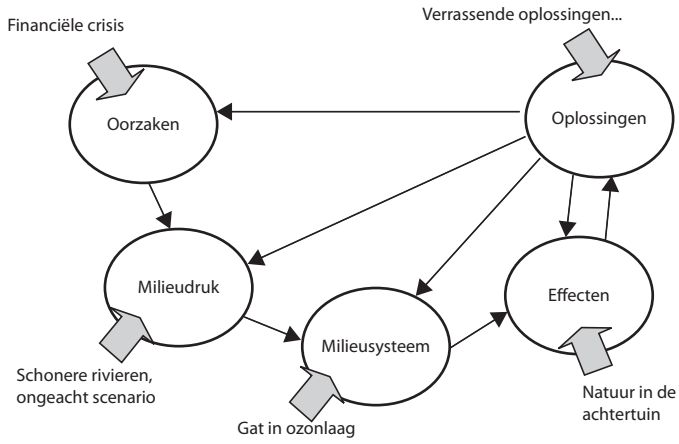


Er bestaan voorbeelden van scenariostudies waarin wel rekening gehouden wordt met verrassingen. Van Notten en collega's evalueerden 22 scenariostudies, waarvan 11 geen rekening hielden met verrassingen (ofwel discontinuïteit). Maar er waren ook 11 die dat wel deden (van Notten et al., 2005). De meeste van deze voorbeelden betreffen geen milieuscenario's. Een uitzondering is het VISIONS-project, waarin scenario's voor Europese regio's zijn geïntegreerd met verschillende 'visies' op de toekomst. Een aantal scenario's ontwikkelt zich volgens verwachting, zonder verrassingen. Maar andere scenario's wijken hiervan af, en veronderstellen trends die tegen verwachtingen ingaan, zoals het plotseling uittreden van landen uit de Europese Unie, of een technische doorbraak waardoor de publieke opinie over kernenergie drastisch verandert.

De toekomstverkenningen die ik tot nu toe besproken heb, zijn ook allemaal voorbeelden van wat we *forecasting* noemen. Dit zijn studies waarin het heden het uitgangspunt is en de analyses vooral explorerend van aard zijn. Het resultaat bestaat uit beschrijvende scenario's die mogelijke toekomstbeelden schetsen, op basis van huidige trends.

Een alternatief voor *forecasting* is *backcasting*. Dit zijn scenario's waarin de toekomst het uitgangspunt is: er wordt eerst een gewenst toekomstbeeld geschetst, en daarna nagedacht over de vraag hoe we die toekomst kunnen realiseren. Hierbij is het doel nadrukkelijk te anticiperen op toekomstige gebeurtenissen. Deze scenario's zijn normatief; ze gaan vaak uit van een wenselijke toekomst. Normatieve scenario's hebben een belangrijke rol gespeeld bij het tot stand komen van Europees beleid ten aanzien van grensoverschrijdende luchtverontreiniging⁵. Backcasting is ook een interessante benadering voor het verkennen van de toekomst waarbij we wel proberen rekening te houden met verrassende trends, op zoek naar een wenselijke toekomst, die wellicht afwijkt van wat in de lijn der verwachting ligt.

⁵ *Long Range Transboundary Air Pollution Convention: een internationaal verdrag waarin landen overeenkomen grensoverschrijdende luchtverontreiniging te verminderen. De protocollen onder dit verdrag zijn gebaseerd op berekeningen van het RAINS-model, dat gebruikt werd om te berekenen wat de goedkoopste manier was om de luchtvervuiling in Europa terug te dringen (Tuinstra et al., 1999; Tuinstra, 2006).*



Figuur 10 Voorbeelden van verrassingen in de causale milieuketen

Invulling van de leerstoel

Welke uitdagingen liggen er in het onderzoek naar de toekomst van het milieu? Ik wil de leerstoel milieutoekomstverkenningen bij de Open Universiteit graag invullen met onderzoek dat open staat voor verrassingen, die ons wellicht dichter bij oplossingen brengen.

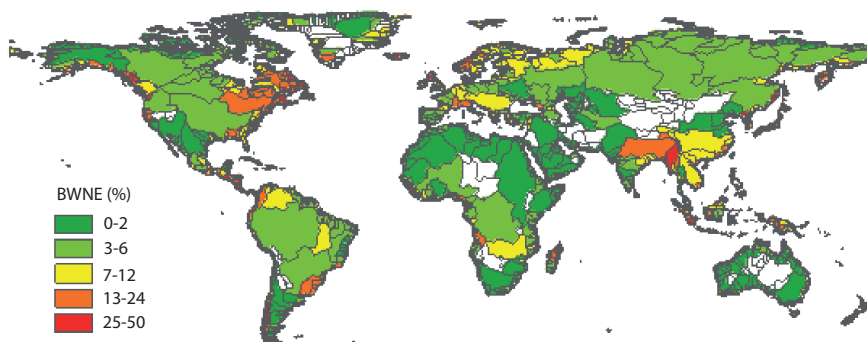
Ons streven zal zijn om de toekomst te verkennen zonder in de valkuilen te trappen die ik hierboven heb geschetst. We zullen ons doorlopend de vraag blijven stellen of we ons systeem wel goed hebben gedefinieerd, of we geen belangrijke variabelen over het hoofd zien, en of we alle interacties en neveneffecten goed in kaart hebben gebracht. We zullen kritisch blijven op de keuze van onze systeemgrenzen, omdat er tal van studies zijn die laten zien dat de keuze van systeemgrenzen de conclusies van het onderzoek bepalen (Jawjit et al., 2009; Jawjit et al., 2008; Plumiers et al., 2001).

Ons onderzoek zal zich kenmerken door integratie van kennis over causale keten en milieucompartmenten. We gaan op zoek naar de meest geschikte methoden voor kwantitatieve analyse van milieuproblemen. Er zijn verschillende combinaties denkbaar van tools zoals scenarioanalyse, stroomanalyse, indicatoren, levenscyclusanalyse, milieucriteria-analyse, kosteneffectiviteitanalyse, gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse en andere analytische tools (Neto et al., in press).

We bouwen voort op het werk van Global *NEWS*. Sinds het verschijnen van de Global *NEWS* modellen in 2009 is een aantal nieuwe studies gestart, die ik hier graag noem. Bij de Faculteit Natuurwetenschappen zijn we met twee projecten gestart, onder de noemer LOUCAL*NEWS*. Het eerste project richt zich op de vraag waarom sommige rivieren meer nutriënten naar de zee vervoeren dan andere. Er blijken rivieren te zijn waar vrijwel niets van de mest en kunstmest die we op het land brengen naar zee stroomt, en er zijn stroomgebieden waar dit bijna 100% is. Een verrassend grote variatie (zie figuur 11). Het is voor beleid dat zich richt op het verminderen van eutrofiering in kustzeeën van belang te weten waarom dit zo is. Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Wilfried Ivens, Ansje Löhrl, Daisy Tysmans en Jikke van Wijnen.

In een tweede project richten we ons op Zuidoost-Azië. Djoko Suwarno van de Soegijapranata Catholic University op Java is onze eerste Indonesische onderzoeker binnen Global *NEWS*. Hij onderzoekt onder begeleiding van Ansje Löhrl toekomstige vervuiling van rivieren in Indonesië. In Wageningen start een vergelijkbaar onderzoek voor China. Hiervoor moeten we de Global *NEWS* modellen verfijnen, zodat ze op de schaal van Java en China kunnen worden toegepast. Modellen als

Global *NEWS* zijn bij uitstek geschikt om vervuiling van kustwateren te onderzoeken in regio's waar wel problemen worden waargenomen, maar nog geen empirisch onderzoek is gedaan naar de oorzaken daarvan. We hebben de modellen op deze wijze succesvol toegepast op regio's in Afrika en Zuid-Amerika (Scheren et al., 2004; Van der Struijk & Kroeze, 2010; Yasin et al., 2010). In deze projecten gaan we nieuwe scenario's voor Zuidoost-Azië analyseren, waarin we op zoek gaan naar verrassende oplossingen voor lokale watervervuiling.



Figuur 11 Basin-Wide Nutrient Export (BWNE) Index voor stikstof: export van DIN (dissolved inorganic nitrogen) door rivieren als % van de N-input in stroomgebieden. Voorlopige resultaten van LOUCAL*NEWS*.

De Global *NEWS* modellen worden tevens gebruikt voor het inschatten van de emissies van lachgas (N_2O) naar de atmosfeer. Het gebruik van mest en kunstmest resulteert in een toenemend stikstofgehalte in rivierwater, waardoor meer N_2O wordt gevormd in rivieren en estuaria. Dit is een indirecte bijdrage van de landbouw aan het klimaatprobleem, die relatief lastig te kwantificeren is (Kroeze et al., 2007; Kroeze et al., 2009; Kroeze et al., 2005; Kroeze et al., 1999; Kroeze & Seitzinger, 1998a; Mosier et al., 1998). Ook worden de Global *NEWS* modellen momenteel door Wageningse studenten gebruikt voor het analyseren van de toekomst van blauwe energie (opwekking van elektriciteit uit zoet-zout gradiënten in riviermonden) (Kuleszo et al., 2009) en de zogenaamde grey waterfootprint (Liu, 2009), een indicator voor watervervuiling (Gerbens-Leenes et al., 2009; Hoekstra et al., 2009). Ik hoop dat we dit onderzoek ook bij de Open Universiteit kunnen voortzetten.

De Open Universiteit is de universiteit voor een Leven Lang Leren. Onderzoek naar toekomstige trends is een vorm van leren over de toekomst, om te kunnen anticiperen op de dingen die komen gaan. Milieumodellen en scenario's kunnen hierbij een belangrijke rol spelen, zoals geïllustreerd wordt door het werk van Serge Stalpers (Stalpers et al., 2009). Ik ben benieuwd naar de bevindingen van Merel van de Wal,

die bij ons promotieonderzoek gaat doen naar het gebruik van modellen en scenario's in dialogen tussen wetenschappers en stakeholders over aanpassingen aan toekomstige klimaatverandering in Nederland. En we zijn nieuwsgierig naar de milieubelasting van verschillende vormen van onderwijs.

Waarom beschouwen we het vakgebied van de milieutoekomstverkenningen als wetenschap? Ik hoop dat ik dat heb duidelijk gemaakt. We voorspellen geen toekomst, maar verkennen verschillende mogelijke ontwikkelingen, op zoek naar oplossingen voor problemen die voor ons liggen. We doen dit op een systematische en transparante manier. Logisch verbanden leggend, en openstaand voor de verrassingen die de toekomst voor ons in petto heeft.

Onderwijs en promovendi

Graag breek ik een lans voor onze promovendi. Zij doen uitstekend werk, en het onderzoek van universiteiten drijft daarop. Er zijn in Nederland ontwikkelingen gaande rond het promotiestelsel die mij zorgen baren. Allereerst lijkt er een beweging gaande richting het zogenaamde Anglo-Saksische promotiestelsel. Dit kenmerkt zich door een wat zachtere knip tussen de MSc- en PhD-fase dan we in Nederland gewend zijn. Er zijn buitenlandse universiteiten waar studenten aan een gecombineerd MSc/PhD-traject beginnen. Na enkele jaren wordt besloten of de betreffende student kwalificeert voor een promotietraject, of dat hij/zij een MSc-diploma krijgt. Op zich is er niet veel mis met dit stelsel, maar het lijkt in Nederland te worden aangegrepen om de promotieduur te verkorten van vier naar drie jaar. Dat is verarming en wat mij betreft een onwenselijke ontwikkeling. Het leidt zonder twijfel tot kwaliteitsverlies van de proefschriften.

Een tweede ontwikkeling betreft het afnemende enthousiasme voor interuniversitaire onderzoekscholen bij een aantal grote universiteiten in Nederland. Een groeiend aantal bestuurders van universiteiten lijkt zich op het standpunt te stellen dat onderzoekscholen lokaal (binnen de eigen universiteit) georganiseerd dienen te zijn. Maar de milieuwetenschappen zijn daar te klein voor en de promovendi worden hier de dupe van. In Nederland kennen we de onderzoekschool Milieuwetenschappen SENSE. Dit is een samenwerkingsverband tussen negen universiteiten, waaronder sinds kort de faculteit Natuurwetenschappen van de Open Universiteit. Wageningen Universiteit en de Vrije Universiteit zijn penvoerder. Er participeren ongeveer 400 promovendi in SENSE. SENSE biedt hen een onderwijsprogramma en een netwerk. De milieuwetenschappen dekken veel disciplines, variërend van milieubeleid tot milieutechnologie. Het is ondenkbaar dat de negen SENSE-universiteiten zonder samenwerking een onderwijsprogramma van voldoende breedte kunnen aanbieden aan hun promovendi. Daar hebben ze elkaar bij nodig.

Maar er is meer. In Nederland haalt ongeveer een kwart van de promovendi de eindstreep niet. Onderzoek wijst uit dat er een verband bestaat tussen het succes of falen van promotietrajecten en (1) de kwaliteit van begeleiding, (2) de kwaliteit van het onderzoeksvoorstel, en (3) het netwerk waarin de promovendus participeert. Onderzoekscholen behartigen de belangen van promovendi en dragen bij aan de training van begeleiders, de kwaliteit van onderzoeksvorstellen door een peer review proces, en bieden promovendi een netwerk. Ik ben er trots op benoemd te zijn bij een universiteit die het belang van de onderzoekscholen van harte onderschrijft.

Dankwoord

Aan het eind van dit verhaal past een woord van dank. Allereerst dank ik het College van Bestuur en de Faculteit Natuurwetenschappen van de Open Universiteit voor het in mij gestelde vertrouwen. En ik dank de directie van de Kenniseenheid Groene Ruimte, en mijn collega's van de leerstoelgroep milieusysteemanalyse van Wageningen Universiteit voor hun positieve houding ten aanzien van mijn benoeming in Heerlen.

Wetenschap bedrijven doe je niet alleen. Ik heb met veel mensen samengewerkt en van veel mensen geleerd: collega's, studenten, promovendi, en opdrachtgevers. Ik ben hen veel dank verschuldigd. Het is onmogelijk allen bij naam te noemen, en dat doe ik dus ook niet, op een aantal uitzondering na. Van een paar mensen heb ik bijzonder veel geleerd. In chronologische volgorde zijn dat Lucas Reijnders, mijn promotor en tegenwoordig weer mijn kamergenoot, van wie ik als promovenda geleerd heb wetenschap te bedrijven. Lex Bouwman, van wie ik bij het RIVM het mondiale modelleren heb geleerd, en die mij vijftien jaar geleden heeft voorgesteld aan Sybil Seitzinger, met wie ik sindsdien samenwerk. Leen Hordijk, die mij als postdoc naar Wageningen haalde, en die mij het levende voorbeeld geeft van succesvol en integer leiderschap. En Rik Leemans, die ik bewonder om zijn energie en productiviteit, en van wie ik dagelijks leer over succesvol grenswerk tussen wetenschappers en niet-wetenschappers.

Ik dank Paquita Perez en de Faculteit Natuurwetenschappen voor de hartelijke ontvangst en bijzonder prettige samenwerking in Heerlen. We hebben met de LOUCALNEWS groep een goede start gemaakt, en ik kijk uit naar onze gezamenlijke toekomst.

De leerstoelgroep milieusysteemanalyse in Wageningen is sinds lange tijd de vertrouwde basis van waaruit ik opereer. En die basis is voor een groot deel gelegd door Ria Cuperus, die mij al jarenlang veel werk uit handen neemt, vaak al voordat ik erom gevraagd heb.

Ook heeft een aantal mensen meegewerkt aan dit boekje en de voorbereidingen van de inauguratie. Annemarie, Bep, Erwin, Evelin, Indra, Iris en Janine, hartelijk dank voor jullie hulp bij de redactie en vormgeving. Meggie en Daniëlle dank ik voor hun hulp bij de organisatie van deze dag. En Lucas, Paquita, Rik, Leen, Johan en mijn vader voor hun commentaar op eerdere versies van de tekst.

Mijn ouders, schoonouders en overige familie dank ik voor hun warme belangstelling en betrokkenheid, en voor hun bereidheid om thuis in te springen als er weer eens op het laatste moment een oppas nodig is.

Tenslotte mijn drie mannen. Marcel, zonder jou had ik hier vandaag niet gestaan. En Robin en Tomas: jullie herinneren me er dagelijks aan waarom het zo belangrijk is om over de toekomst van het milieu te blijven nadenken.

Zeer geachte aanwezigen

Ik dank u hartelijk voor uw aanwezigheid en belangstelling. Ik heb gezegd!



Literatuurverwijzingen

- Alcamo, J., Van Vuuren, D., Cramer, W., Alder, J., Bennett, E., Carpenter, S., et al. (2006). Changes in Ecosystem Services and Their Drivers across the Scenarios. In S. Carpenter, P. Pingali, E. Bennett & M. Zurek. (Eds). *Millennium Ecosystem Assessment. Volume 2: Scenarios*. (pp. 297-373). Washington: Island Press.
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science, Series 5*, 41, 237-276.
- Beusen, A. H. W., Dekkers, A.L.M., Bouwman, A. F., Ludwig, W. & Harrison, J. (2005). Estimation of global river transport of sediments and associated particulate C, N, and P. *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB4S05.
- Beusen, A. H. W., Dürr, H. H., Bouwman, A. F. & Dekkers A. L. M. (2009). Global patterns of dissolved silica export to the coastal zone: Results from a spatially explicit global model. *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB0A02, doi:10.1029/2008GB003281.
- Boersema, J. J. (2009). Environmental Sciences, Sustainability and Quality. In J. J. Boersema & L. Reijnders. (Eds). *Principles of Environmental Sciences*. (pp. 3-15). Dordrecht: Springer.
- Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W. & Billen, G. (2009). Human alteration of the global nitrogen and phosphorus soil balances for the period 1970-2050. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, GB0A04, doi:10.1029/2009GB003576.
- Brink, C., Kroeze, C. & Klimont, Z. (2001a). Ammonia abatement and its impact on emissions of nitrous oxide and methane--Part 2: application for Europe. *Atmospheric Environment*, 35, 6313-6325.
- Brink, C., Kroeze, C. & Klimont, Z. (2001b). Ammonia abatement and its impact on emissions of nitrous oxide and methane in Europe--Part 1: method. *Atmospheric Environment*, 35, 6299-6312.
- Caraco, N. F. & Cole, J. J. (1999). Human Impact on Nitrate Export: An Analysis Using Major World Rivers. *Ambio*, 28, 167-170.
- Club of Rome. (1972). *Limits to Growth*.
- Club of Rome. (1993). *Beyond the Limits*.
- Club of Rome. (2004). *Limits to Growth: The 30-Year Update*.
- Club of Rome. (2009). *Amsterdam Declaration of the Global Assembly of the Club of Rome*.
- Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A. & Winiwarter, W. (2007). N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 11191-11205.
- de Mira, R. R. & Kroeze, C. (2006). Greenhouse gas emissions from willow-based electricity: a scenario analysis for Portugal and The Netherlands. *Energy Policy*, 34, 1367-1377.
- Diaz, R. J. & Rosenberg, R. (2008), Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*, 321, 926-929.
- Dumont, E., Harrison, J. A., Kroeze, C., Bakker, E. J. & Seitzinger, S. P. Global distribution and sources of DIN export to the coastal zone: results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB4S02.
- Farman, J. C., Gardiner, B. G. & Shanklin, J. D. (1985). Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315, 207-210.
- Fekete, B. M., Wissler D., Kroeze C., Mayorga E., Bouwman A.F., Wollheim W.M. & Vörösmarty C J. (2010). Millennium Ecosystem Assessment Scenario drivers (1970-2050): Climate and hydrological alterations. *Global Biogeochemical Cycles*, doi:10.1029/2009GB003587, in press
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y. & van der Meer, T.H. (2009). The water footprint of bioenergy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 10219-10223.

- Harrison, J., Bouwman, A. F., Mayorga, E. & Seitzinger, S. (2010). Magnitudes and Sources of Dissolved Inorganic Phosphorus Inputs to Surface Fresh Waters and the Coastal Zone: A New Global Model. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, GB1003, doi:10.1029/2009GB003590.
- Harrison, J. A., Caraco, N. & Seitzinger, S. P. (2005a) Global patterns and sources of dissolved organic matter export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles*, 19.
- Harrison, J. A., Seitzinger, S. P., Bouwman, A. F., Caraco, N. F., Beusen, A. H. W. & Vörösmarty, C. J. (2005b). Dissolved inorganic phosphorus export to the coastal zone: Results from a spatially explicit, global model. *Global Biogeochemical Cycles*, 19.
- Havlikova, M. & Kroeze, C. (2009). Reducing environmental impact of dairy cattle - a Czech case study. *Integrated Environmental Assessment and Management*, submitted.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M. (2009). *Water footprint manual: State of the art 2009*. Enschede, the Netherlands: Water Footprint Network.
- Ignaciuk, I., Kroeze, C., Van Ierland, E. & Roemer, M. (2002). **Models and databases to analyze interactions** between emissions of air pollutants in Europe. *World Resources Review*, 14, 25-53.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Base. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (Eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jawjit, W., Kroeze, C. & Rattanapan, S. (2009). Greenhouse Gas Emissions from Rubber Industry in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, in press, doi:10.1016/j.jclepro.2009.12.003.
- Jawjit, W., Kroeze, C., Soontaranun, W. & Hordijk, L. (2008). **Future Trends in Environmental Impact of Eucalyptus-based Kraft Pulp Industry in Thailand: A Scenario Analysis**. *Environmental Science & Policy*, 11, 545-561.
- Kroeze, C., Aerts, R., van Breemen, N, van Dam, D., Hofschreuder, P., Hoosbeek, M., et al. (2003). Uncertainties in the fate of nitrogen I: An overview of sources of uncertainty illustrated with a Dutch case study. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 66, 43-69.
- Kroeze, C., Bouwman, L. & Slomp, C. P. (2007). **Sinks for N₂O at the Earth's surface**, In D. S. Raey, M. Hewitt, J. Grace & K. A. Smith (Eds). *Greenhouse Gas Sinks*. (pp 227-243). Wallingford, UK: CAB International..
- Kroeze, C., Dumont, E. & Seitzinger S. (2009). Future Trends in Emissions of N₂O from Rivers, Estuaries and Continental Shelves. In *Fifth International Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-5)*. June 30-July 3, 2009. Submitted to *Journal of Integrative Environmental Sciences*, Wageningen, The Netherlands.
- Kroeze, C., Dumont, E. & Seitzinger, S. P. (2005). New Estimates of Global Emissions of N₂O from Rivers, Estuaries and Continental Shelves. *Environmental Sciences*, 2(2-3), 159-167.
- Kroeze, C., Middelburg, J., Leemans, R., Escobar Briones, E., Fennel, W., Glaser, M., et al. (2008). Integrating tools to assess changes in semi-enclosed marine systems. Chapter 5 for the SCOPE PACKMEDS book: *Dynamics of semi-enclosed marine systems: the integrated effects of changes in sediment and nutrient input from land*.
- Kroeze, C., Mosier, A. & Bouwman, L. (1999). **Closing the Global N₂O Budget: a Retrospective Analysis 1500 - 1994**. *Global Biogeochem. Cycles*, 13, 1-8.
- Kroeze, C. & Seitzinger, S. P. (1998a). The impact of land use on N₂O emissions from watersheds draining into the Northeastern Atlantic Ocean and European Seas. *Environmental Pollution*, 102, 149-158.
- Kroeze, C. & Seitzinger, S. P. (1998b). Nitrogen inputs to rivers, estuaries and continental shelves and related nitrous oxide emissions in 1990 and 2050: a global model. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 195-212.



- Kroeze, C., Seitzinger, S. P. & Domingues, R. (2001). Future trends in worldwide river nitrogen transport and related nitrous oxide emissions: a scenario analysis. *TheScientificWorldJournal [electronic resource]*, 1 Suppl 2, 328-335.
- Kuleszo, J., Kroeze, C., Post, J. & Fekete, B. (2009). The Potential of Blue Energy to Reduce Emissions of CO₂ and non-CO₂ Greenhouse Gases, in *Fifth International Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-5)*. June 30- July 3, 2009. Accepted for publication in the *Journal of Integrated Environmental Sciences*, Wageningen, The Netherlands.
- Leemans, R. (2008). Personal experiences with the governance of the policy-relevant IPCC and Millennium Ecosystem Assessments. *Global Environmental Change*, 18, 12-17.
- Liu, C. (2009). *The grey water footprint of rivers worldwide*. Report in preparation.
- Mayorga, E., Seitzinger, S. P., Harrison, J. A., Dumont, E., Beusen, A. H. W., Bouwman, A. F., et al. (2010). Global Nutrient Export from WaterSheds 2 (NEWS 2): Model development and implementation. *Environmental Modeling & Software*. doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.007.
- Molina, M. J. & Rowland, F. S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249, 810-812.
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. & van Cleemput, O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 225-248.
- Neto, B., Kroeze, C., Hordijk, L. & Costa, C. Selecting Environmental Systems Analysis Tools: Strengths and weaknesses for use in a decision support tool. In M. S. Alonso & I. M. Rubio (Eds). *Ecological Management: New Research*. Nova Science Publishers, Inc. NY, in press.
- Pluimers, J., Kroeze, C., Jan Bakker, E., Challa, H. & Hordijk, L. (2001). Biogenic versus abiogenic emissions from agriculture in the Netherlands and options for emission control in tomato cultivation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 209-218.
- Reijnders, L. (2006). Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. *Energy Policy*, 34, 863-876.
- Reijnders, L. (2007). The Cement Industry as a Scavenger in Industrial Ecology and the Management of Hazardous Substances. *Journal of Industrial Ecology*, 11, 15-25.
- Reijnders, L. & Huijbregts, M. A. J. (2007). Life cycle greenhouse gas emissions, fossil fuel demand and solar energy conversion efficiency in European bioethanol production for automotive purposes. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1806-1812.
- Reijnders, L. & Soret, S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78, 664S-668S.
- Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.
- Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W. A., Victor, B., Carpenter, S. R., Dakos, V., et al. (2009). Early-warning signals for critical transitions. *Nature*, 461, doi:10.1038.
- Scheren, P. A. G. M., Kroeze, C., Janssen, F. J. G., Hordijk, L. & Ptasincki, K.J. (2004). Integrated water pollution assessment of the Ebrié Lagoon, Ivory Coast, West Africa. *Journal of Marine Systems*, 44, 1-17.
- Seitzinger, S., Emilio Mayorga, E., Bouwman, A. F., Kroeze, C., Beusen, A. H. W., Billen, G., et al. (2010). Global River Nutrient Export: A Scenario Analysis of Past and Future Trends. *Global Biogeochemical Cycles*, doi:10.1029/2009GB003587, in press.
- Seitzinger, S. P., Harrison, J. A., Dumont, E., Beusen, A. H. W. & Bouwman, A. F. (2005). Sources and delivery of carbon, nitrogen, and phosphorus to the coastal zone: An overview of Global Nutrient Export from Watersheds (NEWS) models and their application. *Global Biogeochemical Cycles*, 19 GB4S01, doi:10.1029/2005GB002606.

- Seitzinger, S. P. & Kroeze, C. (1998). Global distribution of nitrous oxide production and N inputs in freshwater and coastal marine ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 12, 93-113.
- Seitzinger, S. P., Kroeze, C., Bouwman, A. F., Caraco, N., Dentener, F. & Styles, R. V. (2002). Global patterns of dissolved inorganic and particulate nitrogen inputs to coastal systems: Recent conditions and future projections. *Estuaries*, 25, 640-655.
- Selman, M., Greenhalgh, S., Diaz, R., and Zachary, S. (2008). *Eutrophication and hypoxia in coastal areas: A global assessment of the state of knowledge*. WRI Policy Note 1. World Resources Institute. 2007. EarthTrends: Environmental Information. <http://earthtrends.wri.org>. Washington DC: World Resources Institute.
- Stalpers, S. I. P., Van Ierland, E. C. & Kroeze, C. (2009). Reconciling model results with user needs to improve climate policy. *Environmental Science & Policy*, 12, 959-969.
- Tuinstra, W., Hordijk, L. & Amann, M. (1999). Using computer models in international negotiations. *Environment*, 41, 33-42.
- Tuinstra, W., Hordijk, L. & Kroeze, C. (2006). Moving boundaries in transboundary air pollution co-production of science and policy under the convention on long range transboundary air pollution. *Global Environmental Change*, 16, 349-363.
- Turner, G. (2008a). *A comparison of the limits to growth with thirty years of reality*. CSIRO Working Paper 2008-0. ISSN 1834-5638.
- Turner, G. (2008b). A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. *Global Environmental Change*, 18, 397-411.
- UNEP, O. S. (1987). *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*.
- Van der Struijk, F. & Kroeze, C. (2010). **Future Trends in Nutrient Export to the Coastal Waters of South America: Implications for Occurrence of Eutrophication**, *Global Biogeochemical Cycles*, doi:10.1029/2009GB003572, in press.
- Van Drecht, Bouwman, G., A. F., Harrison, J. & Knoop, J. M. (2009). **Global nitrogen and phosphate in urban waste water for the period 1970-2050**. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, GB0A03, doi:10.1029/2009GB003458.
- Van Notten, P. W. F., Slegers, A. M. & van Asselt, M. B. A. (2005). **The future shocks: On discontinuity and scenario development**. *Technological Forecasting and Social Change*, 72, 175-194.
- Van Vliet, A. J. H., Overeem, A., De Groot, R. S., Jacobs, A. F. G., & Spieksma F. T. M. (2002). **The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands**, *International Journal of Climatology*, 22, 1757-1767, 2002.
- Van Vliet, A. J. H., Mulder, S., Terhürne, R. L. & Bron W. A. (2009). Toekomstschets Ambrosia, De Natuurkalender. Wageningen Universiteit: Leerstoelgroep Milieusysteemanalyse,
- Velders, G. J. M., Andersen, S. O., Daniel, J. S., Fahey, D. W. & McFarland, M. (2007). **The importance of the Montreal Protocol in protecting climate**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 4814-4819.
- Velders, G. J. M., Fahey, D. W., Daniel, J. S., McFarland, M. & Andersen, S. O. (2009). **The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 10949-10954.
- Yasin, J. A., Kroeze, C. & Mayorga, E. (2010). **Nutrients Export by Rivers to the Coastal Waters of Africa: Past and Future trends**. *Global Biogeochemical Cycles*, doi:10.1029/2009GB003568, in press.



