

# Generalisme als specialisme

## Waterbeheer in de context van duurzame ontwikkeling, globalisering, onzekerheden en risico's

Rede in verkorte vorm uitgesproken bij de  
aanvaarding van het ambt van hoogleraar

### Multidisciplinair Waterbeheer

aan de Faculteit Construerende Technische Wetenschappen  
van de Universiteit Twente  
op donderdag 10 november 2005  
door:

Prof.dr.ir. Arjen Y. Hoekstra

*Waterbeheer in de context van duurzame ontwikkeling, globalisering, onzekerheden en risico's*

4

# Inhoudsopgave

Inleiding .....	7
<b>Waterbeheer: de grote vraagstukken .....</b>	<b>11</b>
Veiligheid tegen overstromingen .....	11
Basiswatervoorziening .....	14
Kwaliteit van het milieu .....	17
Water in relatie tot ruimtelijke ordening en land- en bodemgebruik .....	21
De effecten van klimaatsverandering en zeespiegelstijging .....	24
Globalisering van water .....	29
<b>Vier criteria van vooruitgang .....</b>	<b>37</b>
Efficiëntie .....	37
Rechtvaardigheid .....	49
Duurzaamheid .....	55
Zekerheid .....	64
<b>Analysemethoden van een generalist .....</b>	<b>73</b>
Systeemanalyse .....	73
Beleidsanalyse .....	77
Onzekerheidsanalyse .....	82
<b>Tot slot .....</b>	<b>89</b>
<b>Referenties .....</b>	<b>93</b>

*Waterbeheer in de context van duurzame ontwikkeling, globalisering, onzekerheden en risico's*

6

## Inleiding

*Mijnheer de Rector Magnificus, Mijnheer de Voorzitter van het College van Bestuur, collegae, studenten, familie, vrienden, zeer gewaardeerde toehoorders,*

Mensen vragen zich af hoe in een ontwikkeld land als de Verenigde Staten in deze eeuw een overstroming kon plaatsvinden als bij New Orleans [Figuur 1]. In Nederland wanen we ons veilig en worden er plannen gemaakt voor een nieuwbouwstad in de Zuidplaspolder, nu nog onderdeel van het Groene Hart van Holland. Een stad die bescherming moet bieden aan 70.000 inwoners maar wel vijf tot zes meter onder de zeespiegel ligt [5]. Waarom gaan mensen wonen op zo'n kwetsbare plek?



Figuur 1. Overstroming van New Orleans als gevolg van dijkdoorbraken tijdens de orkaan Katrina, 29 augustus 2005.



Figuur 2. De verdroging van het Aralmeer als gevolg van wateronttrekkingen uit de toevoerende rivieren ten behoeve van de irrigatie van katoen [bron: 47].

Al tientallen jaren adopteren mensen een kindje bij Plan International, het vroegere Foster Parents, tegenwoordig voor twintig euro per maand of doneren zo nu en dan eens geld aan een andere ontwikkelingsorganisatie. Desalniettemin hebben 1,1 miljard mensen in de wereld geen toegang tot schoon drinkwater en 2,4 miljard mensen geen toegang tot sanitaire voorzieningen [155]. Volgens de UNDP zou een investering van slechts 7 miljard dollar per jaar over de komende tien jaar nodig zijn om deze mensen te voorzien van goede water- en sanitaire voorzieningen [154]. Deze investering zou het leven kunnen redden van 4000 mensen per dag als gevolg van een afgenomen blootstelling aan infectieziekten. Hoewel deze investering veel geld lijkt – en voor arme landen is dat ook zo – is het niet meer dan de 7 miljard

dollar die de Europeanen jaarlijks uitgeven aan parfum. Men vraagt zich af hoe het dan kan komen dat al die mensen nu nog steeds geen beschikking over schoon water en goede sanitaire voorzieningen hebben.

Mensen kopen goedkope kleding volgens de laatste mode en kijken op televisie met verbazing naar een documentaire over het verdwijnen van het Aralmeer, waar vissersschepen liggen te verroesten in het droge zand, de vroegere zeebodem [Figuur 2]. De meeste mensen weten niet dat het water van de twee rivieren de Amu en de Syr gebruikt wordt voor het maken van katoen voor hun nieuwe broek en blouse, waardoor de rivieren niet langer voor aanvulling zorgen van het Aralmeer [92,116]. Bij de plaatselijke supermarkt kopen we koffie uit Colombia, chocolade van cacao uit Ghana, bananen uit Brazilië en de Verenigde Staten, wijn uit Frankrijk, Spanje en Zuid Afrika, rijst uit Thailand en Suriname, tarwe uit Frankrijk en garnalen uit Indonesië. In al die landen wordt niet alleen land maar worden ook lokale waterbronnen – soms regenwater, andere keren ook grond- op oppervlaktewater – gebruikt om te kunnen voorzien in onze consumptiebehoefte. De hoeveelheid water die Nederlanders op die manier in het buitenland gebruiken is 4,5 maal zo groot als de hoeveelheid die we in eigen land gebruiken [17]. Op die manier hebben wij ook iets te maken met de uitputting van de waterbronnen in het Chao Phraya stroomgebied in Thailand [155], het verdwijnen van mangroves aan de kusten van Indonesië en de vele andere waterproblemen in de genoemde landen.

Waterbeheer kan niet worden los gezien van economische consumptie en productie, ruimtelijke ordening en landgebruik, bodembeheer, klimaatsverandering, volksgezondheid, milieubeheer, handelspolitiek, ontwikkelingssamenwerking en nationale veiligheid. Begrip van effectief waterbeheer vergt dan ook een brede benadering. De titel van mijn rede is daarom “generalisme als specialisme”. Deze contradictio in terminus leek mij een goede schets te geven van het probleem waar ik voor sta bij het invullen van mijn leerstoel Multidisciplinair Waterbeheer. Maar meer nog zie ik het als een statement. De wetenschappelijke vooruitgang en de daarmee samenhangende maatschappelijke ontwikkeling die de mensheid de afgelopen anderhalve eeuw heeft doorgemaakt is goeddeels te danken aan de voortschrijdende specialisatie in kennis en productie. We zijn nu echter op een punt beland waar de specialisatie ook zijn keerzijde laat zien, namelijk fragmentatie in begrip en bestuur. Met de titel ‘generalisme als specialisme’ wil ik aangeven dat ik me hier op deze universiteit vooral zal richten op het terug krijgen van

het overzicht, het bij elkaar brengen van inzichten vanuit verschillende disciplines om tot een breder inzicht te komen dan vanuit slecht één enkele discipline mogelijk is. Ik zal me daarbij richten op het verkrijgen van inzicht in en ten behoeve van waterbeheer. De ondertitel van mijn betoog luidt: waterbeheer in de context van duurzame ontwikkeling, globalisering, onzekerheden en risico's. Ik heb daarvoor gekozen vanwege de brede maatschappelijke aandacht voor zaken als het milieu, de gevolgen van de toenemende wereldhandel en de kwetsbaarheid van onze huidige samenlevingen voor rampen van het type kleine-kans-groot-gevolg. Het gaat hier om meer dan modetrends in het maatschappelijke debat. De grenzen aan de groei, de voortgaande globalisering en de toenemende kwetsbaarheid van de moderne samenleving zullen ons dwingen de huidige manieren waarop we met water omgaan aan te passen.

Mijn stelling is dat tachtig procent van de problemen die wij waterproblemen noemen – problemen van waterschaarste, overstromingen en watervervuiling – niet door waterbeheerders kunnen worden opgelost omdat ze samenhangen met bodem- en landgebruik, landinrichting, energiegebruik, demografische ontwikkelingen, internationale handel en groei van economische productie. Die schatting van tachtig procent is niet zomaar een slag in de lucht, maar gebaseerd op uitgebreide computersimulaties die ik in de jaren negentig bij het RIVM heb uitgevoerd in het kader van mijn promotie [56]. Ik wil hier benadrukken dat mijn interesse *niet* uitgaat naar de beperkte vraag welke instrumenten de waterbeheerder ter beschikking staan om waterproblemen op te lossen. Het gaat mij om de bredere vraag op welke manieren samenlevingen in hun geheel op slimme wijze met water om zouden kunnen gaan. Deze benadering van 'goed waterbeheer' neemt een veel breder perspectief dan dat van de waterbeheerder.

Mijn betoog bestaat uit drie delen. In het eerste deel zal ik enkele van de grote vraagstukken die mijns inziens momenteel in het waterbeheer spelen de revue laten passeren. Ik beperk me daarbij niet specifiek tot de Nederlandse situatie. Binnen elk thema bespreek ik de voor waterbeheer relevante maatschappelijke ontwikkelingen en de daaruit voortvloeiende kennisvragen. Het tweede deel van mijn betoog gaat over hoe we vooruitgang kunnen meten. Goed waterbeheer is immers een leeg begrip als we niet weten wat we onder 'goed' verstaan. Ik zal vier belangrijke maatschappelijke criteria behandelen en nagaan wat ze betekenen voor waterbeheer: efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid. Ik zal laten zien dat de



manier waarop mensen in de praktijk omgaan met water in veel gevallen niet efficiënt, niet rechtvaardig en ook niet duurzaam is, en bovendien groot-schalige risico's met zich meebrengt. In het derde deel van mijn betoog laat ik kort enkele analysemethoden die de generalist ter beschikking staan de revue passeren. Ik zal vooral gebruik gaan maken van de systeemanalyse, beleidsanalyse en onzekerheidsanalyse.

# Waterbeheer: de grote vraagstukken

## Veiligheid tegen overstromingen

Het eerste grote vraagstuk van waterbeheer is de zorg voor veiligheid: het beschermen van mensen en kapitaal tegen overstromingen en de gevolgen daarvan. In een delta als Nederland kan wateroverlast van drie kanten komen: vanuit zee, van de rivieren en van boven. De laatste grote overstroming als gevolg van een dijkdoorbraak in het rivierengebied was in 1926 [Figuur 3]. Bij de watersnoodramp van februari 1953 liep door extreem hoog water op zee 2000 km<sup>2</sup> in Zuidwest-Nederland onder water en lieten ruim 1800 mensen het leven, en ook nog eens 20.000 koeien, 12.000 varkens, 1.750 paarden, 165.000 stuks pluimvee en 2.750 schapen en geiten [Figuur 4].



Figuur 3. Overstroming als gevolg van een dijkdoorbraak langs de Maas in 1926.



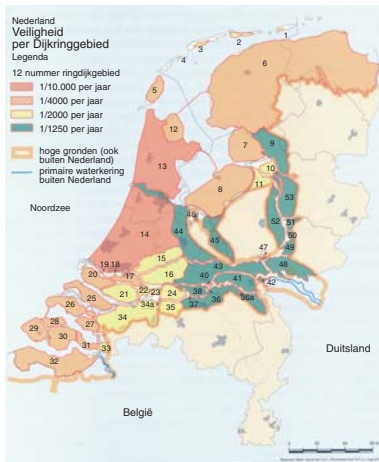
Figuur 4 De watersnoodramp in Zuidwest Nederland in 1953.

Meer recentelijk, eind 1993, werd op de Maas de hoogste afvoer sinds menselijke metingen (3120 m<sup>3</sup>/s). Ongeveer tienduizend Limburgers moesten hun huis ontvluchten toen het Maaswater zes meter hoger dan normaal kwam te staan. In januari 1995 hadden we hoogwater in de Rijn, waarbij er een piekafvoer was van ongeveer 12.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, de op één na hoogste afvoer ooit gemeten. In Gelderland werden 200 duizend mensen uit voor-

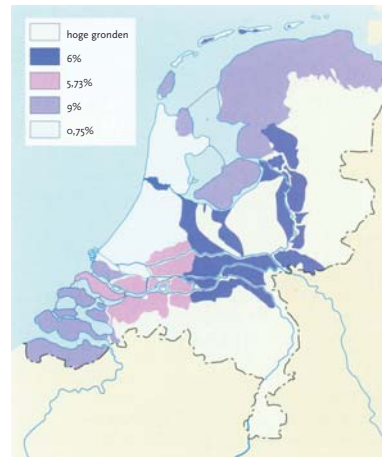
zorg uit het rivierengebied geëvacueerd. Van schade door extreme neerslag zijn ook tal van voorbeelden. In de zomer van 2002 zorgde hevige neerslag voor grote wateroverlast in Duitsland en Tsjechië. Ook in ons land zijn in dat jaar in korte tijd grote hoeveelheden regen gevallen die veel schade hebben aangericht. Door de wateroverlast was er bijvoorbeeld grote schade aan kassen en gewassen in het Westland en zagen veel akkerbouwers hun oogst voor dat jaar gedeeltelijk verloren gaan.

Volgens de Rijnatlas van de Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn [68] wonen in de gebieden langs de Rijn die tijdens situaties met extreem hoogwater overstromen 10,7 miljoen mensen. De grootste gevolgen zijn voorzien in de Rijndelta, waar 8,6 miljoen mensen de gevolgen van overstroming door de Rijn zouden kunnen ondervinden. Volgens de Rijnatlas is de potentiële materiele schade bij extreme overstromingen in de Rijndelta als gevolg van extreem hoogwater in de Rijn 131 miljard euro, waarvan 85% als gevolg van het verloren gaan van bebouwing. Deze cijfers slaan alleen op de directe kosten, het verloren gaan van aanwezig kapitaal, en niet op alle indirecte vervolggkosten. Andere studies laten daarom veel grotere bedragen zien [41,78,121].

Sinds het sluiten van de dijkringen en het afnemen van de frequentie van overstromingen heeft het Nederlandse beleid zich hoofdzakelijk gericht op het beheersen van de kansen van overstromingen, niet zozeer op het voorbereid zijn op de mogelijke gevolgen en het nemen van maatregelen om de potentiële schade te beperken. Risico's van overstromingen – te kwantificeren door de waarschijnlijkheid van overstromen te vermenigvuldigen met de te verwachten schade van overstromen – zijn dus eenzijdig gemanaged door te concentreren op de eerste factor in de vergelijking. Deze focus, samen met het gebrek aan communicatie over risico's, heeft een onterecht gevoel van veiligheid gecreëerd en een ontrechte verwachting dat de overheid veiligheid kan garanderen. De overheid kan echter natuurlijke variabiliteit niet beheersen, zodat extreme gebeurtenissen zullen blijven optreden. Deze notie veroorzaakt nu een langzame verandering in het denken over beleid, waarin steeds meer aandacht komt voor de mogelijke gevolgen van overstromingen en de maatregelen die genomen kunnen worden om de schade te beperken. Nieuwe concepten als ruimte voor water, ruimte voor de rivier, kwetsbaarheid en veerkracht doen hun intrede. We zien dit terug in de recente beleidsdocumenten en achtergrondstudies in zowel het Nederlandse kustbeleid [98] als het rivierenbeleid [77,96,122,162].



Figuur 5. Toegestane overschrijdingsfrequentie per dijkkring in Nederland zoals vastgelegd in de Wet op de Waterkering uit 1996 [bron: 149].



Figuur 6. Kans van overstrooming in een mensenleven, gebaseerd op de wettelijke overschrijdingsfrequenties en een gemiddelde levensduur van 75 jaar [bron: 158].

Het huidige Nederlandse beleid tegen overstromingen, waarvan de principes zijn neergelegd in de Wet op de Waterkering van 1996, is gebaseerd op de benadering zoals ontwikkeld door de Deltacommissie in de jaren zestig van de vorige eeuw. Deze benadering gaat er van uit dat dijken en andere verdedigingswerken sterk genoeg moeten zijn om een bepaalde maatgevende hoogwaterstand te kunnen keren. Een maatgevende hoogwaterstand wordt afgeleid van de maatgevende hoogwaterafvoer, die op zijn beurt wordt afgeleid van een bij wet geregelde overschrijdingsfrequentie. De overschrijdingsfrequenties zoals die in Nederland momenteel worden gehanteerd ziet u weergegeven in Figuur 5. In Holland geldt een overschrijdingsfrequentie van eens in de tienduizend jaar, in Zeeland en de noordelijke provincies een frequentie van eens in de 4000 jaar, in het rivierengebied eens in de 1250 jaar en in het tussengebied waar zowel de zee als de rivier hun invloed doen gelden een frequentie van eens in de 2000 jaar. Als je deze normen omrekent naar de overschrijdingskans in een mensenleven, waarbij we een mensenleven op 75 jaar stellen, dan komen we op kansen die liggen tussen 0,75 en 6 procent in één mensenleven [Figuur 6].

In operationele termen bestaan maatregelen ten behoeve van veiligheid in Nederland hoofdzakelijk uit maatregelen ter versterking van de verdedigingsinfrastructuur. Aan de kust draait het vooral om de verscheidene dammen en stormvloedkeringen en om zandsuppleties om het kustfundament en de duinen te handhaven. Bij de rivieren is het eigenlijk altijd om dijkversterkingen gegaan. Hoewel de kansen van overstromingen in Nederland klein zijn, is de potentiële schade erg hoog. De Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> Eeuw stelt in haar advies van 2000 letterlijk: “Dijkverhoging ziet de Commissie niet als een duurzaam alternatief. Dijkverhoging betekent in wezen verhoging van de risico’s. Gaat het ooit mis, dan gaat het ook ernstig mis” [24].

Het maatschappelijke belang van veiligheid is evident. Maar waarom hebben zoveel landen, inclusief Nederland, dat vraagstuk dan niet op orde? De reden is dat het blijkbaar niet zo simpel is om risico’s uit te bannen. De relevante wetenschappelijke vraag is hier: welke combinatie van technische, economische, juridische, en bestuurlijke maatregelen zou kunnen bijdragen aan een betere beheersing van de risico’s, en in het bijzonder aan een verkleining van de maatschappelijke kwetsbaarheid voor overstromingen? En: wat voor een institutionele setting zou kunnen bijdragen aan het scheppen van de juiste voorwaarden en context om tot effectieve keuzes te kunnen komen?

## Basiswatervoorziening

Naast het vraagstuk van de overstromingen is er uiteraard het vraagstuk van de waterschaarste. Waterschaarste is iets dat bijna overal op de wereld speelt, zowel in droge als in vochtige streken. Bij schaarste gaat het vooral om de verhouding tussen de vraag naar water en de aanwezigheid ervan. Bevolkingsgroei en een toename in het watergebruik per hoofd van de bevolking hebben ervoor gezorgd dat de onttrekkingen uit grond- en oppervlaktewater in de wereld in de twintigste eeuw zijn verzevenvoudigd [142]. Aangezien neerslag en afvoeren binnen bepaalde bandbreedtes redelijk constant zijn gebleven, betekent dit dat het gebruik van het beschikbare water steeds intensiever is geworden. We zijn nu op een punt beland waarop we niet aan de vraag ontkomen of de beschikbare neerslag voldoende is om in de toekomst te kunnen blijven voorzien in onze basiswaterbehoeften voor drinkwater en voedsel.

Sandra Postel, Gretchen Daily en Paul Ehrlich laten in hun 1996-artikel in *Science* zien dat ongeveer een kwart van de totale neerslag over land door de mens in gebruik is [117]. Neerslag boven land splitst zich in twee componenten: verdamping en afvoer. De mens benut iets meer dan een kwart van de verdamping en ongeveer 17% van de afvoer. Op zich klinkt dat alsof er nog genoeg ruimte voor groei is, maar de schijn bedriegt als we bedenken dat veel van de verdamping en afvoer plaatsvindt op de plaatsen en tijdstippen waarop het moeilijk benutbaar is. Grofweg de helft van de totale rivierafvoer in de wereld stroomt bijvoorbeeld af gedurende hoogwaterperiodes, precies de periodes waarop we het water niet nodig hebben. En aan indammen van rivieren om water te bergen tot de droge periode zitten fysieke, economische en maatschappelijke grenzen. Daarnaast stroomt bijna twintig procent van de totale rivierafvoer in de wereld in relatief ongestoorde stroomgebieden, waarvan de stroomgebieden van de Amazone en de Congo de belangrijkste zijn. Benutting van dat water zou betekenen dat we de laatste grote regenwouden en andere onontgonnen gebieden zouden moeten opgeven.

Gegeven de verwachting dat de wereldbevolking gedurende de komende decennia zal doorgroeien van de huidige 6,4 miljard naar 9 miljard in het midden van deze eeuw [156] is de vraag op welke wijze de mensheid de komende decennia in haar basiswaterbehoefte gaat voorzien. Ik doel daarbij op de hoeveelheden water die nodig zijn om de mensen van drinkwater te voorzien en om voedsel te verbouwen. Het gaat feitelijk vooral om het laatste, want een mens kan overleven met 50 liter per dag om te drinken, koken en wassen [48], maar voor een basisvoedselpakket van 2500-3000 kcal/dag zijn enkele duizenden liters nodig. Hoeveel water precies nodig is hangt vooral af van de samenstelling van het voedselpakket en het klimaat en de



*Figuur 7. Rijstveld West Java, Indonesië.*



*Figuur 8. Landbouw in Jemen.*

landbouwtechniek waaronder het voedsel wordt geproduceerd [Figuren 7-8]. Gemiddeld zou het volgens Malin Falkenmark en Johan Rockstrom neerkomen op 1300 tot 1600 m<sup>3</sup> per jaar per persoon voor de productie van het basisvoedselpakket [42].

Er heerst een controverse over de rol die irrigatie zou kunnen spelen in het voorzien van de groeiende voedselvraag. Aan de ene kant is bekend dat de opbrengsten in irrigatiegebieden gemiddeld veel hoger zijn dan in gebieden die het van de regen moeten hebben. Dat komt door een combinatie van het gebruik van irrigatiewater, kunstmest en pesticiden en soms ook nog door de keuze van gewasvariëteit. Aan de andere kant zijn er de nadelige milieueffecten van dammen, wateronttrekkingen en watervervuiling die aangeven dat de grenzen van verdere uitbreiding van irrigatie in zicht zijn. Daarom wordt er in toenemende mate gestudeerd op verbetering van de op regen gebaseerde landbouw. In grote ontwikkelingslanden zoals India en China zie je echter nog steeds een focus op dammen en andere grote ingenieursprojecten, zoals het overbrengen van water over grote afstanden van stroomgebieden met genoeg water naar stroomgebieden met tekorten. Vanuit een westerse context zijn we geneigd dit soort ontwikkelingen te zien als onverstandige, megalomane projecten. Het is echter een uitdaging om samen met collega's uit deze landen vooraf en desnoods achteraf de gevolgen van deze grote projecten te onderzoeken en alternatieve oplossingen voor waterschaarste te ontwikkelen.

Een andere controverse in de voedseldiscussie is wat prioriteit verdient: productie voor handel en export of productie voor eigen consumptie. Je ziet dat zowel nationale overheden als internationale instellingen als de Wereldbank en het IMF vooral aandacht hebben voor handelsgewassen, terwijl een belangrijk deel van de grote armoede in de wereld ligt op het platteland waar mensen moeite hebben om in hun eigen levensonderhoud te voorzien. Deze controverse van productie voor handel versus productie voor eigen consumptie loopt deels parallel aan de controverse tussen investeren in grootschalige irrigatie of in kleinschaliger regengevoede landbouw, omdat grootschalige irrigatie meestal wordt toegepast voor de productie van handelsgewassen, vaak voor export. Gezien het feit dat alom overeenstemming bestaat over het feit dat voedsel- en watertekorten vooralsnog meer verdeelvraagstukken zijn dan problemen van absolute tekorten, zal ik me in mijn wateronderzoek dan ook meer richten op het waterverdelingsvraagstuk dan op het vraagstuk hoe steeds meer te produceren.

Watervoorziening is tot voor kort het domein van ingenieurs geweest; het ging vooral om kennis over de infrastructuur om water naar de verschillende gebruikers te brengen: dammen, waterdistributie-infrastructuur, waterzuivering, irrigatiewerken, etc. Hoewel deze kennis belangrijk blijft is er daarnaast steeds meer behoefte aan kennis over hoe de vraag naar water in te dammen. Ook hier kan techniek een belangrijke rol spelen, bijvoorbeeld als het gaat om het reduceren van waterverliezen en het recyclen van water. Daarnaast gaat het echter ook om andere kennis: hoe beïnvloedt de prijsstelling van water de vraag, en hoe kunnen huishoudens en boeren worden gemotiveerd om waterbesparende technieken te gaan gebruiken en om het gebruikspatroon zodanig aan te passen dat de totale watervraag minder is? Kortom, de grote kennisvraag is hier hoe onder verschillende klimatologische en culturele randvoorwaarden een effectieve balans te vinden tussen technische en maatschappelijke maatregelen.

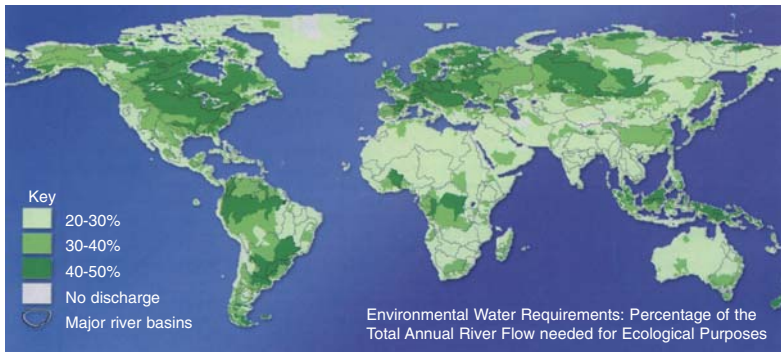
## Kwaliteit van het milieu

Het derde grote waterbeheersvraagstuk in de komende decennia is het zorgdragen voor een goede kwaliteit van onze omgeving, zowel vanuit het belang van de eigen soort als vanuit respect voor ander leven. De verstoringen van watersystemen door menselijke activiteiten zijn evident. De toename in rivierwateronttrekkingen heeft in verscheidene gevallen tot droge rivierbeddingen geleid, zoals bij de Colorado Rivier in Noord Amerika of de Gele Rivier in China. Gedurende de twintigste eeuw steeg het oppervlak geïrrigeerde landbouw met een factor zes [142]. De afgelopen vijftig jaar zijn in groot tempo dammen aangelegd. Het totale maximale volume van alle kunstmatig aangelegde reservoirs in de wereld samen wordt nu geschat op 6000-6500 miljard m<sup>3</sup> [105,141]. Met dit volume kan 15% van de totale jaarlijkse rivierafvoer in de wereld worden vastgehouden. Samen zorgen die reservoirs voor een extra verdamping van 210 miljard m<sup>3</sup> per jaar [141]. Meer dan de helft van de grote riviersystemen in de wereld zijn gefragmenteerd en gereguleerd door dammen [105]. Als gevolg van landaanwinning, drooglegging en rivierregulatie is gedurende de twintigste eeuw ongeveer de helft van 's werelds wetlands verloren gegaan [21,108]. Volgens het WWF zijn gedurende de twintigste eeuw 91 zoetwatervissoorten in het wild uitgestorven. De zoetwater index van het WWF, die veranderingen meet in het voorkomen van 323 zoetwatersoorten liet in de periode 1970-2000 een afname van 50% zien [84].



De verstoringen van watersystemen gedurende de afgelopen eeuw zijn evident, maar het is een illusie om te denken dat de mensheid zich zo zou kunnen aanpassen dat er geen verstoringen van de watersystemen meer zijn. Dat is ook niet nodig. De grote vraag echter, ook interessant vanuit onderzoeksperspectief, is waar de grenzen liggen van de verstoringen met het oog op het behoud van een grote biodiversiteit inclusief onze eigen soort. Het is verleidelijk om Nederland als referentie te nemen voor de mogelijkheden van het volledig maakbare milieu. Er bestaat geen waterloop in Nederland waarover niet is nagedacht. Zelfs de schijnbaar natuurlijke waterlopen zijn dat volgens planning. Momenteel zijn verschillende waterschappen in Nederland bezig met het terugbrengen van beekjes in een meer natuurlijke staat. Ook langs de grote rivieren zijn er zogenaamde natuurontwikkelingsprojecten. Na door een diep dal te zijn gegaan in de zestiger en zeventiger jaren gaat het weer de goede kant op met de waterkwaliteit in veel van de Nederlandse wateren. Afgezien van de uitdagingen die we nog hebben om te voldoen aan alle vereisten die ons door de Europese Kaderrichtlijn Water worden opgelegd, zouden we de indruk kunnen krijgen dat we wel richting een duurzame relatie met ons watermilieu bewegen. Schijn bedriegt echter als we beseffen dat het grootste deel van de milieueffecten van onze consumptie afgewenteld wordt op het buitenland. Ik kom daar later op terug.

Wetenschappelijk onderzoek naar de relatie tussen waterbeheer en milieukwaliteit spitst zich momenteel toe op drie gebieden: ecologische waterbehoeften, waterkwaliteitsbeheer en beheer van wetlands zoals overstromingsvlakten en moeraslanden. In verband met tijdgebrek zoom ik nu in op het onderzoek naar ecologische waterbehoeften. De vraag spitst zich hier toe op hoe verstoringen in de natuurlijke afvoer effect hebben op de ecosystemen die van de waterafvoer afhankelijk zijn. In het toewijzen van water naar verschillende sectoren is het milieu meestal de sluitpost. Waterbeheerders proberen vaak eerst aan de watervraag vanuit de landbouw, industrie en huishoudens te voldoen. Op verschillende plekken in de wereld heeft dit inmiddels geleid tot lege rivierbeddingen, opdrogende meren en uitgeputte grondwatervoorraden. Zoetwaterecosystemen en wetlands hebben echter een zekere hoeveelheid water nodig als basis voor de ecologische processen en biodiversiteit. Het wordt in toenemende mate belangrijk om te weten hoeveel water nodig is – in termen van watertoevoer, verblijftijd, afvoer en variaties in de tijd – om zoetwaterecosystemen en wetlands duurzaam te onderhouden. Hoewel het onderzoek nog in de kinderschoenen staat zijn er wel enkele studies beschikbaar die kijken hoeveel water er in het natuurlijke



Figuur 9. Ecologische watervraag per stroomgebied uitgedrukt in een percentage van de natuurlijke jaarlijkse afvoer [bron: 146].

systeem moet achterblijven om te kunnen voldoen aan minimale vereisten bezien vanuit het ecosysteem. Een studie van het IWMI in samenwerking met de IUCN, WRI en de Universiteit van Kassel naar de zogenaamde watervraag van het milieu laat zien dat grofweg tussen de 20 en 50 procent van de natuurlijke afvoer behouden zou moeten blijven in het systeem [Figuur 9]. De studie gaat er van uit dat de hydrologische variabiliteit de primaire kracht is achter de ecologische processen in zoetwaterecosystemen. Op basis hiervan wordt er van uitgegaan dat ecosystemen in stroomgebieden met sterke variaties in het hydrologische regiem met een kleinere fractie van de natuurlijke afvoer af kunnen dan ecosystemen in stroomgebieden met een relatief lage variabiliteit over het jaar [146]. De gedachte hierachter is dat ecosystemen met grote variaties al aangepast zijn aan perioden van droogte, waardoor de minimum waterbehoefte vooral bestaat uit een piekafvoer in de natte tijd. Ecosystemen zonder grote variaties zijn kwetsbaarder voor droogte, waardoor de minimum waterbehoefte gedomineerd wordt door een bepaalde minimum stabiele afvoer gedurende het hele jaar. De kennis om dit soort uitspraken te kunnen doen is nog erg zwak en waarschijnlijk veel contextspecifieker dan waar de onderzoekers van voornoemde studie van uit zijn gegaan. Maar afgezien van het feit dat de ecologische processen vaak maar ten dele worden begrepen, waardoor voorspellen niet mogelijk is, is de kwestie van welke ecologische normen moeten worden gehanteerd sowieso een moeilijke zaak. Hoewel er soms kritieke punten zijn waar ecosystemen omslaan van de ene stabiele toestand in de andere, waarna het moeizaam is terug te komen in de oorspronkelijke toestand [133], is het effect van versto-

ringen in veel gevallen gradueel, waardoor het een moeilijke en deels subjectieve kwestie wordt op welk punt precies een verstoring als te groot wordt bestempeld. Wel is duidelijk dat wat vanuit ecologisch oogpunt wenselijk is, niet is te omschrijven met één indicator (bijvoorbeeld de jaarlijkse afvoer). Naast de minimale doorstroom zou men ook moeten kijken naar de functie van afvoerextremen, seizoensfluctuaties en variaties over de jaren. Daarnaast is uiteraard relevant hoe men omgaat met het land aan weerszijden van de rivier, de ruimte voor meanderen en vrije overstroming. Tot slot is het vanuit ecologisch oogpunt – vooral vanuit het oogpunt van vistrek – erg belangrijk dat rivieren in de lengte niet worden gefragmenteerd door barrières als dammen of stuwen [85,105]. Alhoewel beheerders uiteraard dolgraag informatie van ecologen verkrijgen over welke waterbehoeften er vanuit het natuurlijke systeem zijn, opdat daar rekening mee kan worden gehouden bij de allocatie van water naar andere gebruikers, schuilt in het kwantificeren van de ecologische waterbehoefte het gevaar dat de natuur wordt gezien als een simpele toevoeging van nog een gebruiker aan de lijst van andere watervragende sectoren [73]. Deze benadering gaat voorbij aan het feit dat het natuurlijke ecosysteem niet alleen een gewaardeerde sector voor de natuurrecreant is, maar vooral de basis van al het leven.

In het onderzoek op het gebied van water en milieu zal ik me vooral richten op de vraag hoe het duurzaam in stand houden van zoetwaterecosystemen en wetlands kan worden meegenomen in het vraagstuk naar de allocatie van water. Ik zal dus kijken naar vragen zoals: Hoe verloopt de graduele of sprongsgewijze verstoring van een ecosysteem als functie van een toenevende verandering van de natuurlijke dynamiek in een rivier of estuarium als gevolg van regulering en onttrekkingen? Welke fractie van de hoeveelheid grondwater die jaarlijks volgens natuurlijke wijze wordt aangevuld kan worden onttrokken voor gebruik door de mens? Het moge duidelijk zijn – ik ben geen ecooloog – dat ik hier geen diepgaand ecologisch onderzoek wil gaan doen, maar wel dat ik bestaande kennis wil synthetiseren en vertalen naar kennis die relevant is voor lange-termijn planning en beheer.

## Water in relatie tot ruimtelijke ordening en land- en bodemgebruik

Ik kom nu op het vierde grote vraagstuk in het waterbeheer, namelijk hoe om te gaan met de schijnbaar onomkeerbare reeks van veranderingen die we in elk stroomgebied waar dan ook ter wereld kunnen waarnemen. Ik doel op de typische wijze waarop land-, bodem- en watergebruik zich doorgaans in een stroomgebied in de loop der tijd ontwikkelen en de daarmee samenhangende veranderingen in de hydrologie en de dientengevolge optredende waterproblemen.

Laat ik die typische, ik zou haast zeggen universele, reeks veranderingen die stroomgebieden meemaken eens op een rij zetten. Ik realiseer me dat ik generaliseer, maar dat voldoet voor de grove schets die ik beoog te maken. Bevolkingsgroei en intensiever landgebruik leiden in het algemeen tot meer verhard oppervlak en kalere hellingen. Dit resulteert in verminderde interceptie en transpiratie, minder verdamping dus, en een versnelde oppervlakkige afvoer, minder grondwateraanvulling dus [145]. Minder water wordt vastgehouden in de haarvaten van het stroomgebied, de bodem en bodembedekking. Onzorgvuldig bodembeheer in combinatie met de versnelde



Figuur 10. Erosie door onzorgvuldige landbouw in de provincie Yunnan, China.

oppervlakkige afvoer zorgen voor een verhoogde erosie en dus sedimentafvoer in de rivieren [148] [Figuur 10]. De versnelde afvoer leidt tot grotere piekafvoeren in de rivier en de afgenomen grondwateraanvulling en dus lagere grondwateruitstroming leidt tot een kleinere basisafvoer in de rivieren. Toegenomen vraag naar veiligheid langs de rivieren en de toegenomen vraag naar water ten behoeve van landbouw en steden doet mensen besluiten dammen te bouwen om op die manier kunstmatige reservoirs te creëren. De grotere piekafvoeren en de lagere basisafvoeren verhogen alleen maar de noodzaak van deze dammen. De reservoirs worden op een zodanige manier beheerd dat de piekafvoeren worden afgetopt en de basisafvoer vergroot. Dat laatste is alleen mogelijk als het water dat wordt geborgen in de natte periode niet wordt gebruikt voor irrigatie of stedelijke watervoorziening bovenstrooms in de droge periode. Op de lange duur vullen de reservoirs achter de dammen zich onvermijdelijk met het sediment dat onophoudelijk van bovenstrooms wordt aangevoerd, waardoor de capaciteit van de reservoirs langzaam afneemt [148,167]. De dammen fragmenteren de rivier in de lengterichting, met als resultaat dat vitale ecologische verbanden tussen beneden- en bovenstrooms worden afgebroken [105]. De benedenstroomse delen van rivieren worden intussen gekanaliseerd ten behoeve van de bevaarbaarheid van de rivieren in de droge periode. Ook versmalt men de vrije ruimte van de rivier in verband met de veiligheid van wonen langs de rivier. Als gevolg daarvan wordt de vroegere overstromingsvlakte niet langer vruchtbaar gehouden door de periodieke afzetting van sediment, waardoor kunstmatige bemesting noodzakelijk wordt.

Dit is in een notendop datgene wat er in grofweg de helft van de stroomgebieden in de wereld is gebeurd of aan het gebeuren is en in de andere helft nog staat te gebeuren. Natuurlijk zijn er aanzienlijke verschillen tussen droge en natte streken en tussen gebieden met relatief gelijkmatige afvoer en gebieden met grote variaties over de seizoenen. Dat maakt dat de relatieve aandacht die uitgaat naar het temmen van de afvoerpieken versus het overbruggen van de droge periode van geval tot geval verschilt. Maar dat doet weinig af aan de in algemene termen beschreven ontwikkelingsreeks.

Er dringen zich twee vragen op. Ten eerste: is dit echt een onvermijdelijke ontwikkelingsreeks? Ten tweede: wanneer houdt de ontwikkeling op en hoe stabiliseert het systeem zich weer? Deze vragen beantwoorden is een stuk lastiger dan een snelle beschrijving van de min of meer standaard ontwikkelingsreeks. In de stroomgebieden die de reeks nog niet volledig hebben door-

lopen, zoals de stroomgebieden van de Mekong of de Yangtze, zie je dat er gewoon hard wordt verder gewerkt naar een verdere vervolmaking van de reeks. Ik bedoel dus: er komen nog steeds nieuwe dammen, de ontbossing gaat voort, de erosie neemt nog steeds toe, et cetera. In de stroomgebieden die de reeks al wel volledig hebben doorlopen, waaronder het Rijnstroomgebied, zie je dat men verdere dammenbouw een halt heeft toegeroepen, dat de ontbossing is gestopt en dat men op zoek is naar manieren waarop men bovenstrooms het water beter zou kunnen vasthouden en benedenstrooms ruimte kan teruggeven aan de rivier. In feite probeert men de oorspronkelijke natuurlijke omstandigheden enigszins terug te krijgen.

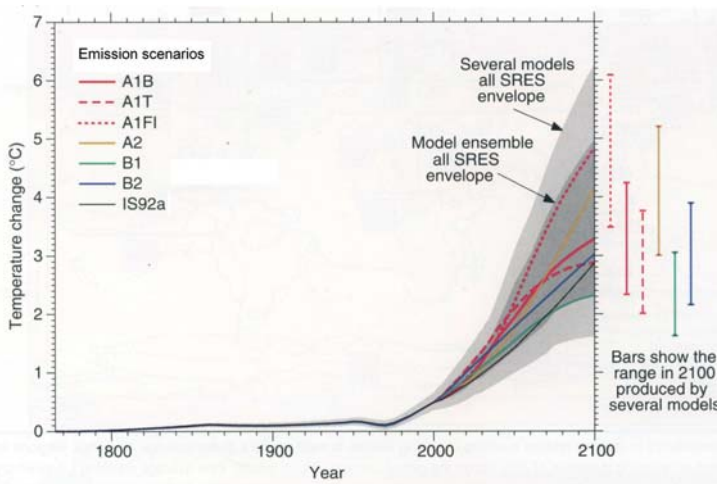
Een uitdagende vraag is welke mogelijkheden de nog minder ontwikkelde stroomgebieden in de wereld hebben. Geven wij, West-Europeanen, met het ontwikkelingstraject van het Rijnstroomgebied het na te volgen voorbeeld? Het lijkt nogal een omweg om een rivier eerst helemaal te reguleren en te vervuilen om dan vervolgens te kijken hoe je de rivier weer meer de vrije hand kan geven en schoon kan krijgen. In een exploratief onderzoekje dat ik met Floris van Ogtrop, een student van UNESCO-IHE heb gedaan in samenwerking met DWW en RIKZ, hebben we gekeken naar de mogelijkheid van een afsteekroute in de ontwikkelingsreeks [16]. In een case studie voor de benedenloop van de Incomati in Mozambique hebben we laten zien dat zo'n afsteekroute mogelijk is. De fase van het benedenstroomse afknijpen van de rivier wordt daarbij overgeslagen, waardoor men van een min of meer ongecontroleerde situatie meteen in een gepland ruimte-voor-de-rivier scenario terecht komt. Een dergelijke afsteekroute brengt echter op korte termijn hogere kosten en lagere baten met zich mee dan een striktere reguleringsstrategie. Het is vooral de langere termijn waarop deze afsteekroute loont.

Ik kom nog even terug op de vraag of wij in het Rijnstroomgebied een voorbeeldfunctie vervullen. Bij het beantwoorden van die vraag hangt het er ook van af over welk gebied we het hebben. Lange tijd is door westerse ingenieurs gedacht dat Bangladesh vergelijkbaar was met Nederland en dat de steeds weer terugkerende grootschalige overstromingen op te lossen zijn op een zelfde manier als wij dat in Nederland hebben gedaan: bedijken en inpolderen. Intussen is men er wel achter dat de delta van de Ganges-Brahmaputra de delta van de Rijn-Maas niet is [22]. Ten eerste is de jaarlijkse afvoer van de Ganges en Brahmaputra samen 12 tot 16 maal zo groot als de afvoer van de Rijn en de Maas [47]. Ten tweede is het verschil tussen lage en hoge afvoeren in Bangladesh veel groter dan in Nederland. Ten derde heeft

Bangladesh te kampen met tropische cyclonen die geregeld vanuit de Indische Oceaan de Baai van Bengalen binnentrekken en tot overstromingen leiden. Kortom, de omstandigheden zijn vele malen extremer. Een deltasysteem als dat van de Ganges-Brahmaputra is veel minder eenvoudig te temmen dan een deltasysteem als van de Rijn-Maas, waardoor er waarschijnlijk ook niet veel andere keus is dan voorbereid te zijn op de overstromingen in plaats van ze uit te bannen.

## De effecten van klimaatsverandering en zeespiegelstijging

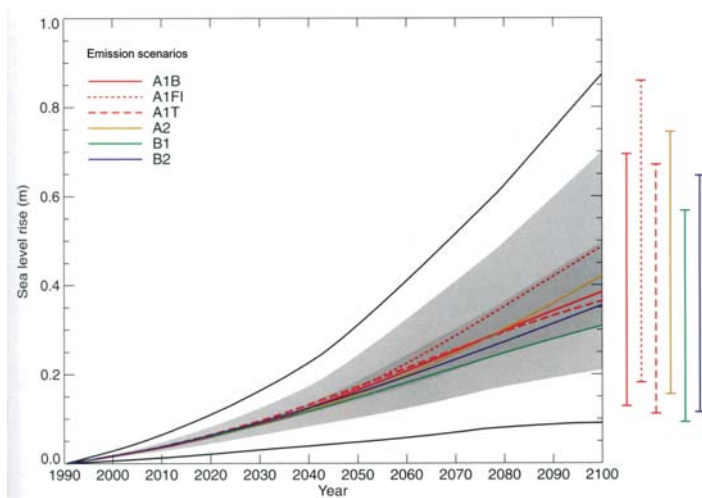
Een volgend groot vraagstuk in waterbeheer is hoe we kunnen anticiperen op klimaatsverandering en zeespiegelstijging. Zelfs al zou de mensheid in staat zijn om met onmiddellijke ingang de uitstoot van broeikasgassen te stabiliseren, dan nog zouden de ingezette klimaatsverandering en zeespiegelstijging onstuitbaar zijn. Over de twintigste eeuw is de mondiaal gemiddelde temperatuur aan het oppervlak van land en zee gestegen met 0,4 tot 0,8 graden Celsius [64]. Mondiaal gezien vormden de jaren negentig van de twintigste eeuw waarschijnlijk het warmste decennium en was 1998 het warmste jaar in de periode sinds 1861 dat er wordt gemeten. Gebaseerd op schattingen voor de Noordelijke Hemisfeer schat het Intergovernmental



Figuur 11. Geschatte en voorspelde oppervlaktetemperatuur van de aarde over de periode 1760-2100 [bron: 64].

Panel on Climate Change (IPCC) dat de opwarming gedurende de twintigste eeuw waarschijnlijk groter was dan gedurende enige andere eeuw gedurende de afgelopen duizend jaar. Volgens het derde klimaatrapport van de IPCC uit 2001 zal de mondiaal gemiddelde oppervlaktetemperatuur naar verwachting tussen de 1,4 en 5,8 graden Celsius stijgen in de periode 1990-2100 [Figuur 11]. De geprojecteerde snelheid van opwarming is veel groter dan de geobserveerde veranderingen gedurende de twintigste eeuw en is, gebaseerd op paleoklimatologische gegevens, waarschijnlijk zonder precedent gedurende op zijn minst de laatste tienduizend jaar. De grote onzekerheidsmarge in de schatting van de IPCC heeft te maken met aan de ene kant onzekerheden in de toekomstige uitstoot van broeikasgassen en aan de andere kant onzekerheden over de reactie van het klimaatsysteem.

De IPCC schat verder dat de gemiddelde zeespiegel in de periode 1990-2100 tussen de 9 en 88 cm zal stijgen [Figuur 12]. In de periode 1990-2000 is de zeespiegel 10 tot 20 cm gestegen [64]. De IPCC schrijft de voorspelde stijging van de zeespiegel hoofdzakelijk toe aan thermische expansie van de oceaan.



Figuur 12. Scenario's voor de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging voor de periode 1990-2100 [bron: 64].

Ik heb reeds in mijn dissertatie aangegeven dat het effect van wereldwijde grondwateronttrekkingen op de zeespiegel mogelijk wordt onderschat [56].

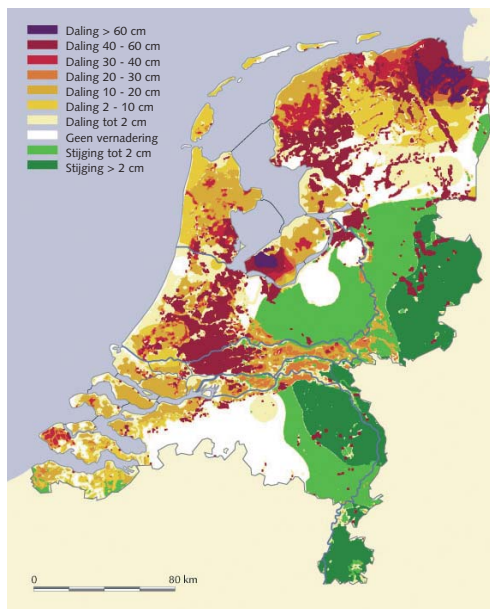


Tot nu toe gaat de IPCC er nog van uit dat de hoeveelheid water op land ongeveer gelijk blijft [64]. Aan de ene kant neemt de hoeveelheid water op land toe, doordat er steeds meer water in kunstmatige reservoirs wordt opgeslagen, maar aan de andere kant nemen de grondwatervoorraden af door grondwateronttrekkingen [130]. Bij diepe grondwaterreservoirs, met verblijftijden van tientallen tot duizenden jaren resulteert elke onttrokken kubieke meter water uiteindelijk tot een daarmee equivalente zeespiegelstijging. Bij ondiepe grondwaterreservoirs leiden de onttrekkingen tot grondwaterstanddalingen zodra zij een significante fractie van de natuurlijke aanvulling vormen. Er zijn plaatselijk grondwaterstanddalingen van tientallen meters gemeten [141]. Achterop een luciferdoosje kan je uitrekenen dat als over het hele landoppervlak van de wereld de grondwaterstanden met een meter zouden worden verlaagd, dit betekent dat, rekening houdend met de porositeit van de bodem, effectief een waterlaagje van zeg 30 cm is verdwenen, wat uitgespreid over de wereldzeeën een zeespiegelstijging van 11 cm geeft (uitgaand van een landoppervlak van 130 miljoen km<sup>2</sup>, dat is excl. Antarctica en Groenland, en een oceaanoppervlak van 360 miljoen km<sup>2</sup>). We kunnen ook een andere simpele rekensom maken. Als de mens 1% van de totale zoetgrondwatervoorraad op aarde, die ruw geschat is op  $10 \times 10^{15} \text{ m}^3$  [140,141], effectief onttrekt, dan resulteert dat in een zeespiegelstijging van 30 cm. De grote vraag is natuurlijk wat de werkelijke effectieve grondwateronttrekkingen op aarde in het verleden zijn geweest en in de toekomst zouden kunnen zijn. Momenteel zijn hier te weinig gegevens over om definitieve uitspraken te doen en zijn we dus aangewezen op modelstudies. Gornitz e.a. hebben de zeespiegelstijging als gevolg van de afname van de grondwatervoorraad bijvoorbeeld geschat op 0,1-0,4 mm per jaar [49]. De IPCC gaat uit van een bijdrage van 0 tot 50 mm over de periode 1910-1990. Grondwateronttrekkingen zouden dus verantwoordelijk kunnen zijn voor een kwart tot de helft van de gemeten zeespiegelstijging in de twintigste eeuw. Het zou de moeite waard zijn dit eens beter te onderzoeken.

Zelfs als de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer spoedig zouden stabiliseren op het huidige niveau, zou de zeespiegel nog honderden jaren blijven stijgen, veroorzaakt door de trage responstijd in het systeem, in het bijzonder door de zwakke diffusie en trage circulatieprocessen die warmte naar de diepe oceaan transporteren. Na 500 jaar heeft zeespiegelstijging door thermische expansie van de oceaan slechts de helft van het uiteindelijke niveau bereikt. De uiteindelijke stijging zou volgens modelberekeningen kunnen liggen tussen een halve en twee meter voor CO<sub>2</sub> concentraties van tweemaal

de preïndustriële periode en tussen één en vier meter voor concentraties van viermaal die van de preïndustriële periode [64].

Ook de ijskappen zullen nog duizenden jaren blijven reageren op de nu ingezette opwarming van de aarde, ook in geval van stabilisatie van het klimaat. De ijskappen van Antarctica en Groenland samen bevatten genoeg water om de zeespiegel met zeventig meter te doen stijgen als ze zouden smelten. Zo'n vaart zal het niet lopen, maar slechts een kleine verandering in het volume van de ijskappen zal dus al een significant effect op de zeespiegel hebben. Alhoewel de ijskappen volgens de ergste scenario's de zeespiegel vele meters zullen doen stijgen, zal deze stijging geleidelijk zijn, dat wil zeggen over honderden tot duizenden jaren. Een snellere stijging zou het gevolg kunnen zijn van het afbreken van een deel van de Antarctische ijskap. Dit soort ontwikkelingen zijn moeilijk te voorspellen op basis van de huidige kennis van de Antarctische ijskap.



Figuur 13. Daling en stijging van de bodem in Nederland tussen nu en 2050 [bron: 129].

Naast de zeespiegelstijging komt voor Nederland de daling van de bodem, vooral in de gebieden in Nederland die toch al kwetsbaar zijn voor overstroming [Figuur 13]. De verwachte bodemdalingen variëren van plaats tot plaats, van enkele centimeters tot meer dan zestig centimeter in de periode tot 2050. De bodemdaling is deels een natuurlijke bodemdaling die niet langer wordt gecompenseerd door de regelmatige afzetting van zand en klei bij overstromingen van de rivieren. Daarnaast speelt de oxidatie van het veen in de veenweidegebieden in West-Nederland een

rol, en de inklinking van veen- en kleibodems door ontwatering. Tot slot heeft de gaswinning plaatselijk effecten op de bodem. Volgens de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) daalt de bodem boven het Groningse gasveld momenteel ongeveer 1 cm per jaar op het diepste punt. De NAM schat de maximale bodemdaling in Groningen als gevolg van gaswinning op ongeveer 40 cm tussen nu en 2050. Het KNMI raadt aan rekening te houden met een bodemdaling in deze eeuw van 10-20 cm, waardoor we in Nederland rekening moeten houden met een relatieve zeespiegelstijging van 20 tot 110 cm [27].

Een van de belangrijkste effecten van de opwarming van de aarde door het versterkte broeikas effect is dat de hydrologische cyclus wordt geïntensiveerd [166]. Hogere temperaturen leiden tot meer verdamping en dus meer neerslag. Neerslag valt echter over het algemeen niet op dezelfde plaats als waar het verdampt. Om lokaal te kunnen anticiperen op veranderende neerslagpatronen is het uiteraard belangrijk te weten wat de mondiale opwarming betekent op een bepaalde plek. Met de huidige inzichten kunnen we niet veel meer zeggen dan dat de veranderingen lokaal zeer aanzienlijk kunnen zijn, en dan hebben we het over jaarafvoeren die met tientallen procenten zouden kunnen toenemen of juist afnemen [4]. Het algemene beeld zoals dat door de IPCC wordt geschetst is dat jaarlijkse neerslag toeneemt op de hogere breedtegraden en sommige gebieden rondom de evenaar, maar dat de jaarlijkse neerslag afneemt in de gebieden daartussen en sommige subtropische gebieden [90]. Toenemende neerslag betekent niet in alle gevallen toenemende afvoeren, omdat de verdamping in sommige gebieden sterker zou kunnen toenemen dan de neerslag. Daarnaast verwacht de IPCC dat piekafvoeren in de meeste regio's van de wereld hoger zullen worden en in frequentie zullen toenemen, terwijl in veel regio's bovendien de lage afvoeren lager zullen worden. Voor de Rijn verwacht men een toename in de winterafvoer maar een afname in de zomerafvoer [82,94], voor een deel doordat de Rijn naar verwachting langzaam zal overgaan van een smeltwaterrivier naar een regenrivier. De onzekerheden blijven echter groot. Bij het 'Business as Usual' scenario van de IPCC zullen de hoge afvoeren in de winter toenemen tussen de 0 en 40% terwijl lage afvoeren in de zomer zullen afnemen tussen 0 en 40% [93]. Elders op de wereld zijn de onzekerheden vaak nog groter. Mijn collega Maarten Krol heeft in een studie voor het semi-aride noordoosten van Brazilië laten zien dat men daar rekening zou moeten houden met zowel een afnemende jaarlijkse neerslag van 50% als met een toenemende neerslag van 20% [80]. De grote natuurlijke variabiliteit van de neerslag in

deze regio maakt het moeilijk snel een statistisch significante trend waar te nemen, waardoor anticiperend gedrag van waterbeheerders noodzakelijkerwijs zal moeten worden gebaseerd op model-, onzekerheid- en risicostudies.

Kortom, de onzekerheden zijn groot, maar waterbeheerders zullen rekening moeten houden met aanzienlijke veranderingen in neerslag, verdamping en afvoer. Eén van de gevolgen van klimaatsverandering zal zijn de toename in de frequentie van piekafvoeren en dus grote overstromingen [95]. Voor de gebieden aan zee is het bovendien relevant dat als gevolg van een stijging van de gemiddelde zeespiegel extreme hoge waterstanden met toenemende frequentie zullen optreden [64]. De frequentie ervan zou zelfs verder kunnen toenemen indien stormen frequenter of groter worden als gevolg van klimaatsverandering.

Jared Diamond laat in zijn twee boeken over de opkomst respectievelijk ondergang van beschavingen [35,36] zien hoe beschavingen kunnen groeien door hun omgeving naar hun hand te zetten, en hoe beschavingen ten onder kunnen gaan ten gevolge van de door hen zelf teweeg gebrachte milieuveranderingen. In zijn laatste boek laat hij ook zien dat de mate waarop samenlevingen zich aanpassen aan de veranderende milieufactoren een kritieke rol speelt in het wel of niet overleven van de beschaving. Eén van de grote vragen van de komende decennia is hoe verschillende landen zullen reageren op klimaatsverandering en zeespiegelstijging. Voor een land als Nederland is tijdige aanpassing van levensbelang.

## Globalisering van water

Het laatste grote vraagstuk voor het waterbeheer in de komende decennia is hoe om te gaan met de voortschrijdende globalisering. De algemene controverse is bekend: de toenemende wereldhandel, aangewakkerd door de liberalisering van internationale handel, leidt volgens de voorstanders tot ongekende voordelen voor alle deelnemende partijen doordat landen zich meer gaan richten op zaken waarin ze relatief productief kunnen zijn [106]. Volgens de tegenstanders van de globalisering zijn de regels waaronder de handel plaatsvindt niet eerlijk, waardoor rijke landen kunnen profiteren van de minder strenge milieuregels en slechtere arbeidsomstandigheden in de armere landen. Bovendien zou de politieke macht langzaam overgaan van overheden naar grote multinationals [55,76]. Voor zover ik het overzie heeft

de handelsglobalisering drie belangrijke implicaties voor het beheer van water.

Ten eerste komt de watervoorziening in toenemende mate in handen van grote multinationals. Sommigen zien dit als een vanzelfsprekende ontwikkeling die er vooral voor zal zorgen dat watervoorziening door schaalvergroting efficiënter wordt en dat de normen van watervoorziening in vooral de ontwikkelingslanden worden opgetrokken naar het niveau zoals we dat in het westen kennen. Anderen zien hierin vooral een schrikbeeld, waarin water, een basisbehoefte voor iedereen, een handelswaar wordt waarover alleen diegenen kunnen beschikken die ervoor kunnen betalen. Volgens Vandana Shiva leidt de privatisering van water tot een situatie waarin bedrijven winst maken uit de overexploitatie van waterbronnen [143]. Maude Barlow en Tony Clarke wijzen in hun boek *Blauw Goud* verder op het gevaar dat private drinkwaterbedrijven alleen belang hebben bij het leveren van water aan mensen die de kosten daarvan ook kunnen opbrengen, waardoor armen ontstoken zullen blijven van water [9]. Mede mogelijk gemaakt en gestimuleerd door de leenpraktijken van de Wereldbank is nu 70 procent van de private watervoorzieningsystemen in de wereld in eigendom van de drie grootste waterbedrijven – Veolia, Suez en RWE Thames Water.

De tweede implicatie van de globalisering voor het waterbeheer is dat de natuurlijke cycli van basiselementen als stikstof en fosfor zodanig worden verstoord dat er op sommige plekken uitputtingsverschijnselen en op andere plekken ophopingverschijnselen optreden [50]. Veel landen ervaren de problemen van ontbossing en bodemuitputting als gevolg van rooibouw. Andere landen hebben vooral te maken met problemen van mestoverschotten en eutrofiëring van grond- en oppervlaktewater als gevolg van de mestproductie in de bio-industrie, het intensieve gebruik van kunstmest in de landbouw en lozingen van huishoudelijk afvalwater. Door de internationale handel in voedsel en veevoeder zijn de nutriëntencycli in onbalans geraakt. Nederland importeert bijvoorbeeld grote hoeveelheden sojabonen uit Brazilië ten behoeve van de kippen- en varkensindustrie maar brengt geen nutriënten retour. Theoretisch gezien is er maar één structurele oplossing voor dit probleem: sluit de nutriëntencycli door nutriënten terug te brengen van de plaatsen waar mens en vee leven naar de plaatsen waar voedsel en veevoeder worden geproduceerd. Dit kan ofwel op grote schaal, bijvoorbeeld door nutriënten terug te brengen van Nederland naar Brazilië, ofwel op kleine schaal, waarbij vraag en aanbod van nutriënten elkaar ondersteunen binnen de eenheid van bijvoorbeeld een stroomgebied. Voor onderzoekers is het

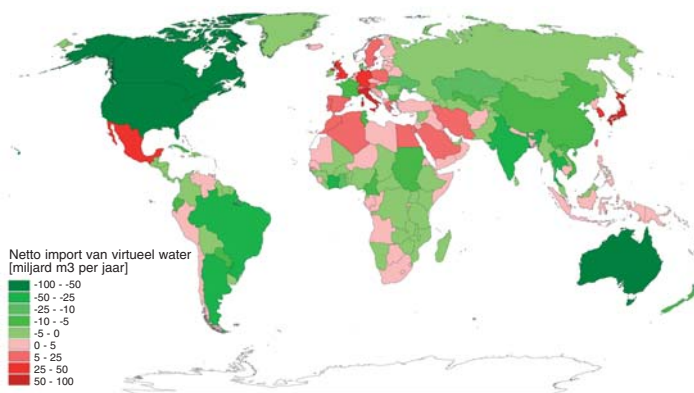
uiteraard interessant om de mogelijkheden en consequenties van beide strategieën nader te analyseren.

De derde belangrijke implicatie van de handelsglobalisering voor het waterbeheer is dat watervraag en -aanbod niet langer op het niveau van een stroomgebied kunnen worden bekeken. Steeds grotere hoeveelheden water worden gebruikt voor het produceren van exportgoederen. Zoals Tony Allan heeft beargumenteerd, kunnen waterschaarse landen de druk op hun watervoorraden verlichten door waterintensieve producten te importeren in plaats van zelf te produceren [1,2]. Tony Allan heeft dit import van 'virtueel water' genoemd, omdat het water niet werkelijk in de producten zit. De globalisering van de handel brengt zowel kansen als bedreigingen [57]. Kansen zijn macro-economische waterbesparingen en het verplaatsen van watergebruik naar de gebieden waar het meeste water voorhanden is. Bedreigingen zijn dat de ongeprijsde negatieve effecten van watergebruik worden afgewenteld op andere landen en dat prikkels voor consumenten om hun consumptie aan te passen ontbreken doordat de negatieve effecten niet zichtbaar zijn of voelbaar in de prijs, waardoor een rem op ongebreidelde groei in de vraag ontbreekt. Daarnaast is er de toenemende afhankelijkheid van waterschaarse landen die water in virtuele vorm importeren van de landen die water exporteren – vergelijk het met de manier waarop olie-importerende landen afhankelijk zijn van de OPEC.

Ik ga wat dieper in op deze derde implicatie van de globalisering omdat ik zelf op dit terrein gedurende de afgelopen vier jaar leuk onderzoek heb gedaan, samen met een aantal collega's en studenten bij UNESCO-IHE. Ik heb met twee studenten, Pham Quoc Hung uit Vietnam en Ashok Chapagain uit Nepal voor het eerst alle virtuele waterstromen tussen landen in de wereld gekwantificeerd [17,59,60]. We hebben de virtuele waterstromen tussen landen geschat op basis van internationale handelsstatistieken en schattingen van de hoeveelheid virtueel water in de verschillende soorten producten per land van herkomst. De inhoud virtueel water van een product is de som van het watergebruik over de verschillende productiefasen van het product, omgerekend in kubieke meter per ton product. De hoeveelheid virtueel water in een dierlijk product zoals vlees of leer wordt bijvoorbeeld berekend op basis van de hoeveelheid water om het veevoer te maken, de hoeveelheid drinkwater gedurende de levensduur van het dier en het proceswater dat wordt gebruikt in de stappen om het dode dier om te zetten in eindproducten. Deze omvangrijke studie leerde ons dat momenteel 16% van het water-

gebruik in de wereld niet ten behoeve van nationale consumptie is maar voor export.

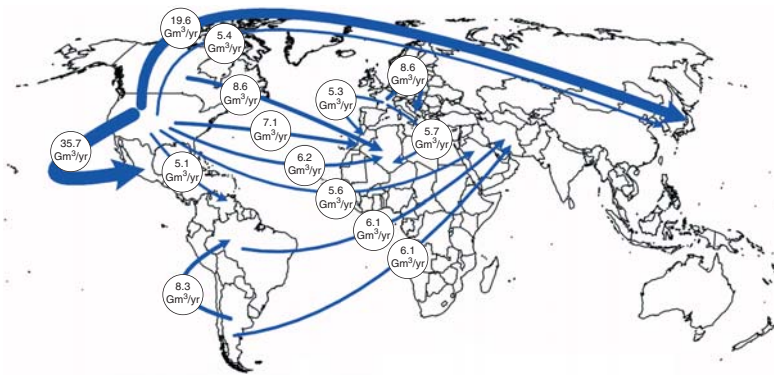
In de periode 1997-2001 was het mondiale volume van internationale virtuele waterstromen 1625 miljard m<sup>3</sup> per jaar. Het grootste deel, 61 procent, was gerelateerd aan de handel in gewassen en gewasproducten, 17 procent aan de handel in dierlijke producten en 22 procent aan de handel in industriële producten. Figuur 14 laat de virtuele waterbalans van alle landen van de wereld zien, waarbij groen staat voor netto export van virtueel water en rood voor netto import. De grootste waterexport regio's zijn Noord- en Zuid-Amerika. Europa, Japan, Mexico en het Midden Oosten zijn de grootste importeurs van water in virtuele vorm. Hoewel Noord-Afrika en Zuid Afrika water importeren, is Afrika in zijn geheel een netto exporteur van water in virtuele vorm.



Figuur 14. De netto import (rood) of export (groen) van virtueel water per land [bron: 17].

Voor verschillende landen is de import van virtueel water de belangrijkste waterbron. Dit is het enige mechanisme voor landen als Israël en Jordanië om te overleven. Een nationale waterbesparing door de import van een product kan ook een mondiale waterbesparing inhouden, namelijk wanneer de handel plaatsvindt van een plaats waar de waterproductiviteit hoog is – dat wil zeggen er is relatief weinig water nodig per eenheid geproduceerd goed – naar een plaats waar de productiviteit laag is. Vaak is dit het geval, want in veel waterschaarse landen die waterintensieve producten importeren is een

ongunstig klimaat voor gewasgroei, waardoor de benodigde hoeveelheid water per kilogram gewas in het land zelf erg groot is. In een recent artikel schatten we dat alle landen in de wereld samen 1250 miljard m<sup>3</sup> water per jaar gebruiken voor de productie van landbouwproducten voor export. Als de importerende landen deze goederen niet hadden geïmporteerd maar in plaats daarvan zelf hadden moeten produceren, dan hadden ze 1600 miljard m<sup>3</sup> per jaar nodig gehad [18]. Het resultaat hiervan is dat de handel dus een besparing van 350 miljard m<sup>3</sup> per jaar oplevert [Figuur 15]. Deze besparing is equivalent aan 6 procent van het totale watergebruik in de landbouw in de wereld.



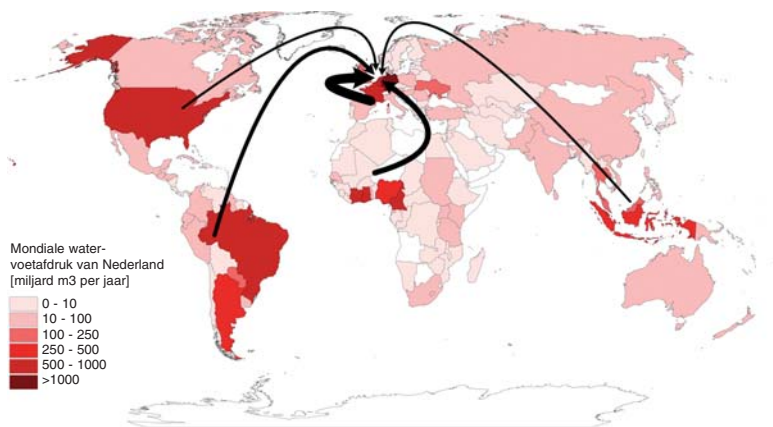
Figuur 15. Mondiale waterbesparingen (>5.0 miljard m<sup>3</sup>/jr) als gevolg van internationale handel van landbouwproducten. Periode 1997-2001 [bron: 18].

Deze bevinding suggereert dat verdere handelsliberalisering kansen biedt om tot een mondiaal efficiënter watergebruik te komen. Een aantal kanttekeningen zijn echter op zijn plaats. Het besparen van nationale waterbronnen door import van virtueel water moet uiteraard worden gezien in de context van de noodzaak om in zo'n geval voldoende buitenlandse valuta te genereren om het voedsel te importeren, iets wat voor veel ontwikkelingslanden met waterschaarste een moeilijke opgave is. Dan is er het risico van voedselafhankelijkheid. In het geval van energie hebben de meeste landen het idee van zelfvoorzienendheid allang moeten opgeven, maar in het geval van voedsel, nog belangrijker dan energie, willen veel landen daar toch liever niet aan. Egypte is een voorbeeld van een land dat er alles aan doet om zoveel mogelijk voedsel zelf te produceren, hetgeen wel ten koste gaat van



een efficiënt gebruik van het Nijlwater. Import van voedsel vermindert verder de werkgelegenheid op het platteland, draagt bij aan urbanisatie en vermindert de toegang van de armen tot voedsel. Tot slot, voedselimport draagt bij aan de milieuproblemen en wateruitputting in de exporterende landen, een prijs die niet in de prijs van de verhandelde producten zit verdisconteerd en dus een efficiënte marktwerking verstoort. Kortom, wereldhandel heeft geleid tot aanzienlijke mondiale waterbesparingen, het potentieel voor verdere besparingen is ook aanzienlijk, maar handel heeft tal van andere gevolgen die de vraag doen rijzen wat nu verstandig is. Een interessant onderzoeksonderwerp.

Om het effect van consumptie van mensen op de mondiale waterbronnen te kwantificeren en visualiseren heb ik drie jaar terug het concept van de 'water-voetafdruk' voorgesteld, de *water footprint* in het Engels [59]. Het concept is ontwikkeld naar analogie van de ecologische voetafdruk, de *ecological footprint*, een concept dat in de negentiger jaren van de vorige eeuw is voorgesteld door William Rees en Mathis Wackernagel [118,170,171,172]. Waar de ecologische voetafdruk verwijst naar de grootte van het gebied (in hectare) dat nodig is om een bevolking te onderhouden, verwijst de water-voetafdruk naar de benodigde hoeveelheid water (kubieke meter per jaar). Om precies te zijn: de water-voetafdruk van een land wordt gedefinieerd als het totale volume water – zowel grond- en oppervlaktewater als



Figuur 16. De mondiale water-voetafdruk van Nederland.

regenwater – dat nodig is om alle goederen en diensten van de inwoners van een land te produceren. Het leuke van de voetafdruk is dat je hem niet alleen kwantificeert, maar ook lokaliseert. De interne water-voetafdruk is het jaarlijkse volume van de nationale waterbronnen dat wordt gebruikt ten behoeve van nationale consumptie; de externe water-voetafdruk verwijst naar de hoeveelheid water die in andere landen wordt gebruikt om goederen te maken die worden geïmporteerd naar en geconsumeerd in het bestudeerde land. De water-voetafdruk is een fundamenteel andere indicator van watergebruik dan de tot op heden gebruikte indicatoren. Traditionele indicatoren van nationale watervraag of watergebruik verwijzen naar het watergebruik in relatie tot de productie in het land, terwijl de water-voetafdruk verwijst naar het watergebruik in relatie tot de nationale consumptie. De Nederlandse water-voetafdruk is 19,4 miljard m<sup>3</sup> per jaar waarvan 18% bestaat uit Nederlands water en 82% uit buitenlands water. Figuur 16 visualiseert de Nederlandse water-voetafdruk op de kaart van de wereld voor zover het gaat om watergebruik ten behoeve van door Nederlanders geconsumeerde agrarische producten.

Uitgedrukt per hoofd van de bevolking ligt de Nederlandse water-voetafdruk ongeveer op het wereldgemiddelde, dat ligt op 1240 m<sup>3</sup>/pers/jr. Weliswaar consumeren wij meer dan de gemiddelde wereldburger, maar de goederen die wij consumeren worden relatief efficiënt geproduceerd. De burgers van de VS hebben een erg grote water-voetafdruk, van 2480 m<sup>3</sup>/pers/jr. De Chinezen daarentegen hebben een relatief kleine water-voetafdruk, van 700 m<sup>3</sup>/pers/jr.

De schattingen bevatten nog niet de benodigde hoeveelheden water om de afvalwaterstromen tot een acceptabel niveau te verdunnen. In een recente studie voor de water-voetafdruk van katoenconsumptie laten we echter zien dat het concept van de water-voetafdruk simpel kan worden uitgebreid door een component toe te voegen die verwijst naar deze hoeveelheid water die nodig is voor de verdunning van afvalwater [19]. De vier belangrijkste determinanten van de water-voetafdruk van een land zijn: het consumptievolume (gerelateerd aan het bruto nationaal inkomen); het consumptiepatroon (bijv. hoge versus lage vleesconsumptie); klimaat (groeicondities); en landbouwpraktijk (en daaraan gekoppelde waterverliezen).

Met een verwachte toename in de wereldhandel kunnen we er van uitgaan dat de externe water-voetafdrukken van landen gaan toenemen en dat een

grote groep landen steeds afhankelijker wordt van de waterbronnen in andere landen. Interessante onderzoeksvragen hierbij zijn hoe de nationale waterbronnen economisch en maatschappelijk gewaardeerd zouden moeten worden opdat ze niet ondergewaardeerd uitgeleverd zijn aan de wereldmarkt en hoe waterschaarse landen het voordeel van import van water in virtuele vorm kunnen afwegen tegen andere belangen zoals voedselzekerheid en werkgelegenheid. Een andere vraag is in hoeverre handel in virtueel water een reële bijdrage kan leveren aan de oplossing van waterschaarste in de wereld, vooral in vergelijking tot andere mogelijkheden.

## Vier criteria van vooruitgang

Ik ben nu beland in het tweede deel van mijn betoog, dat gaat over hoe vooruitgang te meten is. Ik bespreek vier criteria – efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid – en zal nagaan wat ze inhouden indien ze worden toegepast op de praktijk van waterbeheer. Efficiëntie slaat op het zodanig inzetten van hulpbronnen in een maatschappij dat er een zo'n groot mogelijke toegevoegde waarde wordt geproduceerd. In beeldspraak: het gaat over het produceren van een zo'n groot mogelijke koek. Rechtvaardigheid slaat op het eerlijk verdelen van die koek. Duurzaamheid verwijst naar het zodanig inzetten van hulpbronnen dat de koek waar volgende generaties over kunnen beschikken niet kleiner is dan de koek van de huidige generatie. Zekerheid tenslotte betekent dat het nemen van risico's om de koek te vergroten er niet toe mag leiden dat een substantieel deel van de koek op het spel wordt gezet.<sup>1</sup> Ik zal laten zien dat de vier criteria wezenlijk andere waarden vertegenwoordigen en daardoor aanvullend op elkaar zijn.

### Efficiëntie

Efficiëntie, het eerste criterium van vooruitgang, heeft nooit een dominante rol gespeeld in waterbeheer. Waterbeheer wordt nog steeds op veel plaatsen in de wereld gedomineerd door ingenieurs die zich vooral richten op het maken van degelijke ontwerpen voor dijken, dammen, irrigatiewerken, polders, droogleggingen en bevaarbare waterwegen. Zowel kosten als baten van waterbeheer worden traditioneel behandeld als een publieke zaak. De kosten van waterbeheer worden meestal grotendeels gedekt door algemene en specifieke belastingen. De baten van waterbeheer, zoals watervoorziening, bevaarbare waterwegen, behoud van goede waterkwaliteit en veiligheid tegen overstromingen, worden gezien als algemeen belang en worden zelden uitgebreid in economische zin gekwantificeerd. Op verschillende deelterreinen van waterbeheer groeit echter de interesse voor macro-econo-

<sup>1</sup> De begrippen efficiëntie, rechtvaardigheid en duurzaamheid staan in de Engelstalige literatuur bekend als *efficiency, equity en sustainability* [28,124] en genieten bij bedrijven populariteit in de vorm van het slogan *people-planet-profit*. *People* staat voor aandacht voor de mensen binnen en buiten de onderneming, *planet* voor de gevolgen voor het (leef)milieu en *profit* voor de winst uit onderneming. Ik introduceer hier een vierde ontwikkelingscriterium dat naar mijn mening een zinvolle toevoeging is aan de reeds genoemde criteria, en dat is: zekerheid. In het Engels vertaald: *security*.

mische kosten-batenanalyses en de introductie van marktwerking om een grotere efficiëntie te bevorderen.

Om tot een behandeling van het begrip efficiëntie in waterbeheer te komen moet ik eerst even terug naar de basis van de economie. Economie is de studie naar de aanwending van schaarse hulpbronnen. Welvaart is de mate waarin schaarste is opgeheven, dat wil zeggen de mate waarin wordt voorzien in de behoeften van mensen door het gebruik van schaarse, alternatieve aanwendbare hulpbronnen. De basis voor de huidige welvaartseconomie werd gelegd door de Italiaan Vilfredo Pareto (1848-1923). Van hem komt het concept dat bekend staat als Pareto efficiëntie, een maat van hoe efficiënt een economie is in het bevorderen van maatschappelijke welvaart. In een volledig Pareto efficiënte ofwel Pareto optimale economie kan geen enkel individu beter af zijn zonder dat minstens één individu slechter af is [164]. Vrijhandel zou bijdragen aan het vergroten van de Pareto efficiëntie doordat mensen vrijwillig goederen kunnen uitwisselen met het oog op wederzijdse bate. En de gedachte is dat indien de handel vrijwillig is, er niemand slechter van zal worden. Voorwaarde is natuurlijk wel dat eigendomsrechten van de te verhandelen hulpbronnen en goederen goed geregeld zijn. Een Pareto efficiënte economie houdt overigens niet in dat mensen gelijk af zijn, want de initiële verdeling van hulpbronnen en goederen kan scheef verdeeld zijn geweest.

Het begrip efficiëntie in waterbeheer kan op een aantal verschillende deel-terreinen van waterbeheer worden toegepast: efficiëntie in het gebruik en de allocatie van het schaarse goed water, efficiëntie in het gebruik van schaarse aquatische ecosystemen en wetlands, efficiëntie in het produceren, zuiveren en lozen van afvalstoffen en efficiëntie in het beheersen van overstromingsrisico's. Ik ga hier wat dieper in op het begrip efficiëntie in het gebruik en de allocatie van water als schaars goed.

Pas gedurende de afgelopen paar decennia, waarin water merkbaar schaarser is geworden, is men zich gaan realiseren dat in competitieve situaties afwegingen gemaakt zouden moeten worden ten gunste van het gebruik met het hoogste nut. In 1992 heeft de wereldgemeenschap door de aanvaarding van de zogenaamde Dublin principes op de International Conference on Water and the Environment erkend dat water een schaars goed is en dus subject van economische afweging [69]. Het vierde Dublin principe luidt: "Water heeft een economische waarde in al zijn alternatieve gebruiken en

moet worden erkend als een economisch goed.” Voor een econoom mag het als een open deur klinken, het principe had duidelijk bekrachtiging nodig om ook in de wereld van waterbeheerders ingang te doen vinden. Meteen vanaf het begin was er echter ook weerstand tegen het principe, zowel vanuit de milieuhoeke, die vreesde dat natuurlijke waterkringlopen en ecosystemen zouden worden gedegradeerd van publiek domein tot privaat en verhandelbaar eigendom, als vanuit de ontwikkelingshoek die zag aankomen dat water onbetaalbaar zou worden voor miljoenen armen op deze wereld. Twee bijzinnen die aan het Dublin principe werden toegevoegd om tegemoet te komen aan deze bezwaren hebben de vrees nooit weggenomen, waardoor de controverse van ‘water als handelsartikel’ versus ‘water als collectief goed’ nooit verstomd is [132]. Uiteraard is de weerstand tegen het begrip ‘economisch’ voor een groot deel te wijten aan onbegrip met het concept, want water is een schaars goed en dus per definitie een economisch goed. De werkelijke controverse tussen de voor- en tegenstanders van het idee om water als een economisch goed te zien gaat over de implicaties: betekent dit dan dus een noodzaak tot invoering van eigendomsrechten, privatisering van gemeentelijke waterbedrijven en vrijhandel in water of watergebruiksrechten? Ik kom hier later op terug als ik spreek over de verschillende mechanismen om efficiëntie te bevorderen.

Laat ik nu verdergaan met het idee dat water een economisch goed is en logisch doorredeneren wat dat betekent. De economische theorie gaat uit van toenemende marginale kosten en afnemende marginale baten bij een toenemend aanbod. Er zijn geen redenen om er van uit te gaan dat dit voor water niet zou gelden. Vraag en aanbod zijn met elkaar in evenwicht als marginale kosten en marginale baten gelijk zijn. Voor een boer zou dit betekenen dat hij meer en meer irrigatiewater afneemt om zijn gewassen te voorzien tot het punt waarop de meerkosten van het water niet langer opwegen tegen de meerwaarde die het water levert in de vorm van een hogere gewasopbrengst.

Het is belangrijk dat we kijken naar de *volledige* marginale kosten en baten van water, want een onderschatting van de kosten of de baten zal leiden tot een overaanbod respectievelijk onderaanbod en in beide gevallen een onderschatting van de werkelijke waarde van het water. Ik benadruk dit, omdat de onderschatting van de kosten en baten in waterbeheer een val is waar men in de praktijk steeds weer met beide benen in trapt, met als stevast gevolg inefficiënt gebruik en een onderschatting van de waarde van water. De reden

is dat in de meeste gevallen belangrijke componenten van zowel de kosten als de baten moeilijk in geld uit te drukken zijn of überhaupt moeilijk te kwantificeren. Daarnaast worden de kosten vaak grotendeels met publieke gelden, uit verschillende potjes, gefinancierd, waardoor de kosten niet zichtbaar worden voor de gebruiker. Voor veel consumenten lijken de kosten van watervoorziening nihil simpelweg omdat de overheid in het water voorziet en de gebruiker dus helemaal geen kosten heeft. Hier gaat men er ten onrechte van uit dat de prijs een reflectie van de kosten zou zijn, hetgeen in watervoorziening zelden het geval is. Boeren betalen wereldwijd gemiddeld waarschijnlijk maar zo'n tien procent van de werkelijke kosten van water. De *volledige kosten* zijn de som van de geannualiseerde investeringskosten, de jaarlijkse kosten van beheer en onderhoud, de *scarcity rent* en de negatieve externe effecten. Die laatste twee componenten worden het vaakst vergeten.

De *scarcity rent* staat voor de kosten van het 'opgebruiken' van een hulpbron. De *scarcity rent* is relevant bij niet-vernieuwbare hulpbronnen zoals fossiel grondwater, maar ook in geval van uitputting of vervuiling van vernieuwbare hulpbronnen zoals freatisch grondwater of oppervlaktewater. Als grondwateronttrekkingen uitgaan boven de grondwateraanvulling, dan vindt er uitputting plaats en zal er uiteindelijk een alternatieve waterbron moeten worden gevonden. De hogere toekomstige kosten om over water te beschikken impliceren een *scarcity rent*, ook wel uitputtingspremie genoemd [114]. Negatieve externe effecten van watergebruik zijn de kosten die anderen ondervinden. Voor zover het eenvoudig kwantificeerbare schade aan derden betreft zijn de externe effecten vaak in geld uit te drukken, bijvoorbeeld de schade die benedenstroomse watergebruikers ondervinden als gevolg van bovenstroomse wateronttrekkingen of vervuilende activiteiten. Maar veel externe effecten zijn moeilijk in geld te vertalen, bijvoorbeeld in geval van aantasting van ecosystemen.

De volledige kosten van water kunnen nog hoger zijn dan de som zoals bovengenoemd indien de *opportunity cost* van het water hoger is, dat wil zeggen dat de waarde van het water in een alternatief gebruik nog hoger is. Zo laat Peter Rogers voor een locatie in India zien dat de *opportunity cost* van water in de landbouw vele malen hoger is dan de som van investeringskosten, kosten van beheer en onderhoud en externe effecten (voor zover gemonetariseerd) doordat het water in de drinkwatersector en industrie een veel hogere waarde zou hebben dan in de landbouw [123].

Bij het inschatten van de *volledige baten* van water moet men rekening houden met vijf componenten: de directe baten van het water voor de gebruiker van het water, de baten van indirect gebruik (zoals het gebruik van irrigatiekanalen om te wassen), de baten van de waterstromen die terugvloeien naar grond- of oppervlaktewater, de baten als gevolg van het behalen van maatschappelijke doeleinden en de intrinsieke waarde van water [123].

Water is zowel een productiefactor als een consumptiegoed. In het geval van directe consumptie is de directe economische bate van het water een functie van de bereidheid te betalen – de *willingness to pay* – van de consument, en die is vast te stellen door te kijken wat de consument daadwerkelijk voor het water betaalt of door mensen te vragen wat ze maximaal bereid zouden zijn te betalen (de zogenaamde contingente waarderingsmethode). Als water een productiefactor is – in de landbouw, industrie of energieopwekking – kan de directe economische bate op verschillende wijzen worden geschat: ofwel wederom met directe methoden die de *willingness to pay* meten, ofwel met indirecte methoden zoals de productiefunctie methode of de residuwaarde methode. Al deze methoden hebben echter serieuze beperkingen die soms van praktische maar soms ook van fundamentele aard zijn. Praktische beperkingen van de productiefunctie methode of de residuwaarde methode zijn bijvoorbeeld dat de benodigde gegevens meestal ontbreken. Een breed erkend fundamenteel probleem van de contingente waarderingsmethode is de onbetrouwbaarheid van de antwoorden van mensen als gevolg van strategisch gedrag.

De volledige baten van water worden meestal sterk onderschat omdat men alleen kijkt naar de directe bate voor de gebruiker van het water. Om tot uitdrukking te kunnen brengen dat water ook een maatschappelijke waarde kan hebben in aanvulling op een puur economische – zoals in het geval van watervoorziening voor de armen – is er de batencomponent die staat voor het behalen van maatschappelijke doeleinden. Om uitdrukking te geven aan het feit dat water naast economisch en maatschappelijk nut ook nog een ecologisch nut heeft is er de intrinsieke waardecomponent. Het belang dat een samenleving hecht aan maatschappelijke en ecologische waarden van water is af te leiden uit de keuzes die de samenleving in zijn geheel op wat voor wijze dan ook maakt. Zo kan je de kosten die een samenleving maakt om watervoorziening voor arme mensen te creëren zien als een maat voor de klaarblijkelijke waarde van die watervoorziening. Op een vergelijkbare wijze kan je de kosten die een samenleving maakt om watervervuiling tegen



te gaan zien als een maat voor de waarde van schoon water. In een economische analyse die moet dienen als grondslag voor een nog te nemen beslissing over een investering in watervoorziening naar de armen of in schoner water heb je er echter weinig aan te weten wat men eerder of elders hierin investeerde. Het is de politieke beslissing zelf die de waarde bepaalt, niet de voorafgaande economische analyse. Je ziet economen hier regelmatig de fout ingaan. Het beruchtste voorbeeld is dat waarbij een waarde aan een mensenleven wordt toegekend, bijvoorbeeld in een economische analyse van het nut van schoon water of het nut van overstromingsrisicobeheer. Bij een publieke investering in een collectief goed bepaalt een samenleving waar men meer en waar men minder waarde aan hecht. De economische analist kan dat niet vooraf doen; hij kan alleen achteraf constateren wat de keuze van een samenleving aan waarden impliceert.

Water – zolang het in het watersysteem zit en nog niet in de waterketen is terechtgekomen – heeft geen prijs. Pas als je water in een buis stopt en naar een gebruiker leidt of als je water in een flesje stopt en in de winkel zet – krijgt het een prijs. Toch heeft water zoals dat in het natuurlijke watersysteem stroomt een waarde. De waarde van een druppel water op een zeker tijdstip en bepaalde plaats in het hydrologische systeem hangt af van de directe waarde die de druppel op dat moment ter plekke heeft en de indirecte waarde, dat wil zeggen de waarde die de druppel nog zal genereren in het vervolg van zijn reis door de hydrologische cyclus. Door het stromende karakter heeft bovenstrooms water dus een waarde omdat het benedenstrooms een aantal keren gebruikt zal worden. Benedenstrooms gebruik geeft het water bovenstrooms een waarde. Terwijl water dus altijd van boven naar beneden stroomt, vertaalt de waarde van water zich van beneden- naar bovenstrooms. Met collega's bij het UNESCO-IHE heb ik een soort inverse hydrologisch model ontwikkeld voor het Zambezi stroomgebied waarin de waarden van water van de plek waar ze gegenereerd worden naar boven stromen. Op die manier konden we uiteindelijk zelfs de waarde van een regendruppel in de verschillende sub-stroomgebieden schatten [61,62,138,139]. Met ons werk laten we zien dat je een economische analyse niet kan loskoppelen van een analyse van de dynamiek en ruimtelijke samenhang van een watersysteem.

Laten we, na alle theorie over de waarde van water, eens kijken hoe het in de praktijk staat met de efficiëntie van watergebruik. Enkele feiten suggereren dat het niet best is. Volgens de FAO is de irrigatieefficiëntie, de verhouding tussen de daadwerkelijke irrigatiebehoefte vanuit de plant en de feitelijke

wateronttrekking, in ontwikkelingslanden gemiddeld 38 procent, met uitschieters naar beneden in Argentinië en Brazilië (16, 17 procent) en positieve uitschieters naar boven zoals in Egypte en Libië (53, 60 procent) [43]. Met de best beschikbare irrigatietechnieken, bijvoorbeeld druppelirrigatie, waarbij het water direct in de wortelzone wordt gebracht, is een efficiëntie van 85-95 procent te behalen<sup>2</sup>. Kortom, meer dan de helft van de wateronttrekkingen ten behoeve van de landbouw in ontwikkelingslanden kan technisch gezien worden bespaard. Als de waterschaarste vertaald zou worden in economische prikkels, dan zou dat al een grote verbetering teweeg kunnen brengen. Op een hoger schaalniveau zien we ook inefficiënt watergebruik. In de regio Huang-huai-hai in Noord China, één van de waterarmste gebieden ter wereld, wordt op grote schaal water gebruikt voor de productie van gewassen die voor een belangrijk deel worden geëxporteerd naar Zuid China [88]. Om de waterschaarste in het noorden te verhelpen bouwt men momenteel aan een megaproject om water te transporteren van rivieren in het zuiden van China naar het noorden.

Het is wel duidelijk dat er een hoop ruimte is om water efficiënter te gebruiken. De praktische en theoretische problemen om tot een juiste schatting te komen van de waarde van water moeten we maar voor lief nemen. De vraag blijft vooral welke mechanismen ons ter beschikking staan om er voor te zorgen dat water zo wordt aangewend dat een zo groot mogelijk nut wordt verkregen. Ik voeg hier uitdrukkelijk aan toe dat nut niet perse hoeft te bestaan uit in geld uitgedrukte meerwaarden. Het economische nutsbegrip kan immers door eenieder volgens zijn eigen preferenties worden ingevuld.

Er zijn verschillende strategieën om mensen tot een efficiënter gebruik van water te brengen. De technologiestrategie richt zich op het stimuleren van waterbesparende technieken zoals druppelirrigatie in de landbouw en waterbesparende toiletten en douches in huishoudens. De communicatiestrategie richt zich op bewustwording van de bevolking, op het verhogen van de *water literacy* zoals dat tegenwoordig wel wordt genoemd. De regelgevingstrategie maakt gebruik van wetten of bestuurlijke maatregelen waar-

---

2 Voor een goed begrip wijs ik er op dat ik hier een fysische maat voor irrigatieefficiëntie gebruik om een gevoel te krijgen van de economische efficiëntie in irrigatie. Het mogelijk duidelijk zijn dat waterverspilling (vanuit fysisch oogpunt) economisch niet efficiënt is als water schaars is en de mogelijke besparingen eenvoudig te bereiken. Het moge echter ook duidelijk zijn dat het economische optimum eerder bereikt is dan het fysische optimum.

mee verschillende prioriteiten kunnen worden gegeven aan verschillende typen watergebruik, waardoor een efficiënt watergebruik kan worden bevorderd. De strategie van marktwerking richt zich op de invoering van eigendoms- of gebruiksrechten van water opdat water een verhandelbaar goed wordt, waardoor toenemende schaarste zich kan vertalen in een hogere prijs. Ten slotte kan de overheid, voor zover zij zelf de allocatie van water in handen heeft, door middel van kosten-batenanalyse en optimalisatiesommen proberen te bepalen wat de beste allocatie van water over de verschillende doeleinden is en daar naar handelen.

Ieder mechanisme heeft zo zijn beperkingen. Communicatie en technologiebevordering zijn nogal vrijblijvend voor boer en burger en kosten de overheid een hoop geld. Regelgeving is niet vrijblijvend, maar het is moeilijk om bij wet of bestuurlijke maatregel vast te stellen welke gebruiker hoeveel water mag hebben met als oogmerk een zo groot mogelijke totale meerwaarde van water te creëren. Daarmee wordt de aanwezigheid van een alwetende bureaucraat verondersteld, die vanachter zijn bureau de toewijzing regelt. Dan lijkt het marktmechanisme aantrekkelijker, want dat mechanisme draagt de belofte van de onzichtbare hand die vanzelf naar het optimum resultaat leidt. Er zijn echter een groot aantal problemen met het inzetten van het marktmechanisme ter bevordering van een efficiënt watergebruik, die steeds samenhangen met het bijzondere karakter van water.

Alvorens dieper in te gaan op de beperkingen van het marktmechanisme voor water maak ik even een uitstapje naar de theorie van collectieve goederen. Het verschil tussen individuele en collectieve goederen ligt in de graad waarin gebruikers toegang tot het goed kunnen worden ontzegd. Dit wordt de mate van uitsluiting genoemd (*excludability* in het Engels). Voor individuele goederen geldt dat individuen de toegang tot het goed kan worden ontzegd; collectieve goederen zijn toegankelijk voor iedereen. Voorbeelden van collectieve goederen zijn: de lucht die we inademen, de openbare wegen waar we over rijden, en de bossen en meren waar we recreëren. Collectieve goederen zijn goederen waartoe iedereen toegang heeft, of in ieder geval waar het moeilijk is anderen uit te sluiten, waardoor ze moeilijk tot privaat eigendom gemaakt kunnen worden. Water zoals dat buiten in het watersysteem voorkomt is een collectief goed. Water wordt echter een individueel goed zodra het aan het watersysteem wordt onttrokken en in de waterketen<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Het begrip 'waterketen' verwijst naar de keten onttrekking – zuivering – distributie – gebruik – afvalwaterverzameling – lozing.

terechtkomt. Verdampht het water of komt het door lozing weer terug in de hydrologische cyclus, dan vervalt water weer tot een collectief goed.

Goederen en diensten kunnen dus worden geclassificeerd volgens de mate van uitsluiting. Daarnaast kunnen ze worden gekarakteriseerd langs een

	Uitsluiting
<b>Tol- of clubgoederen</b>	<b>Private goederen</b>
Geen concurrentie	Concurrentie
<b>Publieke goederen</b>	<b>Common pool resources</b>
	Geen uitsluiting

Figuur 17. Classificatie van goederen op basis van de criteria uitsluiting en concurrentie.

zonder uitsluiting worden *common pool resources* genoemd. Goederen zonder concurrentie en zonder uitsluiting zijn publieke goederen. Het laatste kwadrant bevat de zogenaamde tol- of clubgoederen, goederen met uitsluiting, want als je geen 'tol' of 'clubgeld' betaalt krijg je geen toegang, maar zonder concurrentie, tenminste zolang het aantal gebruikers beneden de gebruikscapaciteit van het tol- of clubgoed ligt. De verzameling individuele goederen valt dus uiteen in private goederen en tolgoederen. De verzameling collectieve goederen valt uiteen in publieke goederen en *common pool resources*.

Laat ik wat voorbeelden geven. Grondwater is een collectief goed. Zolang een grondwaterreservoir nauwelijks wordt gebruikt is het een publiek goed. Zodra echter de hoeveelheid boeren die water wil oppompen voor irrigatie een niveau bereikt waarop de ene boer hinder ondervindt van de andere boeren, bijvoorbeeld doordat hij een diepere en dus duurdere put moet slaan

tweede as: de mate van concurrentie (*rivalry, subtractability*). Dit is de graad waarmee het gebruik van het goed door één gebruiker impliceert dat andere gebruikers het goed niet kunnen gebruiken of in mindere mate. Als we goederen indelen langs de assen 'mate van concurrentie' en 'mate van uitsluiting' dan ontstaan er vier kwadranten [Figuur 17]. Goederen die de twee karakteristieke concurrentie en uitsluiting hebben worden private goederen genoemd. Goederen met concurrentie maar

dan in de situatie waarin de andere boeren geen grondwater onttrokken, dan is grondwater een *common pool resource*. Een ander voorbeeld: de Randmeren langs de Flevopolders vormen op een herfstige winderige dag in oktober een publiek goed voor enkele eenzame windsurfers of andere waterrecreanten. Diezelfde Randmeren krijgen echter de karakteristieken van een *common pool resource* op een zonnige dag in de zomer, als de windsurfers, zwemmers, waterscooters en andere watergenieters elkaar hinderlijk in de weg zitten. Een tolweg is uiteraard een voorbeeld van een tolgoed, maar ook een natuurpark met toegangsprijs, zoals het Nationale Park De Hoge Veluwe, is een tolgoed. Tolgoederen hebben een eigenaar zoals private goederen maar zijn tegen een prijs opgesteld voor andere gebruikers.

De vrije markt als mechanisme om te komen tot een efficiënte aanwending van goederen en hulpbronnen is geschikt voor individuele goederen en productiefactoren. Er kunnen zogenaamde marktverstoringen zijn waardoor correctief ingrijpen vanuit de overheid wenselijk wordt geacht en men kan op morele gronden tot herverdeling besluiten, maar de markt als basismechanisme blijkt te werken. In het geval van collectieve goederen is de vrije markt een ongeschikt instrument, omdat aan één van de basiswaarden voor een goed werkende markt – het bestaan van exclusieve eigendomsrechten – niet kan worden voldaan. En zelfs als men er theoretisch aan zou kunnen voldoen, bijvoorbeeld een benedenrivier in eigendom van een grote binnenvaartmaatschappij of een meer in handen van een miljonair of een grote vissersclub, dan zijn er weinig mensen die het zouden accepteren als alle wateren zo zouden worden opgedeeld. Er kleeft ook een praktisch bezwaar aan, want water stroomt nu eenmaal. Het is alsof je de eigenaar van een trekvogel bent, daar heb je ook weinig grip op.

Water vormt een hydrologische kringloop. We kunnen niet handelen in kringlopen [Figuur 18]. Er bestaan ook geen eigendomsrechten op kringlopen, evenmin op delen van kringlopen. Water onttrekt zich aan bijna alle regels waar het aan zou moeten voldoen om het hanteerbaar te maken binnen de gangbare neoklassieke economische theorie. Water is een collectief goed, hetgeen betekent dat er geen exclusieve eigendomsrechten zijn of kunnen worden ingevoerd. Wel kunnen er gebruiksrechten voor een bepaalde waterbron worden vastgesteld, maar de vraag is dan wel meteen wat zo'n recht zou mogen inhouden. Doordat water een kringloop vormt heeft gebruik op één plek onherroepelijk effecten elders. We komen hier op een ander probleem. De kosten van watergebruik bestaan vaak voor een substantieel deel uit negatieve externe effecten, dat wil zeggen kosten die niet toe-



Figuur 18. Handel in waterkringlopen [tekening D. Spoelman].

komen aan de watergebruiker maar aan anderen, meestal direct benedenstrooms. Privatisering van watergebruik brengt met als risico met zich mee dat juist suboptimale afwegingen worden gemaakt omdat private partijen externe kosten niet in hun afwegingen meenemen. Privatisering van afgebakende vormen van watergebruik of watervoorziening zou dan ook alleen toegepast mogen worden onder strikte regelgeving die private partijen verantwoordelijk stelt voor alle neveneffecten, inclusief niet in geld uit te drukken ecologische effecten. Afgezien van het feit dat water een collectief goed is en niet verhandelbaar, is het ook een niet-homogeen goed. In de economie betekent homogeniteit van een verzameling goederen dat die goederen uitwisselbaar zijn, dat wil zeggen een bepaalde behoefte even goed kunnen bevredigen. Bij homogene goederen hoeft een consument nog uitsluitend te letten op prijsverschillen, waardoor er vanzelf een evenwichtsprijs zal instellen. Bij water zal een dergelijk mechanisme nooit kunnen optreden omdat water allesbehalve een homogeen goed is. Om te beginnen varieert de bruikbaarheid van water met de kwaliteit, die varieert in ruimte en tijd. Ten tweede varieert de bruikbaarheid van water met de fase in de hydrologische cyclus: water in de rivier kan voor een groter scala aan doeleinden worden ingezet dan regenwater en heeft daardoor meestal een hogere economische waarde.

Ik ben het van harte eens met de analyse van veel economen dat inefficiënt watergebruik een belangrijke factor is in de waterproblematiek waarover men in zoveel landen spreekt. Maar ik ben het niet eens met de economen die beweren dat privatisering en vrije-marktprijzen in waterbeheer de meest geëigende instrumenten zijn om efficiëntie te bevorderen. Ik citeer uit het werk van de econoom Anderson: "Experience around the world has demonstrated over and over again that the only successful way to avoid shortages is to rely on free market pricing and allocation. The same is true for water. (...) Eliminating laws against water marketing and establishing private water rights would give consumers an incentive to use water more efficiently. (...) If markets in water were permitted, demand would be reduced, supply would be increased, water would be reallocated, and the specter of water crisis would vanish." [3]. Dit is dus een mooi voorbeeld van het heilige geloof in de vrije markt. Watermarkten, waarvan er slechts een handjevol bestaan in de wereld (bijvoorbeeld op enkele specifieke locaties in Colorado, Chili, Mexico en Australië) vereisen echter strenge regulering vanuit de overheid om zorg te dragen dat transfers van watergebruiksrechten andere rechten niet aantasten en om het totale volume aan watergebruiksrechten te bewaken. Dat laatste levert een probleem op, aangezien waterlopen vaak een grote en bovendien onregelmatige en moeilijk voorspelbare variatie vertonen. Hoewel het instellen van watergebruiksrechten uiteraard bedoeld is om op een kunstmatige manier de natuurlijke schaarste na te bootsen om deze te vertalen in een economische prijs, is het in praktische zin welhaast onmogelijk om het juiste aantal watergebruiksrechten voor verschillende perioden van het jaar vast te stellen als het natuurlijke wateraanbod sterk van jaar op jaar verschilt. In een relatief droge periode, juist als water op zijn schaarste is en het allocatievraagstuk het meest urgent is zullen bovenstroomse gebruikers profiteren van hun relatief goedkope gebruiksrechten en meer water gebruiken dan economisch efficiënt zou zijn. Mogelijk worden daardoor de bovenstroomse rechten duurder, maar vanuit het perspectief van een rechtvaardige behandeling van benedenstroomse ten opzicht van bovenstroomse gebruikers is een dergelijke situatie helemaal niet wenselijk. Watergebruiksrechten kunnen ook proportioneel aan de waterbeschikbaarheid worden gesteld, zodat er altijd wat voor benedenstrooms overblijft, maar daarmee ligt een belangrijk allocatievraagstuk dus inderdaad niet bij de markt, maar bij de overheid. Een markt van watergebruiksrechten zal dus altijd door de overheid gereguleerd moeten worden, waarbij de overheid toezicht heeft op de uitgave van en handel in rechten om externe effecten van handel in rechten te kunnen corrigeren, en waarbij de overheid prioriteiten

tussen verschillende waterrechten kan vaststellen in geval van grotere schaarste dan waar rekening mee was gehouden bij het uitgeven van de waterrechten. Het is de vraag of het mechanisme van gereguleerde watergebruiksrechten niet zoveel transactiekosten met zicht meebrengt dat het feitelijk een heel inefficiënt mechanisme wordt om efficiëntie in watergebruik mee te bevorderen. Andere mechanismen zouden wel eens veel efficiënter kunnen zijn in het bevorderen van efficiëntie. Hier ligt uiteraard een interessante onderzoeksvraag.

Om vat te krijgen op het begrip watergebruiksefficiëntie heb ik eerder voorgesteld om het begrip op drie verschillende niveaus te beschouwen: lokaal, stroomgebied en mondiaal niveau [59,60]. Op het lokale niveau, dat van de waterproducent en watergebruiker, houdt efficiënt watergebruik in dat de waterproducent de waterverliezen tussen het punt van onttrekking en het punt van levering minimaliseert tot het niveau waarop de marginale kosten hiervan uitgaan boven de volledige marginale bate van de besparing en dat de watergebruiker water gebruikt tot het niveau waarop meer water geen aanvullende baten meer genereert die groter zijn dan de volledige marginale kosten van het extra water. Op stroomgebiedniveau kan de efficiëntie van watergebruik worden vergroot door de toewijzing van water zo te veranderen dat het terechtkomt bij de toepassingen met het hoogste marginale nut. Ten slotte kan watergebruiksefficiëntie op mondiaal niveau worden verhoogd als landen hun relatieve voordeel of nadeel in termen van waterbeschikbaarheid gebruiken om het gebruik van nationale waterbronnen voor de productie van exportgoederen te bevorderen of juist te ontmoedigen [176,177]. We hebben daarmee dus drie niveaus: gebruiksefficiëntie op lokaal niveau, allocatieefficiëntie op stroomgebiedniveau en handelsefficiëntie op mondiaal niveau. Een interessante onderzoeksvraag is hoe deze niveaus zich tot elkaar verhouden. Waar liggen de grootste kansen, waar is het meeste resultaat te verwachten? Daarbij is het een uitdaging om de efficiëntiewinst op de verschillende niveaus te bezien vanuit zowel de economische als de maatschappelijke, politieke en ecologische gevolgen.

## Rechtvaardigheid

Het criterium van efficiëntie is nuttig maar niet zaligmakend. In een efficiënte samenleving kunnen grote ongelijkheden bestaan. Daarom wordt het begrip rechtvaardigheid traditioneel gezien als een belangrijk tweede criteri-



um van vooruitgang. Rechtvaardigheid heeft te maken met een eerlijke verdeling van kansen en welvaart. Rechtvaardig of eerlijk kan daarbij worden gedefinieerd vanuit een bepaalde ethiek of moraal, maar ook meer praktisch als dat wat een samenleving passend vindt gegeven de behoeften, status en bijdrage vanuit de individuele leden [179]. Rechtvaardigheid is een belangrijk aandachtspunt binnen iedere samenleving, vooral als het gaat om de basisbehoeften van mensen. Waar de meeste mensen wel accepteren dat rijke mensen meer luxe goederen hebben is het moeilijker verteerbaar dat niet iedereen kan delen in een soort minimale welvaart. Aangezien waterbeheer nauw raakt aan enkele belangrijke basisbehoeften van mensen is het begrip rechtvaardigheid voor het beheer van water een zeker zo belangrijk begrip als efficiëntie.

Laat ik enkele voorbeelden noemen waarin rechtvaardigheid een belangrijke rol speelt. Men vindt dat mensen moeten kunnen beschikken over voldoende schoon water om te drinken, wassen en koken en over goede sanitaire voorzieningen. Daarnaast is men het er over eens dat mensen moeten kunnen beschikken over voldoende voedsel, wat uiteraard betekent dat een samenleving ook direct of indirect moet kunnen beschikken over het benodigde water om dat voedsel te kunnen produceren. Het punt van rechtvaardigheid speelt ook altijd een grote rol in verhoudingen tussen bovenstroomse en benedenstroomse samenlevingen. In Nederland vinden we het bijvoorbeeld onrechtvaardig dat de Duitsers en Fransen de Rijn destijds als open riool gebruikten. En zo vinden ze het in Irak onrechtvaardig dat Turkije het water van de Eufraat en Tigris afdamt om het voor irrigatie te gebruiken, waardoor grote hoeveelheden rivierwater Irak nooit meer zullen bereiken [38]. Naast onrechtvaardigheden tussen boven- en benedenstroomse samenlevingen zien we ook onrechtvaardigheden tussen de behandeling van rijk en arm. Er is vaak beweerd dat de baten van de grote dammen die overal in de wereld zijn gebouwd vooral ten goede komen aan de rijken, afnemers van de opgewekte waterkracht, terwijl de kosten voor een groot deel bij de armen worden gelegd. In de afgelopen vijftig jaar hebben miljoenen mensen hun land moeten verlaten om plaats te maken voor grote kunstmatige reservoirs [21,79,113]. In Nederland is het punt van rechtvaardigheid weer actueel in de discussie over veiligheid tegen overstromen, nu er weer argumenten worden aangevoerd dat vanuit kosten-baten oogpunt niet alle gebieden hetzelfde beschermingsniveau hoeven te hebben. De huidige normen zijn vanuit het oogpunt van efficiëntie al enigszins gedifferentieerd om tegemoet te komen aan het feit dat sommige gebieden een grotere bevolkingsdichtheid

en economische activiteit hebben dan andere gebieden, maar vooral de mensen die wonen in de dunner bevolkte gebieden en de gebieden die mogelijk worden aangewezen als noodoverloopgebied zien uiteraard helemaal niets in een verdere normdifferentiatie. Sommigen vinden dat iedereen evenveel recht op bescherming tegen overstroming heeft.

Eerder heb ik duidelijk gemaakt dat water in deze wereld allesbehalve efficiënt wordt beheerd. We moeten constateren dat water daarnaast ook niet erg rechtvaardig wordt beheerd. Zoals ik in de inleiding al zei hebben ruim 1 miljard mensen in de wereld geen toegang tot schoon water [Figuur 19]. Ongeveer 2,4 miljard mensen hebben geen goede sanitaire voorzieningen [155]. Volgens de WHO is gebrek aan schoon water de oorzaak van ziektes zoals buikgriep, waaraan jaarlijks 2 miljoen mensen overlijden, vooral kinderen in ontwikkelingslanden [175]. Landen als India en China, die de grootste populaties ondervoedden herbergen en de grootste aantallen mensen zonder goede watervoorziening, gebruiken substantiële hoeveelheden water voor het maken van exportproducten. Afrika, als continent in zijn geheel, is ook een netto exporteur van water in virtuele vorm, vooral naar het rijke Europa [17].



*Figuur 19. Verontreinigde drinkwaterbron bij Sunda Kelapa, Jakarta, Indonesië.*

Een interessante vraag is nu of er mechanismen bestaan of zouden kunnen worden ontwikkeld die bijdragen aan een rechtvaardiger beheer van water in de wereld. Als ik me even beperk tot het punt van een rechtvaardige waterverdeling zien we dat er twee wegen worden bewandeld. De directe weg bestaat uit de nationale en internationale investeringen ten behoeve van een betere watervoorziening naar de armen. De indirecte weg is om adequate watervoorziening als mensenrecht vast te leggen, wat dan als basis zou kunnen dienen voor nationale wetgevingen en internationale verdragen.

Wat betreft de investeringen ten behoeve van een betere watervoorziening naar de armen in de wereld dringt langzamerhand het bewustzijn door dat het niet alleen een centenkwestie is. Armoede kan je niet eenvoudig afkopen. Het is gebleken dat investeringen in infrastructuur voor drinkwater- en sanitaire voorzieningen maar een beperkt effect hebben op de langere termijn. Deze les kon bijvoorbeeld worden getrokken uit de magere resultaten van de investeringen gedurende de International Drinking Water Supply and Sanitation Decade in de periode 1981-1990 [20]. Men realiseert zich nu dat investeringen in het opbouwen van een adequate lokale beheerstructuur om zorg te dragen voor beheer, onderhoud en kostendekking zeker zo belangrijk zijn als investeringen in fysieke infrastructuur. Een reactie op de teleurstellende resultaten van investeringen in lokale fysieke infrastructuur is echter geweest dat internationale donoren, maar ook nationale regeringen, vaker voor het *trickle down* mechanisme hebben gekozen, dat wil zeggen investeringen in de economie in de verwachting dat uiteindelijk ook de armen daar profijt van zullen trekken. In dit beleid paste de aanleg van grote dammen voor de opwekking van waterkracht en het voorzien van irrigatiewater. Inmiddels is echter wel duidelijk dat die strategie evenmin effectief bijdraagt aan de oplossing voor de armen. Het lijkt een te grote omweg om resultaten te zien in de statistieken van de aantallen mensen zonder goede drinkwater- en sanitaire voorziening. Er is mede daarom een groeiende aandacht voor het mechanisme van het verstrekken van microkredieten aan de armen, dat wil zeggen investeren in de economie op het laagste niveau [34]. Vooral op het platteland zouden die investeringen in de kleinschalige lokale economie vergezeld moeten gaan van hulp om lokale waterbeheerstructuren op te bouwen. In steden zou de openbare watervoorziening zich ook op het arme segment in de samenleving moeten richten in plaats van alleen op de rijkere betalende klant.

Intussen is er een heel andere ontwikkeling, waarin er op internationaal niveau pogingen worden ondernomen om toegang tot water te vertalen in

een mensenrecht, om op die manier een instrument in handen te hebben om via nationale wetten of via internationale verdragen overheden te dwingen zorg te dragen voor een rechtvaardige verdeling van water [131,175]. De Universele Verklaring van de Rechten van de Mens uit 1948 noemt toegang tot water niet expliciet als mensenrecht, maar artikel 25 formuleert wel het “recht op een levensstandaard, die hoog genoeg is voor de gezondheid en het welzijn van zichzelf en zijn gezin, waaronder inbegrepen voeding, kleding, huisvesting en geneeskundige verzorging en de noodzakelijke sociale diensten ...” [152]. Met wat goede wil zou men kunnen zeggen dat het recht op een zekere minimale hoeveelheid water hiermee impliciet is vastgelegd. Recenter is het recht op water echter expliciet gemaakt. Artikel 12 van het *International Covenant on Economic, Social, and Cultural Rights*, in 1976 in werking getreden, erkent het recht van iedereen te beschikken over de hoogst bereikbare gezondheidsstandaard. In 2000 aanvaardde de Committee on Economic, Social and Cultural Rights van de Verenigde Naties (in haar General Comment No.14) een aanvulling op dit convenant waarin wordt gesteld dat het recht op gezondheid zich ook uitstrekt tot de onderliggende determinanten van gezondheid, waaronder voedsel en toegang tot veilig en drinkbaar water en adequate sanitaire voorzieningen. In 2002 aanvaardde dezelfde commissie (in haar General Comment No.15) nog een aanvulling, waarin het recht op water wordt gespecificeerd. Deze aanvulling zegt: “Het mensenrecht op water geeft ieder mens recht op voldoende, veilig, acceptabel en fysisch toegankelijk en betaalbaar water voor persoonlijk en huishoudelijk gebruik” [153]. Hiermee is dan de idee van water als mensenrecht formeel vastgelegd. Het gaat hierbij specifiek om water voor huishoudelijk gebruik en niet om water voor voedsel. Voedsel als mensenrecht was echter al expliciet vastgelegd in het eerder genoemde Artikel 25 van de Universele Verklaring van de Rechten van de Mens [152]. We kunnen er niet omheen dat voedselrechten zich vertalen in een benodigde hoeveelheid water om het voedsel te produceren. Toch is het recht op voedsel tot dusver nooit formeel vertaald in een daaruit voortvloeiend recht op water. Op individueel niveau is dat ook niet zinvol, maar op het niveau van een zelfvoorzienende gemeenschap impliceert het recht op voedsel ook het recht op water om het voedsel te kunnen verbouwen. Gegeven de ongelijkmatige verdeling van waterbeschikbaarheid is een belangrijke vraag: Hoe vertalen de bestaande mensenrechten voor water en voedsel zich in een morele verplichting van gemeenschappen met ruime waterbronnen ten opzichte van gemeenschappen met zeer beperkte waterbronnen? Eén van de stappen die de internationale gemeenschap heeft gezet is de formulering van de ‘Millennium Development

Goals' tijdens de Millennium Summit in New York in 2000. Concrete doelen zijn bijvoorbeeld om tussen 1990 en 2015 het aantal mensen dat honger lijdt en het aantal mensen dat geen goede watervoorziening heeft met de helft te reduceren. Bovendien worden verantwoordelijkheden geformuleerd die de rijkere landen hebben ten aanzien van de armere landen in het behalen van deze doelstellingen.

De kwestie van een rechtvaardige waterverdeling heeft nog een andere kant. Tot nu toe heb ik het gehad over de minimale waterbehoefte per persoon. Gezien het feit dat er ook grenzen zijn aan het totale watergebruik, rijst de vraag of er vanuit het oogpunt van rechtvaardigheid ook niet een maximum is aan het watergebruik per persoon. Dit is een punt dat niet alleen naar voren komt vanuit het perspectief van een rechtvaardige verdeling, maar ook vanuit het perspectief van duurzaamheid, waar ik straks nog op kom.

Een andere kwestie van rechtvaardigheid is: wie betaalt de maatschappelijke kosten en de milieukosten die zijn verbonden aan watergebruik en –vervuiling? Het principe van 'de-vervuiler-betaalt' betekent in zijn meest algemene interpretatie dat producenten (en dus uiteindelijk de consumenten) moeten betalen voor alle schade aan anderen of aan het publieke domein. Dit principe heeft nog nauwelijks ingang gevonden in de praktijk van het waterbeheer. In Nederland kennen we wel een grondwaterbelasting, zijn er vergunningen nodig voor het lozen van afvalwater en zijn er normen waaraan de kwaliteit van het afvalwater moet voldoen, maar in de meeste landen van de wereld zijn wateronttrekkingen ongeprijsd, en worden dammen aangelegd en afvalstromen onbehandeld geloosd zonder dat benedenstroomse benadeelden daarvoor worden gecompenseerd.

Door het stromende karakter van water hebben bovenstroomse en benedenstroomse actoren een verschillende positie, wat een scheve verhouding creëert. In de speltheorie noemt men dit 'asymmetrie'. Bovenstroomse actoren kunnen hun problemen deels afwentelen op benedenstroomse actoren en niet andersom. De asymmetrie kan alleen worden opgeheven door middel van speciaal daarop gerichte economische of juridische maatregelen of politieke afspraken. Voor de morele verantwoordelijkheid die bovenstroomse gemeenschappen hebben ten aanzien van benedenstroomse gemeenschappen hebben de Zweden eind negentiger jaren een woord uitgevonden – *hydro-solidarity* – dat tegenwoordig wereldwijd wordt toegepast om aan te geven dat water een collectief goed is waar mensen ook gemeenschappelijk zorg voor moeten dragen [25,75,86,87].

Er bestaat in veel gevallen een spanning tussen rechtvaardigheid en efficiëntie. Daar bedoel ik mee dat wat velen rechtvaardig zouden vinden vaak niet efficiënt is. Andersom, een efficiënte aanwending van water leidt meestal niet tot wat men rechtvaardig vindt. Rechtvaardigheid vergt dus een zekere mate van inefficiëntie. Dit is een dilemma waar elke politicus of beleidsambtenaar dagelijks mee te maken heeft. In het geval van water is het vanuit het oogpunt van efficiëntie het beste om water toe te wijzen aan de gebruikers die er het meeste voor over hebben, dat wil dus zeggen industrieën, waar water in het algemeen een relatief grote toegevoegde waarde heeft, en rijke burgers die er best een paar centen voor over hebben om een mooi strak gazonnetje te hebben en hun auto schoon gewassen voor de deur te hebben staan. Als water op strikte wijze wordt behandeld als een economisch goed dan komt het niet terecht bij mensen van wie de lage *willingness to pay* (of beter gezegd: lage *ability to pay*) een goede watervoorziening onrendabel maakt.

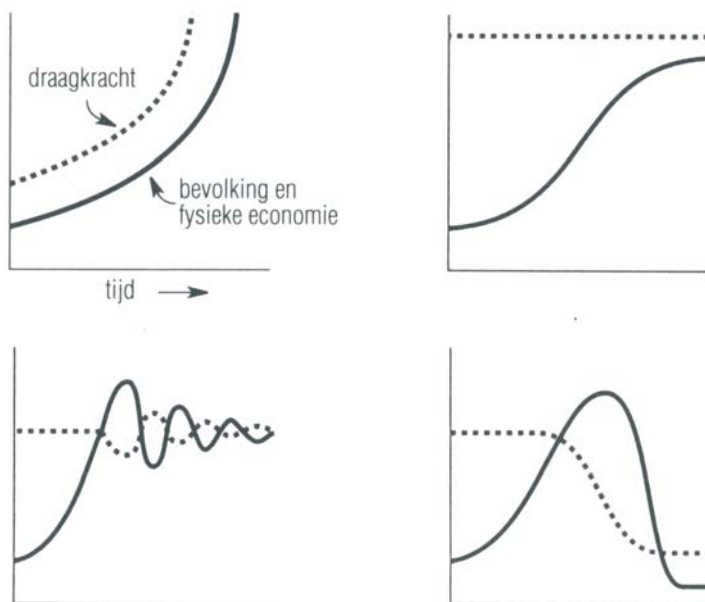
Vanuit het oogpunt van onderzoek is het interessant te bestuderen in hoeverre er gronden bestaan voor het vaststellen van minimale en maximale waterrechten en hoe verschillende beleidsinstrumenten effect sorteren op de efficiëntie van watergebruik aan de ene kant en een rechtvaardig watergebruik aan de andere kant.

## Duurzaamheid

Zelfs in het ideale geval waarin waterbeheer bijdraagt aan een goede balans tussen efficiëntie en rechtvaardigheid, kunnen we niet voetstoots aannemen dat de situatie ook duurzaam is. Watergebruik kan best efficiënt en rechtvaardig zijn voor de huidige generatie maar gepaard gaan met geleidelijke uitputting en andere lange-termijn effecten, hetgeen niet aantrekkelijk is voor volgende generaties. Daarom is duurzaamheid een belangrijk aanvullend derde criterium.

Al in 1798 beargumenteerde Thomas Malthus in zijn *Essay on the Principle of Population* dat natuurlijke hulpbronnen eindig zijn en slechts een beperkte populatie kunnen dragen [89]. Malthus observeerde een sterke toename in de Engelse bevolking in de tweede helft van de achttiende eeuw, terwijl de voedselproductie achterbleef, wat tot honger onder de armen leidde. In hun rapport aan de Club van Rome, *Limits to Growth*, dat verscheen in 1972, luid-

den Donella en Dennis Meadows, Randers en Behrens de noodklok door te laten zien dat stabilisatie na een periode van groei de enige weg tot duurzame ontwikkeling is [91]. Weliswaar zijn de ergste scenario's uit het rapport niet uitgekomen, maar de structuur van de analyse heeft nog steeds haar geldigheid. Een belangrijk begrip in de duurzaamheidsdiscussie is de 'draagkracht' van het ecologische systeem. De auteurs van *Limits to Growth* laten zien dat een bevolking niet kan uitgaan boven de draagkracht van het milieu waarin ze leven [Figuur 20]. Als dat wel gebeurt, zal dat de draagkracht aantasten en zal de bevolking door hongersnood en andere ellende vanzelf worden gereduceerd tot beneden de draagkracht. Afhankelijk van de vorm en mate van aantasting van het milieu zal de draagkracht zich weer met zekere snelheid herstellen. Door technologische ontwikkeling kan de draagkracht van het milieu worden vergroot. Zo ging de neolithische revolutie – de geleidelijke introductie van de landbouw – tienduizend jaar geleden gepaard met een aanzienlijke groei van de wereldbevolking. Ook de industriële revolutie heeft



Figuur 20. Verschillende vormen van interactie tussen groei en draagkracht van het milieu [bron: 91].

tot een bevolkingsexplosie geleidt. Op het gebied van landbouw was vooral de introductie van grootschalige irrigatie en kunstmestgebruik gedurende de afgelopen halve eeuw – de groene revolutie – van belang. Volgens sommigen is de groene revolutie nog niet ten einde, waarbij wordt gewezen op de schijnbaar onbegrensde mogelijkheden van genetisch gemodificeerde gewassen, die naar wens droogteresistent zijn, tegen zout water kunnen, enzovoorts. Hoewel technologische ontwikkeling de draagkracht van de aarde kan vergroten, is de draagkracht bij een gegeven ontwikkelingsniveau toch altijd begrensd. Onzeker is waar de grenzen precies liggen en met welke snelheid we de grenzen kunnen verleggen.

Het begrip duurzame ontwikkeling is vooral populair geworden na de publicatie van het boek *Our Common Future* door de World Commission on Environment and Development in 1987 [174]. Deze commissie definieerde duurzame ontwikkeling als een vorm van ontwikkeling waarbij in de behoeften van de huidige generatie wordt voorzien zonder dat de mogelijkheid van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien wordt ondergraven.

Er zijn wetenschappers die beweren dat duurzaamheid een objectief concept is, met als belangrijkste argument dat het gaat om het handhaven van de ecologische basis die nodig is voor het instandhouden van onze samenleving. Het zou daarbij gaan om een puur wetenschappelijke vraagstelling [66]. Dit zou het concept neerleggen op het bureau van wetenschappers en bureaucraten, die dan, gebaseerd op feiten, zouden kunnen vaststellen welke van onze activiteiten duurzaam zijn en welke niet. Aan het andere eind van het spectrum zijn er wetenschappers die zeggen dat duurzaamheid een maatschappelijke vraagstelling is en dat het vooral gaat om het compenseren van de marktverstoringen die ten koste gaan van het milieu, dus om het beter waarderen van het milieu in individuele en maatschappelijke afwegingen. Volgens deze zienswijze zouden we vanzelf duurzaam met het milieu omgaan als we de waarde daarvan maar erkennen in onze afwegingen. Daarmee is duurzaamheid dus teruggebracht tot een preferentie, dus een puur subjectief iets. Weer een andere groep, en daartoe reken ik mijzelf, zegt dat duurzaamheid met feiten te maken heeft, maar ook met waarden. Duurzaamheid is wel een subjectief begrip in de zin dat subjectieve interpretaties en waarden een belangrijke rol spelen, maar los van waarden, interpretaties en preferenties zijn er wel degelijk natuurwetenschappelijke randvoorwaarden voor duurzame ontwikkeling aan te geven. Ik ben het fundamenteel oneens met de benadering van een overheersende groep econo-



men die veronderstelt dat het op een juiste manier kwantificeren en in rekening brengen van de waarde van het milieu automatisch leidt tot duurzame ontwikkeling. Ik wil niet zeggen dat het nutteloos is pogingen te ondernemen door middel van enquêtes en andere door economen ontwikkelde methoden schattingen te maken van de waarde van natuurlijke hulpbronnen en ecosystemen, maar het juist prijzen en meenemen van de economische waarde van het milieu in maatschappelijke afwegingen geeft nog geen garantie op duurzaamheid. De economie speelt zich af binnen het ecosysteem en niet andersom; het is niet mogelijk om het ecosysteem te besturen vanuit de economie. William Rees vatte de kritiek samen in een simpele vraag: Hoe moet een parasiet zijn gastheer waarderen? [119]. Het antwoord is uiteraard dat de parasiet, de mens, afhankelijk is van zijn gastheer, de aarde, en dat deze vraagstelling dus weinig zinvol is.

Zijn er grenzen aan watergebruik? Wereldwijd zijn de wateronttrekkingen ten behoeve van de landbouw, industrie en huishoudelijke sector gedurende de afgelopen eeuw continu toegenomen en die trend zet zich volgens de laatste schattingen voort gedurende de komende decennia [142]. Er zijn vaak mensen die mij vragen: maar wat maakt het eigenlijk uit, want water is toch een vernieuwbare bron, het gaat toch niet 'op' zoals bij olie? Dat laatste klopt: de watercyclus op aarde is min of meer gesloten. Er verlaten slechts verwaarloosbare hoeveelheden de dampkring en op aarde zijn er geen chemische processen die water echt doen verdwijnen. Water wordt soms tijdelijk ingebouwd in organisch materiaal, maar dat is onderdeel van de cyclus. Toch, ondanks het vernieuwbare karakter, is water wel eindig [117]. Het jaarlijkse zoetwatergebruik is namelijk begrensd door de totale jaarlijkse neerslag boven land. Zoetwater kan ook worden verkregen door ontzilting van zeewater [137], maar dit kost veel energie en is dus vooralsnog alleen een oplossing voor toepassingen waar relatief kleine hoeveelheden water een grote meerwaarde kunnen creëren, dus niet in de landbouw, de grootste watergebruiker. Het is verder zo dat water voor een deel gerecycled kan worden, maar ook daar zijn grenzen aan. In de voedselproductie, de grootste watergebruiker, is de mogelijkheid tot recycling beperkt door het feit dat verdamping juist intrinsiek onderdeel is van plantengroei. Alleen het water dat voor de plant verloren gaat en in plaats daarvan naar het grondwater sijpelt is beschikbaar voor recycling. In het geval van wateronttrekkingen ten behoeve van huishoudelijk of industrieel gebruik zijn verdampingsverliezen kleiner dan in de landbouw, maar de stromen terug naar het grond- of oppervlaktewater systeem zijn vaak vervuild en om die reden alleen te her-

gebruiken na behandeling. In de praktijk wordt zelfs in de OECD landen slechts 60% van het huishoudelijk afvalwater behandeld, dus op wereldschaal zal het behandelingspercentage veel lager liggen [117]. Kortom, water is een eindige hulpbron met grenzen aan het gebruik.

Hoe duurzaam is het beheer van water in bijvoorbeeld Nederland, de VS, Oezbekistan, Katar of Jemen? Deze landen verschillen nogal in rijkdom, ontwikkelingsniveau en klimaat. In alle gevallen zijn er echter grote vraagtekens te zetten bij de duurzaamheid van de manier waarop met water wordt omgegaan. In Nederland lijken we het waterbeheer redelijk op orde te hebben, maar dat komt omdat we vrij effectief onze water-voetafdruk hebben afgewenteld op het buitenland, waardoor andere landen te kampen hebben met de effecten van overmatig watergebruik en niet wijzelf. In de Verenigde Staten hebben de mensen de grootste water-voetafdruk per hoofd van de bevolking in de wereld. Als iedereen er een Amerikaans consumptiepatroon op na zou houden dan waren de zoetwatervoorraden in de wereld snel uitgeput. De Ogallala aquifer, een van de grote zoetwatervoorraden in de wereld, die zich uitstrekt onder de Amerikaanse Great Plains, wordt in rap tempo leeggepompt. De Colorado rivier stroomt sinds halverwege de jaren zestig van de twintigste eeuw niet meer uit in zee [135]. Amerika gebruikt immense hoeveelheden water voor het produceren van exportgewassen, waar de economie wel bij vaart maar waarbij de natuurlijke basis snel wordt uitgeput. In Oezbekistan heeft men het klaargespeeld om twee rivieren zo intensief te gebruiken dat een hele zee langzaam aan het opdrogen is. In Katar had ik een bijzondere ervaring toen ik daar in april 2001 op hun Nationale Milieudag een bomenplantceremonie mocht bijwonen. Nu moet u weten dat Katar niet veel meer heeft dan zand en olie, dus bomen planten is beslist iets bijzonders. Ter gelegenheid van de gebeurtenis had men een nieuwe asfaltweg aangelegd naar de plek in de woestijn waar de bomen geplant zouden worden. Ter plekke had men een mooie grote tent opgericht, voorzien van grote airconditioners om het een beetje aangenaam te houden voor de Minister van Energie die de dag zou openen. De Minister van Energie gaat daar overigens ook over Water, wat eigenlijk wel logisch is want zoetwater hebben ze niet en is dus maar een klein beleidsterrein. Bovendien is de watervoorziening in Katar gebaseerd op ontzilting, een proces waar zoals gezegd veel energie voor nodig is. Daarmee is de vraag of waterbeheer duurzaam is in Katar teruggebracht tot de vraag of de olievoorraden in Katar duurzaam zijn, en het antwoord daarop is uiteraard: nee, want die gaan langzaam op. Men is wel aan het nadenken welke andere soorten van activi-

teiten dan oliewinning mogelijk zijn in de woestijn, om niet in een gat te vallen als de olie eenmaal op is. In Jemen, dezelfde regio, maar dan zonder zoveel olie en heel arm, met een voortgaande exponentiele bevolkingsgroei raken de grondwatervoorraden sneller uitgeput dan op enige andere plek ter wereld. Een groot deel van dat grondwater wordt gebruikt voor de irrigatie van qat, de nationale drug. Zo heeft ieder land zijn eigen specifieke problemen met waterbeheer.

Om te snappen waarom samenlevingen zo onverstandig zijn hun watervoorraden uit te putten kunnen we teruggrijpen op het feit dat water een *common pool resource* is. Zoals eerder gezegd kenmerkt een *common pool resource* zich door het feit dat iedereen er toegang toe heeft. In zijn beroemde artikel *The Tragedy of the Commons* heeft Garrett Hardin in 1968 laten zien hoe een toenemende druk op een *common pool resource* eenvoudig tot overexploitatie kan leiden. Terwijl het voor ieder individu aantrekkelijk is het gebruik steeds te intensiveren, is het voor de gemeenschap als geheel uiteindelijk desastreus [51]. Het probleem is dat individuen geneigd zijn tot zogenaamd *free rider behaviour*, dat wil zeggen dat het individu er op korte termijn profijt van kan hebben als hij iets meer neemt van de *common pool resource* dan de anderen, omdat de baten voor het individu zijn en de kosten verdeeld over de hele gemeenschap. Als echter alle individuen zo denken en handelen, resulteert dit in overexploitatie.

Er is nog een factor die een rol kan spelen in het onduurzaam omgaan met water. Door het verschijnsel dat mensen het in de hand hebben van 1 euro vandaag meer waard vinden dan 1 euro een jaar later, loont het om nu winsten te behalen en zogewenst te delen en latere generaties met de kosten op te zadelen. De nadelige effecten van activiteiten zoals de aanleg van dammen en infrastructuur voor grootschalige watertransfers, het droogleggen van wetlands, het invoeren van gebiedsvreemde vissoorten en het uitputten van grondwatervoorraden, worden vaak pas goed merkbaar na enkele tientallen jaren. In een economische analyse waarin toekomstige kosten en baten worden verdisconteerd vallen de lange-termijn kosten al gauw weg tegen de kortere termijn baten. Daarom blijft verdiscontering in grootschalige projecten een punt van verhit debat. Mijn eigen standpunt is het volgende: als het gaat om de rendabiliteit van een particuliere onderneming waarbij de financiële baten over een bepaalde periode moeten opwegen tegen de financiële kosten over dezelfde periode, dan moeten de toekomstige kosten en baten uiteraard worden verdisconteerd in de tijd, want anders gaat de

initiatiefnemer failliet. In het geval van de meeste overheidsuitgaven gaat het echter helemaal niet om de rendabiliteit van een onderneming, maar simpelweg om een investering waarvan men schat dat die op lange termijn positieve effecten sorteert. Overheden geven om die reden een hoop geld uit aan bijvoorbeeld onderwijs. Om dezelfde reden bouwen overheden dammen voor watervoorziening of elektriciteitsopwekking en dijken tegen overstromingen. Dit soort uitgaven op het gebied van waterbeheer renderen nooit in de zin dat de overheid uiteindelijk meer geld terugkrijgt dan dat ze heeft geïnvesteerd. Het gaat uiteraard om het macro-economische effect, het produceren van basisvoorzieningen en het creëren van veiligheid. En voor een overheid die vooruit wil kijken gaat het ook om het bevorderen van een duurzame ontwikkeling. Kortom: het gaat om een afweging van kosten versus een veelheid van effecten, variërend van macro-economische effecten tot lange-termijn maatschappelijke en ecologische effecten. Een economische kosten-batenanalyse is niet het geschikte instrument voor de ultieme afweging van grootschalige complexe publieke investeringen omdat veel van de baten niet in economische termen kunnen worden uitgedrukt. Ik weet dat ik hier tegen een stroom oproei, maar dat is het in dit geval wel waard. Het boeiende van het collectieve goed water is juist dat er zowel economische als sociale en ecologische aspecten zijn.

Wat is duurzaam watergebruik? Vanuit ecologisch oogpunt houdt duurzaam watergebruik in dat de onttrekkingen uit vernieuwbare waterbronnen zoals freatisch grondwater en oppervlaktewater ruim onder de natuurlijke aanvulling moeten blijven. De gangbare opvatting is dat je per jaar niet meer grondwater mag onttrekken dan er jaarlijks via doorsijpelend regenwater wordt aangevuld [26]. Op veel plaatsen op de wereld zit men daar ruim boven, met snel dalende grondwaterspiegels tot gevolg. Wat nooit wordt vermeld is dat indien de grondwateronttrekking precies gelijk is aan de jaarlijkse natuurlijke aanvulling dit evengoed zal leiden tot flinke grondwaterstanddalingen. Als onttrekking en aanvulling gelijk zijn zal er toch altijd nog grondwater blijven afstromen naar het benedenstroomse natuurlijke uitstroompunt, waardoor grondwaterspiegels zullen dalen totdat de grondwaterspiegel op hetzelfde lage niveau is als het ver weg gelegen natuurlijke uitstroompunt. Een vergelijkbaar verschijnsel treedt op bij het vangen van vis. Je mag niet simpelweg zeggen dat je per jaar precies zoveel vis kan vangen als er jaarlijks geboren wordt en er dan van uit gaan dat de oorspronkelijke evenwichtstoestand behouden blijft. Als je dat doet dan verlaag je wel systematisch de visstand, met mogelijke gevolgen voor het hele aquatische

systeem. Vandaar dat ik zeg dat de onttrekkingen uit vernieuwbare waterbronnen ruim onder de natuurlijke aanvulling moeten blijven, afhankelijk van welke verstoring van het systeem in een breder kader acceptabel is [58]. Voor vervuiling geldt een soortgelijk principe: emissies moeten ruim lager zijn dan het assimilatievermogen, de verwerkingscapaciteit, van het natuurlijke systeem.

Voor onttrekkingen van niet-vernieuwbare hulpbronnen geldt dat ze kleiner moeten zijn dan de snelheid waarmee alternatieve bronnen worden gevonden en toegepast. In het geval van het Great Man-Made River Project in Libië bijvoorbeeld, waarbij de woestijn wordt geïrrigeerd met fossiel grondwater dat al duizenden jaren diep onder de woestijn zit zal men binnen vijftig jaar, wanneer de voorraad naar verwachting uitgeput zal zijn, moeten kunnen overstappen op een andere waterbron, bijvoorbeeld ontzilting [30,38,113]. Men neemt hiermee een voorschot op de toekomst want momenteel is het ontzilten van zeewater voor irrigatie nog niet rendabel. Dit legt meteen een punt bloot dat in elke duurzaamheidsdiscussie boven komt drijven: in hoeverre mogen we nu problemen creëren in het vertrouwen dat we op termijn een oplossing vinden.

In mijn dissertatie heb ik de noodzaak laten zien om het nog steeds groeiende watergebruik en de groeiende watervervuiling te stabiliseren op een niveau dat duurzaam handhaafbaar is. De vereiste ontwikkeling op de lange termijn kan worden beschreven met behulp van het concept van de ‘watertransitie’ [56]. Een min of meer stabiel watergebruik neemt eerst exponentieel toe om vervolgens op een hoger niveau weer te stabiliseren. De watertransitie bestaat uit drie fasen. In de eerste fase worden er voortdurend nieuwe watervoorraden aangesproken om een groeiend aantal mensen van water te voorzien en om de opbrengsten in de landbouw te vergroten. De tweede fase wordt gekenmerkt door een toenemende waterschaarste en competitie tussen verschillende watergebruikers, wat de snelle groei in watervraag enigszins doet afremmen. In de derde fase heeft de waterschaarste een niveau bereikt waarop mensen gedwongen worden om efficiënter met water om te gaan en vervuiling te doen afnemen. Op die manier ontstaat een nieuwe stabiele situatie. Het alternatief van een succesvolle watertransitie is voortgaande intensivering van watergebruik, uitputting van voorraden, steeds vaker optredende watertekorten en uiteindelijk een neerwaartse voedselproductie. Op wereldschaal zitten we nu in de tweede fase van de transitie, met als grote uitdaging de derde fase succesvol te vervolmaken.

Een belangrijke vraag is welke mechanismen er zijn om de watertransitie succesvol te laten verlopen en niet te eindigen in voor de samenleving desastreuze watertekorten. Een belangrijke ommezwaai die een samenleving moet maken is dat men zich niet langer moet richten op het alsmaar uitbreiden van de infrastructuur om meer en meer water te kunnen exploiteren, maar op het vergroten van de efficiëntie en het verminderen van de watervraag. Beleid gericht op het vergroten van het wateraanbod moet dus plaatsmaken voor beleid gericht op het verkleinen van de watervraag.

Zoals ik al eerder heb gesuggereerd staat het idee van duurzaamheid soms op gespannen voet met begrippen als efficiëntie en rechtvaardigheid. Niet de hele wereldbevolking zou bijvoorbeeld hetzelfde consumptiepatroon kunnen hebben als de gemiddelde Amerikaan, want dan zou de watervraag in de wereld de beschikbare bronnen ruim overstijgen. Rechtvaardigheid en duurzaamheid zijn daarom alleen te combineren als de Amerikaan inlevert.

De spanning tussen duurzaamheid en efficiëntie komt duidelijk naar voren in het volgende voorbeeld. De Nederlandse bio-industrie is relatief efficiënt in termen van eenheden milieuvuiling per kilogram geproduceerd vlees. Dat wil zeggen dat de concentratie van productie het mogelijk maakt om op efficiënte wijze veevoeder om te zetten in dierlijke biomassa, waardoor er relatief weinig stikstofverliezen naar het milieu zijn. Echter, doordat wij zoveel dieren op een klein oppervlak hebben, zijn de stikstofoverschotten per hectare juist bijzonder groot. Dit is een typisch voorbeeld van het dilemma tussen intensieve en extensieve productie. Intensieve productie is vaak efficiënt, ook vanuit het oogpunt van eenheden vervuiling per eenheid product, maar het afval komt wel heel geconcentreerd in het milieu terecht. Wordt daar niet zorgvuldig mee omgegaan, dan heeft men dus een levensgroot probleem, zoals wij dat in Nederland hebben met de mestoverschotten en eutrofiëring van onze wateren. Extensieve productie heeft het voordeel dat onzorgvuldig beheer tot minder grote problemen leidt, maar vooral ook dat problemen zich minder snel voordoen, doordat de hoeveelheid vervuiling minder snel boven het natuurlijke reinigingsvermogen van het milieu komt. Duurzame extensieve productie is gebaseerd op het sluiten van kringlopen op kleine schaal, terwijl duurzame intensieve productie gebaseerd zal moeten zijn op het sluiten van kringlopen op een grote schaal. Bijvoorbeeld door de Nederlandse mestoverschotten naar Brazilië te brengen, naar de akkers waar de soja voor Nederland wordt verbouwd. Dit stuit echter op bezwaren van milieuhygiënische aard – we zouden dan immers Nederlandse ziekte-

kiemen naar Brazilië vervoeren – maar ook van economische aard, want de hele handel wordt natuurlijk veel kostbaarder en daardoor minder aantrekkelijk als het terugbrengen van de mest naar de plaats waar het veevoer vandaan komt onderdeel van de deal wordt. Voor waterbeheer betekent het bovenstaande dat het probleem van eutrofiëring dus niet buiten het kader van de bredere afweging van intensieve versus extensieve landbouw kan worden geplaatst. De fragmentatie in beleid zorgt er echter in de praktijk voor dat bredere maatschappelijke afwegingen binnen geen enkel specifiek ministerieel domein vallen.

‘Duurzaam waterbeheer’ is dus een moeilijk in te vullen begrip, net als overigens begrippen als ‘efficiënt waterbeheer’ of ‘rechtvaardig waterbeheer’. Duurzame ontwikkeling, efficiëntie en rechtvaardigheid hebben alleen betekenis in een bredere context, waarin water slechts een onderdeel van het grotere geheel is. Dat is precies de reden waarom ik waterbeheer in die bredere context wil bestuderen.

## Zekerheid

Na efficiëntie, rechtvaardigheid en duurzaamheid is er een vierde maatschappelijk criterium waarlangs ontwikkeling kan worden afgemeten: zekerheid. De behoefte aan zekerheid komt uiteraard voort uit de grote onzekerheden en de daaraan gekoppelde risico's die het leven in een complexe samenleving met zich meebrengt. Zekerheid is steeds meer een kwestie van maatschappelijk belang. Men maakt zich zorgen over de risico's van de invoering van een relatief homogene groep gemodificeerde voedselgewassen voor de biodiversiteit en dus vitaliteit binnen de landbouw, over de bedreigingen van verschillende ziektes, zoals mond- en klauwzeer, gekke koeienziekte (BSE), varkenspest en vogelgriep voor de veeteelt, en over de bedreiging van nieuwe ziekten die zijn overgesprongen van dier op mens (AIDS, SARS).

Het risicoconcept is vanuit verschillende invalshoeken bestudeerd, wat heeft geleid tot een grote verscheidenheid aan interpretaties en analysegeredenschappen [7,74]. Ingenieurs hebben risico vanouds kwantitatief gedefinieerd als het product van de waarschijnlijkheid van een gebeurtenis en het gevolg daarvan. In de economische benadering worden risico's gezien als een kans op een verlies en als zodanig kunnen ze worden meegenomen in een kos-

ten-batenanalyse. Volgens sommige wetenschappers zou in een kosten-batenanalyse het 'optimale' of 'acceptabele' niveau van een risico kunnen worden bepaald door te zoeken naar het punt waarop de kosten van verdere risicoreductie niet meer opwegen tegen de economische baten daarvan [12,169]. In de milieu- en gezondheidswetenschappen wordt het risicoconcept gebruikt om naar de potentiële gevolgen van menselijke activiteiten op mensen en ecosystemen te verwijzen. Effecten worden hier meestal niet uitgedrukt in monetaire eenheden maar in hun eigen eenheid (bijvoorbeeld gezondheidseffect, verlies van habitat, verlies van soortendiversiteit). De sociale wetenschappen kijken niet zozeer naar de analytisch beredeneerde risico's maar naar de *perceptie* van risico's door verschillende groepen in de samenleving [71,120]. Vanuit dit perspectief is wel beargumenteerd dat de manier waarop mensen met een bepaald risico omgaan beter begrepen kan worden vanuit de perceptie van dat risico dan vanuit het werkelijke risico. Antropologen hebben bestudeerd hoe verschillende culturen risico's op verschillende consistente manieren definiëren en benaderen [39,150]. Er is geconstateerd dat het hanteren van één specifiek perspectief op risico's onvoldoende is voor het maken van beleid [6].

Op het gebied van water gaat het ten eerste om de zekerheid van een goede en veilige watervoorziening. In het Engels spreekt men van *water security*, in het Nederlands: waterzekerheid. Het gaat bij waterzekerheid om twee niveaus, het individuele en het nationale. Op individueel niveau bestaat de zorg van miljarden mensen elke dag weer om aan water te komen, wat voor sommigen uren lopen per dag betekent, voor anderen een aanslag op het dagelijkse budget. Op nationaal niveau gaat het uiteraard ook om het veiligstellen van de watervoorziening naar de bevolking, maar daar komt bij de zorg voldoende water te hebben voor de productie van voedsel. In het verleden werd voedselzekerheid gelijk gesteld aan het vermogen zelf in het voedsel voor de bevolking te voldoen. Met de toenemende specialisatie in landen en de toenemende wereldhandel is dit idee door veel landen verlaten. Een toenemend aantal landen verschaft zichzelf voedselzekerheid door middel van voedselimport en maakt daarbij dus indirect gebruik van de watervoorraden elders. Er zijn echter landen die proberen vast te houden aan voedselzekerheid in de oude betekenis van voedselzelfvoorziening. Egypte is zo'n voorbeeld. Vanuit het standpunt van voedselzekerheid is het streven van Egypte om zelf voedsel te verbouwen met het water van de Nijl heel begrijpelijk, want de regio is niet stabiel genoeg om te kunnen vertrouwen op structurele voedselimport uit de buurlanden. We zien hier echter wel een



spanning tussen het concept van zekerheid en efficiëntie, want het zou efficiënter zijn als het Nijlwater in landen als Ethiopië en Soedan zou worden aangewend voor voedselproductie dan in Egypte, want de klimatologische omstandigheden en bodemgesteldheid zijn buitengewoon ongunstig in Egypte [45]. Een land als Jordanië heeft wel het idee van zelfvoorziening laten varen, met als resultaat dat het land inmiddels voor zeventig procent van haar waterbehoefte afhankelijk is van waterbronnen in het buitenland [17]. In algemene termen kunnen we zeggen dat de specialisatie vanuit economisch oogpunt leidt tot een efficiënter gebruik van de hulpbronnen, maar deze grotere efficiëntie gaat wel gepaard met een grotere afhankelijkheid en kwetsbaarheid. Volgens een recent rapport van de OECD helpt diversiteit en heterogeniteit bij het spreiden van risico's over tijd en ruimte, terwijl concentratie (als gevolg van specialisatie en intensivering) daarentegen zorgt voor een ophoping van risico's [107]. In het geval van voedsel- en waterzekerheid kan Nederland weinig doen want wij hebben een zo grote bevolking in vergelijking met onze voedsel- en watervraag dat we daar in de verste verte niet zelfvoorzienend in kunnen zijn. Vooral de snel groeiende voedsel- en watervraag in landen als China en India zal de druk op de mondiale voedsel- en watermarkt onder druk zetten, wat zeker merkbaar zal zijn voor importafhankelijke landen zoals Nederland.

Behalve om waterzekerheid gaat het op het vlak van water uiteraard ook om de behoefte aan zekerheid om droge voeten te houden of om in ieder geval niet onaangenaam door het water te worden verrast. In haar recente rapport over de belangrijkste risico's die de wereld deze komende eeuw het hoofd moet bieden noemt de OECD vijf risicoclusters: natuurrampen, nucleaire ongevallen, infectieziekten, terrorisme en voedselveiligheid. Volgens de OECD zijn overstromingen verantwoordelijk voor een derde van de natuurrampen in de wereld en de helft van het aantal doden en een derde van de economische schade als gevolg van deze rampen [107]. Volgens de IPCC zijn de economische verliezen als gevolg van extreme weergebeurtenissen mondiaal gestegen met een factor 10 in de periode van de jaren vijftig tot negentig van de afgelopen eeuw (inflatie-gecorrigeerd) [70]. De verzekerde fractie van deze verliezen nam toe van een oorspronkelijk verwaarloosbaar niveau naar 23% in de jaren negentig. Een deel van deze waargenomen opwaartse trend is gerelateerd aan sociaal-economische factoren (zoals bevolkingsgroei, toegenomen welvaart, verstedelijking in kwetsbare gebieden), en een deel heeft mogelijk te maken met regionale klimaatsfactoren (veranderingen in neerslag en voorkomen hoogwater).

Bij het verschaffen van zekerheid draait het om de inperking van risico's, waarbij het begrip risico een steeds bredere betekenis heeft gekregen. Laat ik dat illustreren aan de hand van de ontwikkeling van het risicobegrip in het geval van overstromingsrisicobeheer in Nederland. Tot de overstromingen in Zuidwest-Nederland in 1953 hield men er rekening mee dat het water zo hoog zou komen als de hoogste waterstand ooit gemeten. Na 1953 besloot men in termen van kansen te gaan denken. Er werden normen voor maximale overschrijdingskansen opgesteld, die zo streng waren dat men rekening ging houden met afvoeren en waterstanden die weliswaar nog niet eerder waren gemeten, maar waar uiteraard wel een zekere kans op bestond. Hiervoor was het nodig de kansen te schatten waarmee verschillende afvoeren en waterstanden zouden kunnen optreden. Sinds deze benadering tot nationaal beleid is geworden zijn er vier ontwikkelingen geweest in het denken over risico's die aanleiding zijn het huidige overstromingsrisicobeheer in Nederland te herbezien.

De eerste ontwikkeling is de erkenning sinds de tachtiger jaren dat het bij risico's niet zozeer gaat om de kans dat een bepaalde afvoer of waterstand optreedt maar om de kans dat een onderdeel van de hele verdedigingslinie bezwijkt [168]. Men zou dus naar de verschillende bezwijkmechanismen moeten kijken en naar de zwakste schakels in de linie. De werkelijke overstromingskans is niet gelijk aan de kans op overschrijding van een zekere waterstand omdat in het eerste geval naar een dijkkring in zijn geheel wordt gekeken in plaats van naar afzonderlijke dijkvakken en omdat alle onzekerheden nu worden meegenomen en niet alleen onzekerheden in afvoeren en waterstanden. Dit bewustzijn was reden voor de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen de Nederlandse overheid te adviseren op een nieuwe methodiek voor de berekening van overstromingskansen over te gaan en vooral de zwakke schakels in de Nederlandse waterkeringen te identificeren en nader onder de loep te nemen [149]. Voor zowel de Nederlandse kustlijn als voor de primaire rivierdijken zijn eerste stappen in deze richting gezet.

De tweede ontwikkeling is dat niet langer alleen het verkleinen van de overstromingskansen relevant wordt geacht, maar ook het beperken van de mogelijke gevolgen van overstroming [40,41]. Deze benadering komt terug in het DWV-project Veiligheid Nederland in Kaart, waarvan de resultaten helaas nog niet beschikbaar zijn. Hoewel de definitie van risico als kans maal gevolg eenduidig lijkt is dat het allerminst [74]. In de praktijk onder-

scheidt men vaak alleen het zogenaamde individueel risico en het economisch risico. Het individueel risico is de kans dat iemand op een bepaalde plaats komt te overlijden als gevolg van een bepaalde gebeurtenis, in dit geval een overstroming. Het economisch risico wordt gekwantificeerd als de kans op overstroming maal de economische schade, waarbij men meestal alleen de directe schade meeneemt.

Een derde ontwikkeling in het denken over overstromingsrisico's in Nederland is de recente aandacht voor een ander soort risico: het zogenaamde groepsrisico. Zoals ik eerder heb aangegeven kunnen overstromingsrisico's in Nederland worden gekarakteriseerd als een combinatie van een erg lage overstromingskans en een erge grote potentiële schade. Hetzelfde risiconiveau zou theoretisch bereikt kunnen worden door een wat grotere overstromingskans maar een kleinere potentiële schade. Toch moge het duidelijk zijn dat beide situaties verschillend van karakter zijn. Het verschil kan zichtbaar worden gemaakt door onderscheid te maken tussen individueel risico en groepsrisico. Het groepsrisico, ook wel maatschappelijk risico genoemd, is de kans dat in één keer een hele groep mensen komt te overlijden. De grootte van deze kans hangt niet alleen af van de overstromingskans maar ook van de omvang van de getroffen bevolking. Volgens het RIVM is het individueel risico van overstroming in Nederland klein in vergelijking met soortgelijke gebieden elders, maar het groepsrisico – het risico dat een groot aantal doden tegelijk valt – is groter dan elders [121]. De hoofdconclusie van het RIVM is zelfs dat het huidige veiligheidsbeleid niet leidt tot het 'veilige en bewoonbare Nederland' zoals dat met de vaststelling van de veiligheidsnormen van 1960 werd beoogd.

Een laatste ontwikkeling is de toegenomen belangstelling voor wat de OECD systeemrisico's noemt [107]. Systeemrisico's raken volgens de OECD de systemen waarop samenlevingen zijn gebaseerd<sup>4</sup>. Een systeemrisico bedreigt de stabiliteit van een maatschappelijk systeem in zijn geheel. Systeemrisico's zijn groter dan ooit door de grote onderlinge afhankelijkheid van deelsystemen binnen samenlevingen (van lokaal tot mondiaal niveau), de grote afhankelijkheid van technologie en de toegenomen kwetsbaarheid. Door de toegenomen welvaart is er meer te verliezen dan ooit. In de woorden van Ulrich Beck zijn moderne samenlevingen langzaam getransformeerd in risi-

<sup>4</sup> Het begrip systeemrisico komt uit de financiële wereld, waar systeemrisico's bekend staan als risico's die een gehele financiële markt kunnen platleggen in plaats van slechts een beperkt aantal deelnemers.



Figuur 21. Delen van Nederland die zouden overstromen als er geen dijken waren [bron: 67].

zee of de rivieren [Figuur 21]. Het risico betreft 9 miljoen mensen en 60% van het BNP op directe wijze en de rest van de samenleving op indirecte wijze [97]. Het hanteren van systeemrisico's vereist meer dan het reduceren van en in balans brengen van waarschijnlijkheid en potentiële schade tot acceptabele niveaus. Andere factoren die van belang zijn voor beleidsmakers zijn de omkeerbaarheid van de schade, de robuustheid van het milieusysteem en de samenleving (het spectrum van onverwachte gebeurtenissen die kunnen worden opgevangen), de veerkracht van het systeem (de herstelcapaciteit, de tijd en moeite die nodig is voor herstel), en het aanpassingsvermogen van mensen aan veranderende omstandigheden (bijvoorbeeld klimaatverandering, zeespiegelstijging).

Er bestaat een tegenstrijdigheid tussen de toenemende aandacht voor groeps- en systeemrisico's en tegelijkertijd een toenemende belangstelling voor het toepassen van kosten-batenanalyse in overstromingsrisicobeheer [16]. Het probleem van het toepassen van kosten-batenanalyse in risico-

cosamenlevingen die zichzelf gespecialiseerd hebben in het minimaliseren van alle beheersbare risico's, maar die al doende een maatschappelijke en technologische structuur hebben gecreëerd die zijn eigen risico's met zich meebrengt, die van een veel grotere orde zijn dan de risico's die worden beheerst [10]. Er bestaat geen twijfel over dat overstroming een belangrijk, zo niet het belangrijkste systeemrisico voor Nederland is. Een kwart van het land ligt onder de zeespiegel en 65% van het landoppervlak is kwetsbaar voor overstroming in geval van hoogwater op

beheer is meerledig. Ten eerste gaat men er bij het maken van een kosten-batenanalyse vanuit dat kosten en baten en de kansen op bepaalde kosten en baten gekwantificeerd en in geld uitgedrukt kunnen worden. Zoals ik eerder heb beargumenteerd is het toepassen van een kosten-batenanalyse in het geval van complexe systemen, waarvan het functioneren van het geheel op het spel staat en waarvan cruciale onderdelen niet in geldtermen zijn te waarderen, een ongeschikt gereedschap. Daarnaast gaat een kosten-batenanalyse voorbij aan aspecten van redelijke risicospreiding. Vanuit het perspectief van kosten en baten is het uiteraard het gunstigst om individuen en hun bezittingen te beschermen naar draagkracht. Dit is een absurd idee, want het zou betekenen dat we ons in Nederland vooral zouden moeten bekommeren om de rijkste gebieden in laag Nederland en dat we ons in internationaal verband al helemaal niet hoeven te bekommeren om de mensen in Aceh of op Sri Lanka, aangezien deze regio's economisch gezien van weinig belang zijn. Daarnaast komt in een kosten-batenanalyse het verschil tussen kleine-kans-groot-gevolg en een equivalente situatie van grote-kans-klein-gevolg niet uit de verf, omdat het rekentechnisch op hetzelfde risico uitkomt. Tot slot, aangezien in overstromingsrisicobeheer de kosten voor de baten uitgaan heeft het gebruik van een discontovoet tot gevolg dat de kosten zwaarder worden gewogen dan de baten, hetgeen goedkope korte-termijn oplossingen bevoordeeld ten opzichte van duurdere lange-termijn oplossingen. Kortom, kosten-batenanalyse in risicobeheer, dus het criterium van efficiëntie, staat op zeer gespannen voet met de criteria van rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid.

Een principe dat vaak wordt genoemd in de context van duurzaamheid en risicobeheersing is het zogenaamde voorzorgsprincipe [23]. Volgens dit principe zouden mensen een activiteit niet moeten ondernemen als er een vermoeden bestaat dat de activiteit grote of onomkeerbare negatieve gevolgen zou kunnen hebben, alhoewel daar nog geen bewijs voor is. Deze benadering is een fundamentele breuk met het verleden, waarin vooruitgang altijd een kwestie van *trial and error* is geweest. De strategie van *trial and error* werkt bij risico's met overzienbare gevolgen, maar is te riskant als het voortbestaan van een samenleving in zijn geheel op het spel staat. Ergens ligt een vage grens, waar voorbij het systeemrisico wel erg groot wordt. Het is erg moeilijk, maar daarom een uitdaging, om te bepalen wanneer het voorzorgsprincipe in werking moet treden. Op een bepaalde leeftijd vinden kinderen het leuk om op stoelen en tafels te klimmen en er dan af te springen – ik kan het weten, ik zit er middenin. Als ze wat ouder worden wordt het leuk om de

laatste vijf treden van de trap in één keer te doen en om op dakjes te klimmen en er dan weer af te springen. Het is niet zo dat dit altijd maar door gaat: ik ben zelf nooit van hoger gesprongen dan vanaf 2,5 meter hoog. Dat is verstandig, want hoewel ik nooit een been heb gebroken, vermoed ik toch dat ik niet veel verder moet gaan. Zo is het precies met grootschalige technologie. Die heeft zich stapsgewijs ontwikkeld. Af en toe een damdoorbraak of een overstroming heb je nodig om gevoel voor de werkelijkheid te houden en om weer betere dammen en dijken te bouwen. Er komt echter een niveau waarop een samenleving het zich niet meer kan veroorloven het fout te laten gaan, omdat de gevolgen te groot zouden zijn. Nederland is met haar dijkverhogingstactiek nu op dat punt beland. We zitten in een opwaartse spiraal: Nederland is door de eeuwen heen steeds veiliger geworden, waardoor ruimte is geschapen voor steeds meer mensen en meer economische activiteit, met als gevolg een steeds grotere kwetsbaarheid. Dat is de paradox van ons land: nog nooit zo veilig, nog nooit zo kwetsbaar. Dit kan alleen worden doorbroken als beleid zich expliciet gaat richten op het verminderen van de kwetsbaarheid in plaats van op het vergroten van de veiligheid. Ik ben om deze reden dan ook geen voorstander van het aanscherpen van overstromingsnormen.

### Synthese

Ik heb nu de begrippen efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid ieder afzonderlijk behandeld. Ik heb laten zien hoe mensen op verschillende wijzen invulling proberen te geven aan deze begrippen. Het blijkt telkens weer dat men daarbij stuit op het probleem van de onderlinge strijdigheden tussen deze begrippen. Hoe mooi zou het niet zijn als deze begrippen te vangen zouden zijn in één ultiem concept dat het antwoord geeft op vragen over de inrichting van onze maatschappij en het gebruik van onze natuurlijke hulpbronnen. Zo'n concept zou dan een brug slaan tussen de verschillende belangen en die belangen op één noemer brengen. We staan nu op een cruciaal punt in mijn betoog, want dit is natuurlijk het moment om u dat ultieme concept te openbaren. Ik zou niet de eerste zijn die een poging daartoe zou ondernemen. Vooral economen doen vaak pogingen om andere criteria dan efficiëntie onder te brengen onder het efficiëntieconcept door de nutsfunctie met dat doel aan te passen. Ik moet u alleen nu meteen teleurstellen. Ik ga dat ultieme concept dat begrippen als efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid onder één alomvattende paraplu brengt niet geven. En daar is een goede reden voor. Zo'n alomvattend con-

cept bestaat namelijk helemaal niet. Uiteraard staat het ieder individu vrij om naar zijn of haar opvattingen te formuleren wat de uiteindelijke meetlat is waarlangs ontwikkeling (progressie) wordt afgemeten. Maar de keuze van de ultieme meetlat houdt uiteindelijk een waardeoordeel in van wat goed en wat slecht is. Het blijkt dat mensen, binnen zekere marges, verschillende opvattingen hebben over hoe begrippen als efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid geïnterpreteerd en gewogen moeten worden. De wetenschapper staat niets anders te doen dan te bestuderen hoe mensen in de praktijk op verschillende manieren met elkaar en met hun natuurlijke hulpbronnen omgaan, welke concepten ze daarbij gebruiken, hoe ze die concepten in de praktijk brengen en wat de gevolgen zijn van verschillende vormen van interactie tussen mens en milieu.

# Analysemethoden van een generalist

Het derde deel van mijn betoog gaat over de analysemethoden die een generalist, die de samenhangen tussen verschillende verschijnselen wil begrijpen en die kennis wil vertalen naar beleid, ter beschikking staan. Ik bespreek hier de belangrijkste methoden die ik in mijn onderzoek denk nodig te hebben: systeemanalyse, beleidsanalyse en onzekerheidsanalyse.

## Systeemanalyse

De systeemtheorie kan ons een hoop leren. Een interessant onderdeel van de systeemleer gaat over de werking van positieve en negatieve terugkoppelingen. Een positieve terugkoppeling is een cyclisch mechanisme waarin het originele signaal zichzelf versterkt. Een negatieve terugkoppeling is een cyclisch mechanisme waarin een beginsignaal zichzelf juist onderdrukt. Een systeem heeft negatieve terugkoppelingen nodig om te stabiliseren en zaken niet uit de hand te laten lopen. Als we dit inzicht toepassen op de vraag hoe we in Nederland risico's van overstromingen kunnen beheersen, dan is het antwoord dat er dus negatieve terugkoppelingsmechanismen in onze samenleving moeten worden ingebouwd die ervoor zorgen dat de schade door overstroming nooit te groot wordt, dat wil zeggen dat er adequate responsmechanismen zijn die in werking treden zodra het mis dreigt te lopen. Het belangrijkste mechanisme dat tot op heden voor veiligheid heeft gezorgd is het volgende: na elke overstroming of bijna-overstroming mobiliseerde de bevolking zich met vernieuwde krachten om 'het niet weer te laten gebeuren'. Zo waren de voortdurende overstromingen in de middeleeuwen de drijvende kracht achter de continue dijkversterkingen en was de overstroming in 1953 de mobiliserende kracht achter de Deltawerken. De hoge rivierwaterstanden in onze grote rivieren eind 1993 en begin 1995 waren de drijvende kracht achter het Deltaplan Grote Rivieren, dat de versnelde uitvoering van alle benodigde dijkversterkingen inhoudt. Het klinkt dus heel sceptisch om te moeten constateren dat er dus een volgende ramp of bijna-ramp moet komen om in de toekomst veiligheid te garanderen. Maar zo hebben wij onze maatschappij nu eenmaal ingericht. Willen we dat anders, dan kan dat, maar dan moeten we zorgen voor een alternatief negatief terugkoppelingsmechanisme, namelijk één dat ons met grotere regelmaat dwingt tot actie. Kortom, er moeten weer meer gebieden komen, anders dan de uiterwaarden die we al hebben, die met enige regelmaat onderstromen. Er kunnen wel



activiteiten zijn in die gebieden, maar er zal uiteraard rekening moeten worden gehouden met een overstroming gedurende hoogwater. We hebben nu een 'zomerbed' en een 'winterbed' (de uiterwaard). Waarom niet structureel een derde 'hoogwaterbed' dat eens in de paar jaar onderstroomt? Het creëren van retentiegebieden voor het tijdelijk bergen van water en het aanwijzen van noodoverloopgebieden zijn ook werkbare maatregelen, maar het gevaar bestaat wel dat er zwakke plekken in het gehele systeem blijven zitten waardoor theoretisch wel hogere afvoeren kunnen worden geaccommodeerd, maar waardoor de kwetsbaarheid niet afneemt. Voor dat doel zouden buffergordels langs rivieren en kust functioneler zijn.

Eén van de moeilijkste stappen in een systeemanalyse is het vaststellen van de systeemgrenzen. Welke factoren en processen worden nog wel en welke niet meer meegenomen in de analyse zelf, en welke worden als randvoorwaarde genomen? Bij de beweging naar integraal waterbeheer zijn de grenzen van het te analyseren systeem steeds verder opgerekt. In eerste instantie werd met integratie vooral bedoeld op het bekijken van de samenhang tussen waterkwantiteit en waterkwaliteit en tussen grond- en oppervlaktewater. Tot in de jaren zeventig waren dit veelal gescheiden werelden. Een volgende integratiestap werd gezet door waterprocessen in samenhang te gaan zien met bodem-, land- en klimaatprocessen. We hebben het dan nog steeds over integratie binnen de natuurwetenschappen. Een volgende stap is het in samenhang bezien van natuurlijke en maatschappelijke processen, bijvoorbeeld de interactie tussen watervraag en natuurlijke waterbeschikbaarheid. De systeemgrenzen kunnen steeds verder worden opgerekt; aan de ene kant is dat noodzakelijk, maar aan de andere kant wordt het steeds moeilijker om het geheel nog te overzien. In het modelleren van complexe systemen is het dus noodzaak afzonderlijke onderdelen zo simpel mogelijk te houden opdat de analyse zich kan richten op de grote verbanden en niet verzandt in een ondoorzichtige brij van gegevens en afhankelijkheden.

Twee relevante vragen zijn altijd weer: hoe ingewikkeld moet een model minimaal zijn om alle relevante processen te bevatten en hoe complex mag een model maximaal zijn om nog hanteerbaar te zijn? De afgelopen drie maanden hebben vier promovendi van de Afdeling Waterbeheer hier in Twente met succes hun proefschriften verdedigd, allemaal gericht op het ontwikkelen van methoden voor het bepalen van de meest toepasselijke modelcomplexiteit en het valideren van modellen. Het werk van Dong, Nguyen, Xu en Huang laat duidelijk zien dat de keuze van het juiste model,

dat wil zeggen de keuze van de meest relevante processen en het ruimtelijke en temporele schaalniveau waarop deze processen het beste gemodelleerd kunnen worden, één van de ingewikkeldste onderwerpen in het hele modelleerproces is [37,65,103,178].

Het interessante van complexe systemen is dat dergelijke systemen meer zijn dan de som der delen. Dit blijkt vooral uit de zogenoemde emergente eigenschappen van een systeem. De overeenkomst tussen begrippen als efficiëntie, rechtvaardigheid, duurzaamheid en zekerheid is dat het allen begrippen zijn die pas op het niveau van het systeem in zijn geheel betekenis kunnen hebben. Het zijn dus emergente eigenschappen van het systeem. Een emergente eigenschap is op geen enkele wijze uit de losse componenten van een complex systeem te abstraheren om de simpele reden dat de emergente eigenschap zelf invloed uitoefent op de componenten van het systeem. Systeemanalyse biedt een mooi gereedschap om te bestuderen hoe lokale processen resulteren in globale systeemkarakteristieken die op hun beurt weer de lokale processen beïnvloeden.

Eén van de onderwerpen waar ik de komende jaren graag dieper op inga is hoe je bij het modelleren kan omgaan met de interacties tussen processen op verschillende schaalniveaus. Dit is een andere vraag dan de vaker gestelde vraag op welk ruimtelijk en temporeel schaalniveau je bepaalde processen het beste kan modelleren. Het lijkt logisch om lokale verschijnselen op lokale schaal te bestuderen en mondiale fenomenen op mondiale schaal. Ieder proces zou zo zijn geëigende schaal hebben. De praktijk leert echter dat wat er mondiaal gebeurt een optelsom is van kleinschalige processen, maar ook dat wat er lokaal gebeurt vaak sterk afhangt van wat er op grotere schaal gebeurt. Zo moesten we in het multidisciplinaire onderzoeksproject in de Banten Baai in Indonesië, waar ik zijdelings bij betrokken was in mijn tijd bij het UNESCO-IHE, concluderen dat je wel de stroming en morfologie van de baai kan bestuderen, de ecologische processen in de mangroves, zeegrasvelden en koraalsystemen, de populatiedynamica van de vis en vogelpopulaties en de interacties tussen de lokale vissers, garnalenkwekers en boerengemeenschappen rondom de baai – dit alles om de dynamiek van het gebied te leren begrijpen om vervolgens te analyseren op welke wijze de baai op duurzamere wijze beheerd zou kunnen worden – maar dat dit alles van weinig betekenis is als de werkelijke situatie is dat Jakarta uit zijn voegen barst en dat uitwijken naar het westen, de Banten Baai dus, een niet te stuiten ontwikkeling is. Met andere woorden: wat er in de Banten Baai staat

te gebeuren zal weinig te maken hebben met de dynamiek binnen de Banten Baai, maar des te meer met de dynamiek van heel West Java, in het bijzonder Jakarta. Als reactie op de vele studies op de vierkante millimeter, bij wijze van spreken, zijn er uiteraard ook studies op de grote schaal, zoals klimaatstudies en macro-economische studies. Het blijkt steeds vaker dat we vooral moeite hebben de processen op kleinere schaalniveaus te vertalen naar wat er op grotere schaal gebeurt, en ook andersom: de ontwikkelingen op grote schaal te vertalen naar de implicaties voor de kleinere schaal. Als je oorzaak-gevolg ketens terug wilt volgen om oplossingen te vinden voor lokale problemen, dan blijkt vaak dat je eerst uitkomt bij oorzaken op hogere schaalniveaus, die echter op hun beurt weer voortkomen uit oorzaken op kleinere schaalniveaus. Een voorbeeld: de som van lokaal energiegebruik op vele plaatsen resulteert in een versterking van het broeikaseffect, hetgeen leidt tot veranderingen in de mondiale ruimtelijke en temporele patronen in temperatuur, verdamping en neerslag, die weer leiden tot lokale veranderingen in neerslag, verdamping en afvoer.

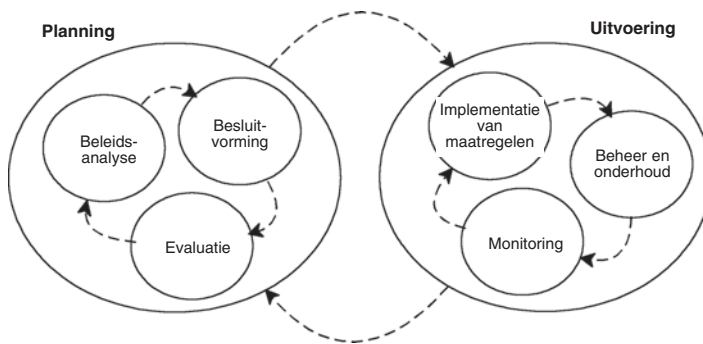
Naast de bestudering van interacties tussen schaalniveaus wil ik ook gaan kijken, met behulp van de systeembenadering, wat de verschillende consequenties zijn van functionele concentratie versus spreiding, ofwel van intensivering versus extensivering. Ik heb al eerder laten zien dat specialisatie, dat wil zeggen functionele concentratie, vanuit efficiëntie oogpunt vaak aantrekkelijk is terwijl spreiding en extensivering vaak vanuit het oogpunt van duurzaamheid en risicominimalisatie aantrekkelijk is. De vraag is dus: waar ligt de balans? Het gaat om afwegingen als: Wat veroorzaakt een grote verstoring van de hydrologie van een stroomgebied: de ene helft ontbossen ten behoeve van landbouw en de andere helft intact laten of een zelfde oppervlak ontbossen maar dan verspreid over het stroomgebied? Is het slimmer alle kwetsbare economische activiteit te concentreren in één gebied en dat dan heel goed tegen overstroming verdedigen of de kwetsbare activiteit juist zoveel mogelijk te spreiden, waardoor er wellicht eerder wat gebeurt maar wel met minder grote gevolgen? Hoe los je problemen van slechte waterkwaliteit beter op: door vervuilende activiteiten te concentreren, waardoor de afvalstromen beter beheersbaar worden maar wel erg groot op één beperkte plek, of door vervuilende activiteiten te spreiden, waardoor er wellicht in absolute zin meer in het milieu komt maar makkelijker te assimileren?

Een ander interessant onderwerp van studie is hoe watergebruikers reageren op de variatie van waterbeschikbaarheid in ruimte en tijd. Een bijzondere

karacteristiek van water is dat wanneer in een droge periode de natuurlijke beschikbaarheid afneemt, de vraag juist toeneemt in plaats van afneemt. De hele aanbodcurve schuift omhoog omdat het meer kost om in dezelfde hoeveelheid water te voorzien, maar de vraagcurve verschuift tegelijkertijd naar rechts, omdat bij een bepaalde prijs de vraag groter is. Dit verschijnsel, een vraag die sterk door het aanbod wordt beïnvloed terwijl het aanbod soms sterk en onvoorspelbaar fluctueert, maakt het lastig om steeds een economisch evenwicht te handhaven waarin er niet meer water wordt gebruikt dan vanuit het oogpunt van marginale kosten en baten verstandig is. Eén van mijn promovendi, Pieter van Oel, bestudeert dit probleem voor het Jaguaribe stroomgebied in Noordoost Brazilië. Er zijn hier een aantal reservoirs ten behoeve van irrigatie. Het lijkt er op dat men de watervoorziening vanuit de reservoirs veel beter kan beheren dan men momenteel doet en dat ook de gewaskeuze van de boeren niet altijd ideaal is. Het vreemde doet zich namelijk voor dat juist in geval van droogte de prijzen van rijst stijgen, hetgeen het aantrekkelijk maakt rijst te verbouwen, maar rijst vereist juist veel irrigatiewater, wat dus juist schaars is. Uiteraard is er hier ook scheve competitie tussen boven- en benedenstroomse boeren. Interessante vragen zijn hoe het huidige beheer als resultante van de interactie tussen de verschillende actoren tot stand komt en hoe dat zou kunnen verbeteren ten behoeve van een efficiënter, rechtvaardiger, duurzamer en meer zekerheid biedende vorm van waterbeheer. Pieter maakt daarbij gebruik van agent-based modelling, een techniek die bij uitstek geschikt is de interacties tussen verschillende actoren te simuleren.

## Beleidsanalyse

Waar systeemanalyse zich richt op het begrijpen van het functioneren van een systeem, richt beleidsanalyse zich op het begrijpen van de wijzen waarop bepaalde actoren het systeem bewust kunnen beïnvloeden in een door hen gewenste richting. Een systeemanalyse is een noodzakelijk onderdeel van een beleidsanalyse. Beleidsanalyse vormt samen met besluitvorming en beleidsevaluatie het gehele planningsproces [Figuur 22]. Op planning volgt uitvoering: implementatie, beheer en onderhoud en monitoring. De feitelijke ontwikkelingen kunnen aanleiding zijn daarop te reageren in een volgend stadium van de planning. Op deze manier vormen de verschillende deelprocessen van management een cyclisch geheel.



Figuur 22. Management cyclus.

Vanouds zijn veel van de beleidsanalytische theorieën en methoden ontwikkeld op basis van het idee dat het de overheid is die de doelstellingen formuleert, daarbij beleid ontwikkelt en dat beleid ook implementeert. Deze benadering is gestoeld op een hiërarchisch beeld van governance, waarin de overheid de belangrijkste sturende actor is in publieke zaken. Men is het er echter tegenwoordig over eens dat dit beeld niet met de werkelijkheid strookt. Het hele idee van een van bovenaf sturende overheid is uiteraard vooral een ideaaltypisch beeld, door sommigen geïdealiseerd, door anderen verafschuwd. In werkelijkheid zijn er tal van andere actoren die samen de governance van publieke zaken bepalen. Op het terrein van water governance zijn er de gebruikers van water (huishoudens, gemeenten, boeren en industrieën), degenen die het watersysteem beïnvloeden, mensen die de gevolgen van veranderingen in het watersysteem ondervinden, de verschillende lokale, provinciale en nationale overheidsorganen die op de één of andere manier direct of indirect bij waterbeheer betrokken zijn, de bedrijven in de uitvoering van waterbeheer of watergerelateerde voorzieningen, de kennisinstellingen, de adviesorganen, de lobbygroepen, de niet-gouvernementele organisaties, en ga zo maar door. Volgens de huidige wetenschappelijke inzichten kan je water governance dus het beste beschrijven als een netwerk van interacterende actoren met ieder hun eigen doelen die samen bepalen hoe een gemeenschap met water omgaat [14,15,81]. Volgens het Global Water Partnership is water governance de verzameling van politieke, maatschappelijke, economische en bestuurlijke systemen die aanwezig zijn om water te ontwikkelen en te managen en waterdiensten te leveren, op verschillende maatschappelijke niveaus [125]. Water governance verwijst naar het gehele

maatschappelijke systeem van bestuur, beheer en coördinatie en bevat, maar is niet beperkt tot, het smallere bestuur vanuit de overheid. Governance heeft betrekking op zowel formele als informele structuren, regels en processen. Markt en hiërarchie zijn de twee traditioneel onderkende ideaaltypen in governance, maar daarnaast zijn er andere ideaaltypen, zoals de egalitaire [150] of de zelforganiserende samenleving [109, 111] en uiteraard allerlei complexe tussenvormen. Zoals ik het interpreteer kunnen actorennetwerken verschillende vormen aannemen, waarbij meer of minder karakteristieken van hiërarchie, egalitarisme, zelforganisatie en marktwerking aanwezig zijn. De uitkomst van het governance proces hangt af van de interacties in het netwerk, en vooral van de specifieke doeleinden, hulpbronnen, informatie, relaties en macht van de actoren.

In de tijd waarin we nu leven lijken de netwerkstructuren die uiteindelijk bepalen hoe wij met water omgaan complexer dan ooit. Een deel van de complexiteit ligt in het feit dat er parallelprocessen lopen op verschillende schaalniveaus. Nieuw in de meeste delen van de wereld is samenwerking in internationale stroomgebieden, waarbij speciaal daarvoor opgerichte internationale stroomgebiedcommissies naast de al bestaande nationale overheden komen te staan. Daarnaast is er een toenemende invloed van de mondiale dimensie: internationale multinationals in de drinkwatervoorziening, internationale ngo's actief op het terrein van water, milieu en eerlijke handel, een grote variëteit aan VN-organen die zich met water bezig houden, en internationale samenwerking ten behoeve van de VN-millenniumdoelstellingen. In Nederland komt hier de Europese dimensie nog bij – in de vorm van bijvoorbeeld de nieuwe Europese Kaderrichtlijn Water. In veel landen neemt de complexiteit van de netwerkstructuren in water governance ook toe door een toenemende druk op het watersysteem door een groeiende bevolking en economie, waardoor de problemen van waterschaarste, overstromingen en watervervuiling toenemen en waardoor het aantal betrokkenen automatisch groeit. Kleinere netwerken groeien bijvoorbeeld aan elkaar doordat bovenstrooms waterbeheer niet langer losstaat van benedenstrooms waterbeheer.

Voor beleidsanalyse – het analyseren van problemen en het zoeken naar en evalueren van alternatieve oplossingen – is de verschuiving van het idee dat beleid iets is van de overheid naar het idee dat beleid tot stand komt in een interactie tussen een veelheid van actoren een belangrijke ontwikkeling. Het betekent dat de vraag niet langer is wat de overheid moet doen om de problemen op te lossen. De overheid zou dat misschien wel willen, maar heeft

daartoe te beperkte middelen. De vraag voor beleidsanalyse is dus veeleer hoe binnen een vigerende governance structuur denkbare oplossingen tot stand kunnen worden gebracht en welke actoren wat zouden moeten doen of nalaten om tot die oplossingen te komen. Of de vraag zou, op een niveau hoger, kunnen zijn hoe veranderingen in de governance structuur zelf een bijdrage aan oplossingen kunnen leveren. Het is hier steeds van belang om in de gaten te houden welk perspectief wordt genomen, want uiteraard hebben verschillende actoren heel andere belangen, probleempercepties en doeleinden en zullen ze dus ook verschillende 'oplossingen' op een andere manier waarderen.

Twee concrete implicaties voor beleidsanalyse zijn dat andere beleidsanalytische technieken en methoden ontwikkeld moeten worden en dat er nieuwe eisen worden gesteld aan de vertaling van kennis naar beleid. Op beide gebieden is de laatste jaren veel onderzoek verricht. We zien een groeiende aandacht voor een grote verscheidenheid aan methoden en technieken, zoals geïntegreerde modellen [56,63,128], meta-modellen [13], appropriate modellen [11,37,65,178], agent-based modellen [52,102], beslissingsondersteunende systemen [33,46,104,151], rapid assessment modellen [32], simulatiespellen [110,144], rollenspellen [44,72,83,115,134], scenariomethoden [160], actorenanalyse [54], nieuwe methoden voor communicatie tussen specialisten en mensen in de beleidspraktijk [159] en methoden voor stakeholder



Figuur 23. Stroomgebiedspel [bron: 83].

participatie in beleidsvorming [112]. Er is een bijzonder grote variëteit in de verschillende typen modellen, spellen en communicatietechnieken [Figuur 23]. Er is voorgesteld al die theorieën en methoden die betrekking hebben op de vertaling van kennis naar beleid te vangen onder de noemer integrated assessment [53,126,127,136,157].

Door de snelheid waarmee nog steeds nieuwe benaderingen en hybride vormen voor analyse en communicatie worden ontwikkeld is het zinloos nu

met een classificatie te komen en aan te geven waar ik me zelf op wil richten en waar niet. Ook ik zal zoeken naar verfijningen en vruchtbare combinaties van bestaande methoden en wellicht ook komen op nieuwe methodes. Eén belangrijk onderscheid ten aanzien van de verschillende computer-modelbenaderingen wil ik hier wel maken, en dat is het onderscheid tussen simulatie- en optimalisatiemodellen. In de probleemcontext waarin ik werk geloof ik sterk in het nut van de eerste categorie en weinig in de meerwaarde van de tweede categorie. Ik heb daar drie redenen voor. Ten eerste, onzekerheden spelen een cruciale rol, waardoor de vraag rijst onder welke condities moet worden geoptimaliseerd. Ten tweede, de beschouwde systemen zijn te complex, met niet-lineaire processen en grote natuurlijke variabiliteit, waardoor optimalisatie vooral een wiskundige en technische uitdaging wordt, waarbij het resulterende model zo weinig transparant wordt dat niemand de uitkomsten meer snapt. Ten derde vereist optimalisatie het gebruik van een goed gedefinieerde nutsfunctie, terwijl een deel van het probleem juist is dat er zoveel verschillende betrokkenen zijn, met ieder zijn eigen preferenties. Kortom, de vraag is: wat moet er eigenlijk worden geoptimaliseerd? Ik zie daarom veel meer in simulatiemodellen, waarmee men aannames en onzekere parameterwaarden eenvoudig kan variëren en op die manier verschillende toekomstscenario's schetsen. Bovendien is het relatief eenvoudig om de effectiviteit van alternatieve beleidsmaatregelen onder alternatieve aannames te schatten. Dit is dan ook de richting die ik reeds in het verleden heb gekozen om verder op door te gaan. Een wetenschappelijke uitdaging hierbij is om methoden te ontwikkelen die voorkomen dat de keuze van het type en de vorm van het model teveel op ad-hoc basis gebeurt. Een zelfde soort uitdaging ligt er om technieken te ontwikkelen waarmee op een wetenschappelijk onderbouwde wijze uit een oneindig aantal mogelijke scenario's een beperkte set kan worden samengesteld.

In beleidsanalytische processen is er altijd een spanning tussen wetenschappelijke precisie en validiteit en de praktische behoefte om tot oplossingen te komen. Modellen die voor wetenschappelijke doeleinden zijn ontwikkeld hebben doorgaans een te grote gegevensbehoefte, vereisen teveel rekentijd om even snel de effecten van enkele verschillende beleidsmaatregelen door te rekenen en zijn meestal gericht op het modelleren van de processen die we goed kunnen kwantificeren en al redelijk goed begrijpen. Wat meestal niet wordt gemodelleerd zijn de zaken die moeilijk kwantificeerbaar zijn of die we niet goed begrijpen. Dat is wel begrijpelijk, maar beleid kan je moeilijk alleen baseren op inzichten vanuit de domeinen waar kwantitatieve en



sterke kennis voorhanden is, want de domeinen waar kennis kwalitatief en zwak is kunnen zeker zo relevant of misschien wel relevanter zijn voor de te nemen beslissing. Een voorbeeld: men wil in Nederland volgens het nieuwe beleid veiligheid combineren met ruimtelijke kwaliteit. Men heeft echter meer ervaring in het kwantificeren van veiligheid dan in het kwantificeren van ruimtelijke kwaliteit. In de voorbereiding van de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier [100], een gezamenlijke onderneming van de Ministeries V&W, LNV en VROM, heeft dit er toe geleid dat de rekenaars het winnen in het proces van beleidsvorming. Het voorgestelde basispakket van maatregelen voldoet in eerste instantie vooral aan de veiligheidseisen, maar van coherente ruimtelijke visie is weinig sprake. Eén van de promovendi in mijn groep, Judith Janssen, gaat nu een rapid assessment model ontwikkelen, in samenwerking met onder andere RIZA, met als doel tegevoet te komen aan de behoefte aan simpele en snelle modellen die zich niet beperken tot alleen de makkelijk kwantificeerbare variabelen. Ze gaat daarvoor fuzzy logic gebruiken om de meer kwalitatieve en zwakkere kennis te kunnen vangen.

## Onzekerheidsanalyse

Een fundamenteel probleem in systeemanalyse, beleidsanalyse en modellering is hoe om te gaan met onzekerheden in kennis. Het gaat om vragen als: wat zijn de verschillende bronnen van onzekerheid, wat voor typen onzekerheden kunnen we onderscheiden, wanneer kunnen we onzekerheden eenvoudig reduceren door extra meting of onderzoek en wanneer zullen we ze in ieder geval voorlopig moeten accepteren, welke onzekerheden zijn überhaupt kenbaar en welke niet, welke onzekerheden zijn kwantificeerbaar en welke niet, hoe werken verschillende vormen van onzekerheid door in de resultaten van onderzoek, en hoe kunnen de onzekere resultaten zo worden gepresenteerd aan beleidsmakers dat ze nog zinvolle informatie verschaffen? Aangezien het omgaan met onzekerheden in zowel wetenschappelijke analyse als de analyse van beleid vaak nog een relatief zwak punt is, zal ik hier in mijn onderzoek de komende jaren speciale aandacht aan geven en er ook nu kort op ingaan.

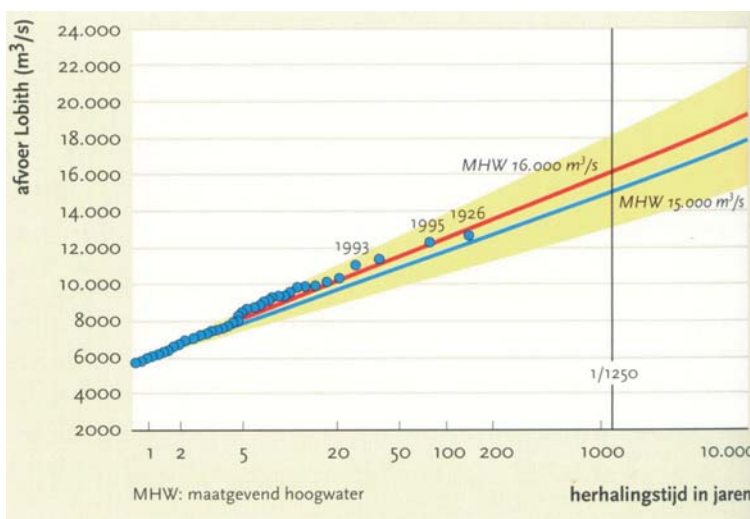
Er bestaat geen eenduidige, breed gedragen classificatie van onzekerheden. In plaats daarvan presenteren verschillende auteurs hun eigen terminologie, definities en classificatie [101,173]. Voor het moment volsta ik hier met het

benoemen van grofweg twee categorieën van onzekerheden die een rol spelen in systeem- en beleidsanalyse: onzekerheden in gegevens en onzekerheden in systeembegrip. Eén vraag in onzekerheidsanalyse is: hoe beïnvloeden onzekerheden in gegevens (invoervariabelen, parameters) de uitkomst van de analyse? In modeltermen luidt deze vraag: hoe planten onzekerheidsbandjes rondom invoergegevens door in het analytische model en resulteren in onzekerheidsbandjes bij de uitvoervariabelen? Bij onzekerheden over gegevens kunnen we denken aan onzekerheden in invoervariabelen gerelateerd aan de natuurlijke variabiliteit in tijd en ruimte, maar ook aan de onzekerheid over de precieze waarde van parameters. De tweede vraag in onzekerheidsanalyse, die over het algemeen over het hoofd wordt gezien, is: hoe beïnvloeden onzekerheden in het begrip van het systeem het type analyse dat wordt uitgevoerd en daarmee de uitkomst van de analyse? In modeltermen komt deze vraag neer op: hoe beïnvloedt de modelkeuze de uitkomst van het model? De modelkeuze heeft daarbij betrekking op het type model – bijvoorbeeld dynamische simulatie, stochastische modellering, optimalisatie, agent-based modelling, of modellering met fuzzy sets – en ook op de structuur van het model – zoals de keuze van variabelen, de systeemgrenzen, de ruimtelijke en temporele resoluties, en de relaties tussen de variabelen. Onzekerheden in systeembegrip hebben betrekking op vragen over welke variabelen relevant zijn, welke interacties relevant zijn, wat de gepaste temporele en ruimtelijke schaal van analyse is en welke systeemgrenzen zouden moeten worden toegepast zonder belangrijke processen buiten de analyse te sluiten. Onzekerheden in systeembegrip zijn in het algemeen moeilijker te kwantificeren dan onzekerheden in gegevens, maar beïnvloeden naar mijn ervaring de resultaten het sterkst. We kunnen het beste grip krijgen op de onzekerheden in systeembegrip als we alternatieve ‘modellen’ toepassen (mogelijk maar niet noodzakelijkerwijs computermodellen). Vraag twee onafhankelijke adviesbureaus plannen te ontwikkelen voor het gebied rondom de grote Nederlandse rivieren met het oog op zowel veiligheid als ruimtelijke kwaliteit en ze zullen gegarandeerd met verschillende alternatieven komen en deze, belangrijker nog, verschillend evalueren. Vergelijk bijvoorbeeld het plan zoals dat nu voorligt in de Ontwerp Planologische Kernbeslissing ‘Ruimte voor de Rivier’ van de regering [100] met het plan ‘Lonkend Rivierenland’ van Staatsbosbeheer [147] of de NCR-studie ‘Living with Floods’ [165]. Hoewel alledrie de studies gaan over de inrichting van het rivierenlandschap met het oog op veiligheid en goed ruimtegebruik komen deze studies door hun verschil in precieze doelstelling en opzet tot heel andere voorstellen.

Een ander aandachtspunt in de analyse van onzekerheden is hoe men er in de praktijk van de beleidsvorming mee omgaat. De gebruikelijke wijze is dat onzekerheidsanalyse aan het einde van een studie wordt uitgevoerd en dat de resultaten van de analyse worden toegevoegd als een aanhangsel bij het eindproduct. Dit is het moment waarop de befaamde onzekerheidsbandjes worden toegevoegd. Een probleem is dat deze toevoeging het gepresenteerde beeld vaak behoorlijk onderuit haalt omdat opeens blijkt dat de verschillen tussen alternatieve beleidskeuzes, die best duidelijk waren zonder onzekerheidsbandjes, opeens wegvallen in de ruis van de onzekerheid. Op zo'n moment hoor je beleidsmakers al snel verzuchten dat ze liever de centrale schatting, ten onrechte vaak gezien als de meest waarschijnlijke schatting, gebruiken dan dat ze rekening moeten houden met alle onzekerheden. Onzekerheden bemoeilijken in feite een eenduidige argumentatie voor een zekere politieke keuze. Dit leidt tot de frustratie bij wetenschappers en analisten dat een nauwgezette en zeer uitvoerige vertaling van alle brononzekerheden naar onzekerheidsinformatie voor beleidsmakers de besluitvorming niet echt lijken te beïnvloeden. In de populaire versie van de beleidsstudies zijn de onzekerheidsbandjes vaak al weer verdwenen en al helemaal de ellenlange paragrafen over de moeilijker te kwantificeren maar niet minder relevante onzekerheden. Ik pleit ervoor om in complexe beleidsstudies onzekerheden vanaf het begin centraal te stellen en om de onzekerheden zelfs de richting van de studie te laten bepalen. De analyse zou zich dan veel meer richten op het vinden van 'robuuste' en 'flexibele' strategieën die tot goed resultaat leiden onder verschillende sets van aannamen en aanpassingen in de tijd toestaan dan op het vinden van de 'beste' strategie onder een vaste set van basisaannamen. De traditionele manier – achteraf een onzekerheidsanalyse uitvoeren – is gestoeld op het idee dat de onzekerheden klein zijn in verhouding tot de verschillen tussen beleidsalternatieven, waardoor het alternatief dat als beste uit de bus komt onder de centrale schattingen nog steeds het beste is onder andere aannamen. Daarmee wordt ten onrechte een illusie van zekerheid en goed beleid gecreëerd.

Ik kom hier terug op het begrip risico, omdat dit extra gewicht krijgt in de context van onzekerheden. De maatschappelijke benadering van risico's is tot dusver geweest dat ze 'kenbaar' en zelfs kwantificeerbaar zouden zijn. Daarmee maak je risico's grijpbaar en controleerbaar, bijvoorbeeld door dijken sterk genoeg te maken om een waterstand die niet vaker dan eens in de tienduizend jaar voorkomt te weerstaan. De maatschappelijke ontwikkelingen gedurende de afgelopen paar decennia hebben ons echter steeds meer

tot het inzicht gedreven dat de maatschappij niet zo maakbaar is als we eerder dachten en daarmee risico's ook niet zo beheersbaar als we dachten. Dat vergt dus een risicobenadering waarin onzekerheden een belangrijker plaats innemen dan tot dusver. Ik noem bijvoorbeeld de onzekerheden met betrekking tot de inschatting van maatgevende hoogwaterafvoeren – het is immers onmogelijk om de beschikbare gegevens over klimaat en waterafvoeren te extrapoleren naar gegevens over wat we eens in de zoveel duizend jaar kunnen verwachten zonder een grote foutenmarge te introduceren, deels vanwege het feit dat de periode waarover we gegevens hebben daarvoor te kort is maar ook doordat het klimaat verandert [Figuur 24]. Een hoge afvoer in de Rijn behorend bij een overschrijdingskans van eens in de 1250 jaar heeft zich nooit voorgedaan, waardoor we het riviergedrag bij een dergelijke afvoer niet kennen. Het is bijvoorbeeld maar de vraag of het water zich bij de splitsingspunten van de Rijntakken netjes zal verdelen volgens de verdeling van 2/3-2/9-1/9 over de Waal-Nederrijn-IJssel [163]. Voor beleid



Figuur 24. Extrapolatie van de gemeten hoogwaterafvoeren in de Rijn bij Lobith voor de vaststelling van de maatgevende hoogwaterafvoer behorende bij een overschrijdingskans van 1x in de 1250 jaar. De blauwe lijn is op basis van de afvoeren in de periode 1900-1991; de rode lijn is het resultaat als ook de recentere extreme afvoeren van 1993 en 1995 worden toegevoegd [bron: 158].

betekent dit dat men er simpelweg niet is met een wettelijke vaststelling van maximale overschrijdingskansen. De bescherming van het land is daarmee gebouwd op een drijfzand van extrapolaties en aannamen. In dit verband zou ik dan ook expliciet een onderscheid willen maken tussen beleidsmatige veiligheid, bij wet geregeld, en werkelijke veiligheid.

Het risico dat werkelijke veiligheid afwijkt van beleidsmatige veiligheid heeft twee componenten. Ten eerste zijn er de zogenaamde zwakke schakels die nog op de lijst staan om in de toekomst versterkt te worden om het niveau van beleidsmatige veiligheid te bereiken. Slechts de helft van de primaire waterkeringen in Nederland voldoet met zekerheid aan de norm, vijftien procent voldoet niet en van 35% ontbreekt de informatie die voor toetsing nodig is [99,121]. Centraal Holland heeft een wettelijke norm van overstroming van eens in de 10 duizend jaar, maar door naar de zwakke schakels te kijken schat de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) de werkelijke overstromingskans op eens in de 2 duizend jaar en WL | Delft Hydraulics op eens in de 3 duizend jaar [8,78,149]. Ten tweede, zelfs al zouden alle ondergedimensioneerde schakels weggewerkt zijn, dan blijft er het feit dat dijken worden ontworpen op basis van de beleidsmatige veiligheidseisen en daaraan gekoppelde beleidsmatig vastgestelde rekenregels of ontwerpregels. Die regels zijn uiteraard opgesteld op basis van de meest recente inzichten en worden dan ook regelmatig bijgesteld. Men gaat er echter stilzwijgend van uit dat daarmee de kous af is, maar feit blijft dat er een lange keten van onzekerheden ligt achter de berekeningen van de maatgevende afvoer, de maatgevende hoogwaterstand, en ten slotte de benodigde dimensies van de waterkeringen. Ik heb nog nooit een analyse gezien waarin alle onzekerheden achter elkaar gezet zijn. De werkelijke overstromingskans voor een dijkkring, zelfs na het versterken van de delen van de rivierdijken die nog niet aan de beleidsnorm van eens in de 1250 jaar voldoen, zal volgens het gehanteerde rekenschema dan wel eens in de 1250 jaar zijn, maar de werkelijke overstromingskans zal ergens tussen hele brede marges liggen, bijvoorbeeld tussen eens in de 100 jaar en eens in de 10,000 jaar. Niet dat ik dat heb berekend, dat zou een interessante exercitie zijn, maar gewoon vanwege de ervaring dat als onzekerheden in analyses van complexe systemen echt serieus worden genomen marges van een factor tien of meer heel gewoon zijn. Op basis van recente studies van de TAW, WL en HKV Lijn in Water lijkt het er op dat ik met mijn schatting geen vreemde slag sla [78,149]. Als de onzekerheden in de werkelijke overstromingskansen zo groot zijn, dan zet zoiets wel vragen bij een beleidsdiscussie over aanpassing of

verdere diversificatie van de normen. De crux van werkelijke veiligheid zit hem niet in de gekozen beleidsmatige overschrijdingsnorm, maar eerder in de robuustheid of veerkracht van het systeem, dat wil zeggen in hoe het systeem reageert op onverwachte extreme gebeurtenissen. In haar proefschrift dat ze een maand geleden aan de TU Delft heeft verdedigd, laat Karin de Bruijn bijvoorbeeld zien dat strategieën gericht op het inbouwen van veerkracht in het systeem de gevoeligheden van het systeem voor onzekerheden vermindert [29].

Risico's zouden er ook zijn zonder onzekerheden, simpelweg doordat natuurlijke dynamiek zo nu en dan extreme situaties kent die tot schade leiden. Verondersteld dat we de natuurlijke dynamiek zouden kennen, is er dus een categorie voorspelbare risico's. De meeste risico's dragen echter ook grote onzekerheden in zich, zodat we in de praktijk vooral van doen hebben met *onzekere, onvoorspelbare risico's*. Veiligheidsbeleid gaat er nog teveel van uit dat risico's kenbaar en dus beheersbaar zijn. Samenlevingen zijn echter niet altijd gebaat bij een steeds preciezere kwantificering en daarop gebaseerde maatregelen ter minimalisering van de kansen op een ramp. Er moet meer aandacht komen voor de kwetsbaarheid en vitaliteit van de samenleving. Dat wil zeggen dat we rekening moeten houden met grote rampen *ongeacht de kans van voorkomen*, daarop voorbereid moeten zijn door de maatschappij zo in te richten dat schade beperkt blijft en met realistische plannen voor herstel. In geval van het risico van overstroming in Nederland zou dat bijvoorbeeld kunnen betekenen: het vergroten van de ruimte voor water, het bevorderen van maatregelen die bovenstrooms het water vasthouden, het compartimenteren van het land in kleinere dijkkringgebieden, het afzonderlijk extra beveiligen van locaties waar veel mensen, waardevolle economische activiteiten of milieugevaarlijke stoffen zijn, het aanwijzen van noodoverloopgebieden, het rekening houden in de ruimtelijke planning met het mogelijke effect van vloedgolven, het toepassen van overstromingsresistente bouwwijzen, en het verplichten van mensen die in overstromingsgevoelige gebieden willen wonen zich te verzekeren tegen overstroming (waardoor ze tot een gezonde afweging worden gedwongen wel of niet daar te gaan wonen en eventueel beschermende maatregelen nemen zodat de verzekeringspremie lager wordt).

De aanwezigheid van grote onzekerheden betekent dat het vaak moeilijk is aan te geven of de ene beleidsstrategie nu zo veel beter werkt dan de andere. Dat geldt niet alleen in het overstromingsrisicobeleid, maar ook in water-

kwaliteit- of droogtebeleid. De effectiviteit van beleid hangt nu eenmaal sterk af van de aannamen die moeten worden gemaakt in de onderliggende analyse. Onzekerheden vertalen zich op die manier in wat ik 'beleidsrisico's' noem. Een beleidsrisico is de kans dat het beleid niet zo effectief is als waar men op rekt doordat de aannamen die waren genomen niet bleken te kloppen. Hoe groter de onzekerheden in de kennis van het systeem, hoe belangrijker het wordt de risico's van voorgenomen beleid te analyseren en de uiteindelijke beleidskeuze mede of zelfs vooral te bepalen op basis van de grootte van het risico van de beleidskeuze. In het overstromingsrisicobeheer zien we dat men om deze reden steeds meer aarzelt over het steeds verder ophogen van de dijken als strategische beleidskeuze en op zoek is naar strategieën die minder risico's in zich dragen. Wat mij betreft zou er een fundamentele verschuiving moeten optreden in complexe beleidsanalyse, van een analyse gericht op het vinden van de beste beleidsoplossing onder een set van centrale aannamen naar een analyse gericht op het vinden van beleidsoplossingen die werken onder de brede range van mogelijke aannamen. Het gaat dan dus vooral om het minimaliseren van de risico's van beleid. Het is natuurlijk interessant om te zien of je met deze nieuwe benadering ook tot andere strategieën zou komen in waterschaarstebeleid of waterkwaliteitsbeleid. Om dit te bekijken is drie maanden geleden een nieuwe promovenda, Rianne Bijlsma, begonnen met een onderzoek dat onzekerheden en risico's centraal stelt in de problematiek van watertekorten en watervervuiling. We doen dit onderzoek samen met RIZA in het kader van twee EU programma's.

## Tot slot

In hoeverre wijkt de onderzoeksagenda die ik nastreef af van onderzoek op het gebied van waterbeheer elders? Ik denk dat als het gaat om de 'grote vraagstukken' die ik in het eerste deel van mijn betoog heb geformuleerd de meeste onderzoekers de belangrijkste zaken daar wel in zullen herkennen. In zoverre beweer ik geen dingen tegen de hoofdstroom in. Wel is het zo dat ik een van de eerste ben die het onderwerp 'globalisering van water' op de agenda heeft gezet en ik ben blij met de erkenning die ik daarvoor krijg. Hoewel de vraagstukken dus gemeengoed zijn, wijkt mijn onderzoeks-perspectief wel in belangrijke mate af van de gangbare praktijk. Ik bestudeer watersystemen en watergerelateerde problemen niet vanuit het nauwe perspectief van de waterbeheerder, die slechts heel beperkte middelen heeft. Ik neem liever een breder perspectief, één waarin mensen in de watersector zich misschien niet zo zullen herkennen, maar dat aan de andere kant herkend zal worden door bijvoorbeeld milieukundigen, systeemecologen en macro-economen. Ik bestudeer waterproblemen vooral in hun brede ecologische, economische en maatschappelijke context.

Kennis van waterbeheer is inherent multidisciplinair. Er bestaat geen specifieke 'watertheorie' of 'theorie van het waterbeheer' en die zal er ook nooit komen. Een goed begrip van watersystemen en de manieren waarop mensen omgaan met water kan alleen ontstaan door een synthese van natuurwetenschappelijke, technische, sociaalwetenschappelijke, en bestuurswetenschappelijke kennis. Ik zal daarom gebruik maken van de beschikbare theorieën en empirische kennis binnen verschillende disciplines, en zoeken naar de meerwaarde van het bijeenbrengen van verschillende kennisvelden ten behoeve van een beter begrip van waterbeheer.

De wetenschappelijke wereld heeft moeite de traditionele muren tussen de ingenieurs, fysici, ecologen, economen en bestuurskundigen te slechten. Ik ben blij dat de Universiteit Twente met de instelling van mijn leerstoel multidisciplinair wateronderzoek een expliciete plaats geeft. Ik ben ook blij dat de Universiteit Twente zich in haar onderwijs op het gebied van de Civiele Techniek onderscheid met een breed profiel en lever daar dan ook met veel plezier mijn bijdrage aan.

De bagage die ik meebreng heb ik te danken aan mijn vorige werkkringen. Ik draag dierbare herinneringen aan de stimulerende teams waarin ik gewerkt



heb bij WL | Delft Hydraulics, de TU Delft, het RIVM, het Instituut voor Milieuvraagstukken aan de VU in Amsterdam en het UNESCO-IHE. Ik heb ook bijzonder veel geleerd van de projecten die ik in het buitenland heb gedaan, vooral die in Indonesië, de Mekong regio en Zuidelijk Afrika. Ik zou graag de vele collega's met wie ik prettig heb samengewerkt en van wie ik zoveel geleerd heb hier met naam noemen, maar dat zijn er teveel. Toch wil ik enkele personen hier speciaal bedanken, en wel mijn belangrijkste leermeesters. Ik was in 1992 de eerste afstudeerder op het gebied Integraal Waterbeheer aan de Faculteit der Civiele Techniek in Delft. Dat was te danken aan professor Kop en wijlen professor Van Dam die mij stimuleerden deze richting op te gaan. Ik dank mijn promotoren Wil Thissen en Jan Rotmans die mij een perfecte omgeving hebben geboden voor mijn promotiewerk. Tot slot wil ik Huub Savenije bedanken voor de enthousiasmerende rol die hij heeft gespeeld gedurende mijn tijd bij het UNESCO-IHE en de toenmalige rector Wim van Vierssen voor de kansen die hij mij geboden heeft.

Ik ben erg blij met de omgeving waar ik hier in Twente ben terechtgekomen. De watergroep hier onder leiding van Suzanne Hulscher is buitengewoon jong, enthousiast en, getuige de recente onderzoeksvisitatie, van excellent niveau. Ik voel me vereerd in deze groep te mogen werken.

Ik weet zeker dat we grote meerwaarde kunnen creëren in het onderzoek op het gebied van water hier in Twente door samenwerking met de andere groepen die actief zijn in het wateronderzoek, zowel met de groepen binnen de andere faculteiten als ook met het ITC. Het is een positief teken dat zowel het Institute for Governance Studies als het speerpuntinstituut IMPACT een deel van hun onderzoek op water richten. De inbedding van mijn eigen onderzoek in het IGS biedt vooral goede mogelijkheden voor samenwerking met het Centrum voor Schone Technologie en Milieubeleid van Hans Bressers en de watergroep van Bob Su bij het ITC.

De laatste woorden wil ik aan mijn familie richten. Om te beginnen, pappa en mamma bedankt voor de manier waarop jullie mij hebben geleerd in het leven te staan. Ik weet dat jullie best trots zijn dat ik hier nu sta, maar ik weet ook dat jullie het belangrijker vinden wie je bent dan wat je bent. Ik wil jullie ook bedanken voor de warme belangstelling die jullie altijd hebben voor alles wat Daniëlle, mijzelf en de kinderen bezighoudt.

Tot slot, Daniëlle, wij hebben een mooi leven samen en ik dank jou daarvoor. Ik zie wel wat in de Griekse idee van de twee wederhelften. In de Ideeën-wereld zijn ooit alle zielen in tweeën gedeeld en sindsdien is iedere helft op zoek naar de andere. Volgens het verhaal doet de hereniging van twee wederhelften de liefde in intensiteit toenemen. Ik heb daarom echt mazzel gehad dat ik mijn wederhelft gevonden heb.

Joppe, Lieke en Mette, van alle kinderen van de hele wereld zijn jullie de liefste en de leukste en ook daar mazzel ik mee.

Ik heb gezegd.



## Referenties

- [1] Allan, J.A. (1998) Virtual water: A strategic resource, global solutions to regional deficits, *Groundwater* 36(4), 545-546.
- [2] Allan, J.A. (2001) The Middle East water question: Hydropolitics and the global economy, I.B. Tauris, London.
- [3] Anderson, T.L. (1995) Water options for the blue planet, In: Bailey, R. (ed.) The true state of the planet, The Free Press, New York, pp. 267-294.
- [4] Arnell, N.W. (1999) Climate change and global water resources, *Global Environmental Change*, 9: S31-S41.
- [5] Asselman, N., Baan, P. & Te Linde, A. (2004) Gevolgen van overstroming in de Zuidplaspolder: Risicofactoren voor nieuwe woningbouwprojecten, Rapport Q3640, WL | Delft Hydraulics, Delft.
- [6] Aven, T. (2003) Foundations of risk analysis: A knowledge and decision-oriented perspective, Wiley, New York.
- [7] Aven, T. & Kristensen, V. (2005) Perspectives on risk: review and discussion of the basis for establishing a unified and holistic approach, *Reliability Engineering and Systems Safety* 90:1-14.
- [8] Baan, P. & Asselman, N. (2005) Hoe groot is het risico van overstromen? *H<sub>2</sub>O* 12: 25-28.
- [9] Barlow, M. en Clarke, T. (2002) Blue gold: The battle against corporate theft of the world's water, The New Press, New York.
- [10] Beck, U. (1992) Risk society: Towards a new modernity, Sage Publications, London.
- [11] Booij, M.J. (2002) Appropriate modeling of climate change impacts on river flooding, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [12] Bouma, J.J., Francois, D. & Troch, P. (2005) Risk assessment and water management, *Environmental Modelling and Software* 20:141-151.
- [13] Boumans, R., Costanza, R., Farley, J., Wilson, M.A., Portela, R., Rotmans, J., Villa, F. & Grasso, M. (2002) Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model, *Ecological Economics* 41(3): 529-560.
- [14] Bressers, H., O'Toole, L.J. & Richardson, J. (eds.) (1995) Networks for water policy: A comparative perspective, Frank Cass, London.
- [15] Bressers, H. & Kuks, S. (eds.) (2004), Integrated governance and water basin management: Conditions for regime change and sustainability, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [16] Brouwer, R. & Kind, J.M. (2005) Cost-benefit analysis and flood control policy in The Netherlands, In: Brouwer, R. & Pearce, D. (eds.) Cost-benefit analysis and water resources management, Edwar Elgar, Cheltenham, UK, pp. 93-123.
- [17] Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. (2004) Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No.16, UNESCO-IHE, Delft.
- [18] Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., & Savenije, H.H.G. (2005) Water saving through international trade of agricultural products, *Hydrol. Earth Sys. Sci. Discuss.* 2: 1-29.
- [19] Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. & Gautam, R. (2005) The water footprint of cotton consumption, Value of Water Research Report Series No.18, UNESCO-IHE, Delft.
- [20] Christmas, J. & De Rooy, C. (1991) The decade and beyond: At a glance, *Water International* 16(3): 127-134.
- [21] Clarke, R. & King, J. (2004) The water atlas, The New Press, New York.
- [22] Clarke, T. (2003) Delta blues, *Nature* 422: 254-256.

- [23] COMEST (2005) The precautionary principle, World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology, UNESCO, Paris.
- [24] Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw (2000) Waterbeleid voor de 21<sup>e</sup> eeuw: Geef water de ruimte en de aandacht die het verdient.]
- [25] Cosgrove, W. (2003) Water Forum - Fulfilling the World Water Vision – Hydrosolidarity, *Water International*, 28 (4): 527-531.
- [26] Costanza, R. & Daly, H.E. (1992) Natural capital and sustainable development, *Conservation Biology* 6(1): 37-46.
- [27] Crutzen, P., Komen, G., Verbeek, K., Van Dorland, R. & Van Ulden, A. (2005) Veranderingen in het klimaat, KNMI, De Bilt.
- [28] Daly, H. E. (1996) Beyond growth: The economics of sustainable development, Beacon Press, Boston.
- [29] De Bruijn, K.M. (2005) Resilience and flood risk management: A systems approach applied to lowland rivers, Delft University Press, Delft.
- [30] De Châtel, F. (2005) Het water van de profeten: Water in de geschiedenis van het Midden-Oosten, Uitgeverij Contact, Amsterdam.
- [31] De Jong, M. & Berends, H. (2004) Lonkend rivierenland: Methodiek voor een verbrede kijk op het nieuwe water, Rapport 0704101, Regenboog Advies, Wageningen.
- [32] De Kok, J.L. & Wind, H.G. (2002) Rapid assessment of water systems based on internal consistency, *Journal of Water Resources Planning and Management*, July/Aug: 240-247.
- [33] De Kok, J.L. & Wind, H.G. (2003) Design and application of decision-support systems for integrated water management: Lessons to be learnt, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 571-578.
- [34] De Soto H. (2000) The mystery of capital: Why capitalism triumphs in the West and fails everywhere else, Basic Books, New York.
- [35] Diamond, J. (1997) Guns, germs and steel: The fates of human societies, W.W. Norton, New York.
- [36] Diamond, J. (2005) Collapse: How societies choose to fail or succeed, Viking, New York.
- [37] Dong, X. (2005) Appropriate flow forecasting for reservoir operation, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [38] Donkers, H. (1994) De witte olie: Water, vrede en duurzame ontwikkeling in het Midden-Oosten, Uitgeverij Jan van Arkel, Utrecht.
- [39] Douglas, M. & Wildavsky, A. (1982) Risk and culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers, University of California Press, Berkeley.
- [40] DWV (2001) Standaardmethode schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen, Rapport W-DWV-2001-028, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft.
- [41] DWV (2003) Schade na een grootschalige overstroming, Rapport DWV-2003-056, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft.
- [42] Falkenmark, M. en Rockstrom, J. (2004) Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology, Earthscan, London.
- [43] FAO (2005) FAOSTAT online database, Food and Agriculture Organization, Rome, <http://faostat.fao.org>.
- [44] Farzadi, L., De Groen, M.M. & Heun, J.C. (1999) Ravilla 2: Water resources management roleplay, UNESCO-IHE, Delft.
- [45] Fischer, G., Van Velthuisen, H., Shah, M. & Nachtergaele, F. (2002) Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century: Methodology and results, Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Oostenrijk.
- [46] Gijssbers, P.J.A. (2000) Decision support for the management of shared water resources, PhD thesis, Delft University Press, Delft.
- [47] Gleick, P.H. (ed.) (1993) Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources, Oxford University Press, New York .

- [48] Gleick, P.H. (1996) Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs, *Water International*, 21: 83-92.
- [49] Gornitz, V., Rosenzweig, C. & Hillel, D. (1997) Effects of anthropogenic intervention in the land hydrologic cycle on global sea level rise, *Global and Planetary Change* 14:147-161.
- [50] Grote, U., Craswell, E., and Vlek, P. (2005) Nutrient flows in international trade: Ecology and policy issues, *Environmental Science & Policy* 8: 439-451.
- [51] Hardin, G. (1968) The tragedy of the commons, *Science* 162: 1243-1248.
- [52] Hare, M. & Deadman, P. (2004) Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management, *Mathematics and Computers in Simulation* 64:25-40.
- [53] Harremoës, P. & Turner, R.K. (2001) Methods for integrated assessment, *Regional Environmental Change* 2:57-65.
- [54] Hermans, L. (2005) Actor analysis for water resources management: Putting the promise into practice, Eburon, Delft.
- [55] Hertz, N. (2001) The silent takeover: Global capitalism and the death of democracy, HarperCollins, New York.
- [56] Hoekstra, A.Y. (1998) Perspectives on water: An integrated model-based exploration of the future, International Books, Utrecht.
- [57] Hoekstra, A.Y. (ed.) (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No.12, UNESCO-IHE, Delft.
- [58] Hoekstra, A.Y. (2005) Sustainable development: Lecture notes, UNESCO-IHE, Delft.
- [59] Hoekstra, A.Y. & Hung, P.Q. (2002) Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, Value of Water Research Report Series No.11, UNESCO-IHE, Delft.
- [60] Hoekstra, A.Y. & Hung, P.Q. (2005) Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade, *Global Environmental Change* 15(1): 45-56.
- [61] Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. & Chapagain, A.K. (2001) An integrated approach towards assessing the value of water: A case study on the Zambezi basin, *Integrated Assessment* 2(4):199-208.
- [62] Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. & Chapagain, A.K. (2003) The value of rainfall: upscaling economic benefits to the catchment scale, In: Proceedings SIWI Seminar 'Towards catchment hydrosolidarity in a world of uncertainties, Stockholm, August 16, 2003', Report 18, Stockholm International Water Institute, Stockholm, pp. 63-68.
- [63] Hordijk, L. (1991) An integrated assessment model for acidification in Europe, PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- [64] Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C.A. (eds.) (2001) Climate change 2001: The scientific basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- [65] Huang, Y. (2005) Appropriate modeling for integrated flood risk management, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [66] Huetting, R. & Reijnders, L. (1998) Sustainability is an objective concept, *Ecological Economics* 27:139-147.
- [67] Huisman, P. (2004) Water in the Netherlands: managing checks and balances, Netherlands Hydrological Society, Utrecht.
- [68] ICBR (2002) Atlas 2001: Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreme hoogwater van de Rijn, Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn.
- [69] ICWE (1992) The Dublin statement on water and sustainable development, International Conference on Water and the Environment, Dublin.
- [70] IPCC (2001) Climate Change 2001: Synthesis report, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

- [71] Jasanoff, S. (1998) The political science of risk perception, *Reliability Engineering and Systems Safety* 59: 91-99.
- [72] Jaspers, F. (2002) Roleplay international rivers: Shared vision and strategy development, UNESCO-IHE, Delft.
- [73] Jewitt, G. (2002) Can integrated water resources management sustain the provision of ecosystem goods and services? *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 887-895.
- [74] Jonkman, S.N., Van Gelder, P.H.A.J.M. & Vrijling, J.K. (2003) An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage, *Journal of Hazardous Materials* A99:1-30.
- [75] Kasrils R. (2003) Forward to Johannesburg and hydro-solidarity, *Water science and technology* 47(6): 77-82.
- [76] Klein, N. (2000) No Logo: Taking aim at the brand bullies, Picador, New York.
- [77] Klijn, F., Dijkman, J. & Silva, W. (2001) Ruimte maken voor de Rijn: Samenvatting van wat het onderzoek heeft opgeleverd, WL | Delft Hydraulics / Rijkswaterstaat.
- [78] Klijn, F., Van der Klis, H., Stijnen, J., De Bruijn, K. & Kok, M. (2004) Overstromingsrisico dijkringen in Nederland: Betooglijn en deskundigenoordeel, Rapport Q3503.10, WL | Delft Hydraulics, Delft / HKV Lijn in Water, Lelystad.
- [79] Knoppers, R. & Van Hulst, W. (1995) De keerzijde van de dam, Uitgeverij Jan van Arkel, Utrecht.
- [80] Krol, M.S., Jaeger, A. & Bronstert, A. (2003) Integrated modeling of climate change impacts in Northeastern Brazil, In: Gaiser, T., Krol, M.S., Frischkorn, H. & De Araújo J. (eds.) Global change and regional impacts: Water availability and vulnerability of ecosystems and society in the semiarid Northeast of Brazil, Springer, Berlin, pp. 43-56.
- [81] Kuks, S.M.M. (2004) Water governance and institutional change, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [82] Kwadijk, J. & Rotmans, J. (1995) The impact of climate change on the River Rhine: A scenario study, *Climatic Change* 30(4): 397-426.
- [83] Lankford, B. (ed.) (2004) The river basin game manual: A water dialogue tool, Overseas Development Group, University of East Anglia, Norwich, UK / Sokoine University of Agriculture, Morogoro, Tanzania / International Water Management Institute, Africa Regional Office, Pretoria, South Africa.
- [84] Loh, J. & Wackernagel, M. (eds.) (2004) Living planet report 2004, WWF, Gland, Switzerland.
- [85] Lorenz, C.M. (1999) Indicators for sustainable river management, PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- [86] Lundqvist, J. (1999) Towards Upstream-Downstream Hydrosolidarity, *Water International*, 24(3): 275.
- [87] Lundqvist, J. & Falkenmark, M. (2000) Towards Hydrosolidarity: Focus on the Upstream-Downstream Conflicts of Interest, *Water International*, 25(2): 168-171.
- [88] Ma, J., Hoekstra, A.Y., Wang, H., Chapagain, A.K. & Wang, D. (2005) Virtual versus real water transfers within China, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*. Accepted for publication.
- [89] Malthus, T.R. (1993) An essay on the principle of population, Oxford University Press, Oxford [heruitgave van oorspronkelijke editie uit 1798].
- [90] McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. & White, K.S. (eds.) (2001) Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- [91] Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens, W.W. (1972) The limits to growth, Universe Books, New York.
- [92] Micklin, P.P. (1988) Desiccation of the Aral Sea: A water management disaster in the Soviet Union. *Science* 241: 1171-1176.

- [93] Middelkoop, H. (red.) (1998) Twee rivieren: Rijn en Maas in Nederland, Rapport 98.041, RIZA, Arnhem.
- [94] Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J.C.J., Lang, H., Parmet, B.W.A.H., Schädler, B. & Schulla, J. (2001) Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin, *Climatic change*, 49(1/2): 105-128.
- [95] Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A., & Delworth, T.L. (2002) Increasing risk of great floods in a changing climate, *Nature* 415:514-517.
- [96] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2000) Anders omgaan met water: Waterbeleid voor de 21ste eeuw, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- [97] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2000) 3e Kustnota: Traditie, trends en toekomst, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- [99] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002) Naar integraal kustzonebeleid: Beleidsagenda voor de kust, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- [99] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005) Water in beeld 2005, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- [100] Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005) PKB deel 1 Ruimte voor de Rivier, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- [101] Morgan, M.G. & Henrion, M. (1990) Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis, Cambridge University Press, Cambridge.
- [102] Moss, S. (2002) Agent-based modelling for integrated assessment, *Integrated Assessment* 3(1):63-77.
- [103] Nguyen, T.G. (2005) A methodology for validation of integrated systems models, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [104] Nieuwkamer, R.L.J. (1995) Decision support for river management, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [105] Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. & Revenga, C. (2005) Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems, *Science* 308:405-408.
- [106] Norberg, J. (2002) Leve de globalisering, Houtekiet, Antwerpen [vertaling uit het Zweeds].
- [107] OECD (2003) Emerging risks in the 21st century: An agenda for action, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- [108] Öquist, M.G. & Svensson, B.H. (1996) Non-tidal wetlands, In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. (eds.) Climate change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses, Cambridge University Press, Cambridge.
- [109] Ostrom, E. (1990) Governing the commons: The evolution of institutions for collective action, Cambridge University Press, Cambridge.
- [110] Ostrom, E., Gardnes, R., & Walker, J. (1994) Rules, games, and common-pool resources, The University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [111] Ostrom, E., Burger, J., Field, C.B., Norgaard, R.B. & Policansky, D. (1999) Revisiting the commons: Local lessons, global challenges, *Science* 284:278-282.
- [112] Pahl-Wostl, C., Schlumpf, C., Büssenschütt, M., Schönborn, A. & Burse, J. (2000) Models at the interface between science and society: impacts and options, *Integrated Assessment* 1(4): 267-280.
- [113] Pearce, F. (1992) The dammed: Rivers, dams, and the coming world water crisis, The Bodley Head, London.
- [114] Pearce, D.W. & Turner, R.K. (1990) Economics of natural resources and the environment, Harvester Wheatsheaf, New York.
- [115] Porte Agel, F.F., Heun, J.C. & Savenije, H.H.G. (1996) Water demand management - Volume IV Roleplay: Trainers' manual, UNESCO-IHE, Delft.
- [116] Postel, S. (1992) Last oasis: Facing water scarcity, W.W. Norton & Company, New York.



- [117] Postel, S.L., Daily, G.C. & Ehrlich, P.R. (1996) Human appropriation of renewable fresh water, *Science* 271: 785-788.
- [118] Rees, W.E. (1992) Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out, *Environ. Urban.* 4(2), 121-130.
- [119] Rees, W.E. (1998) How should a parasite value its host? *Ecological Economics* 25:49-52.
- [120] Renn, O. (1998) The role of risk perception for risk management, *Reliability Engineering and Systems Safety* 59:49-62.
- [121] RIVM (2004) Risico's in bedijkte termen, een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen, Rapport 500799002, RIVM, Bilthoven.
- [122] RIZA (2002) MKBA Spankrachtstudie, RIZA, Lelystad.
- [123] Rogers, P., Bhatia, R., & Huber, A. (1998) Water as a social and economic good: How to put the principle into practice, TAC Background Papers No. 2, Global Water Partnership, Stockholm.
- [124] Rogers, P., De Silva, R., & Bhatia, R. (2002) Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency and sustainability, *Water Policy* 4:1-17.
- [125] Rogers, P. & Hall, A.W. (2003) Effective water governance, TEC Background Papers No.7, Global Water Partnership, Stockholm.
- [126] Rotmans, J. (1998) Geïntegreerd denken en handelen: Een noodzakelijk goed, Intreerede, Universiteit Maastricht.
- [127] Rotmans, J. (1998) Methods for IA: The challenges and opportunities ahead, *Environmental Modeling and Assessment* 3:155-179.
- [128] Rotmans, J. & De Vries, H.J.M. (1997) Perspectives on global change: The TARGETS approach, Cambridge University Press, Cambridge.
- [129] RWS / NAM (2005) www.geofoon.nl.
- [130] Sahagian, D.L., Schwartz, F.W., & Jacobs, D.K. (1994) Direct anthropogenic contributions to sea level rise in the twentieth century, *Nature* 367:54-57.
- [131] Salman, S.M.A. & McInerney-Lankford, S. (2004) The human right to water: Legal and policy dimensions, The World Bank, Washington.
- [132] Savenije, H. & Van der Zaag, P. (2002) Water as an economic good and demand management: Paradigms with pitfalls, *Water International* 27(1): 98-104.
- [133] Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C., & Walker, B. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems, *Nature* 413:591-596.
- [134] Schmidt, A.L. (ed.) (1998) Role play on river and floodplain management, UNESCO-IHE, Delft.
- [135] Schwarz, H.E., Emel, J., Dickens, W.J., Rogers, P. & Thompson, J. (1990) Water quality and flows, In: Turner II, B.L., Clarck, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T. & Meyer, W.B. (eds.) The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years, 253-270, Cambridge University Press, Cambridge.
- [136] Scrase, J.I. & Sheate, W.R. (2002) Integration and integrated approaches to assessment: What do they mean for the environment? *Journal of Environmental Policy and Planning* 4:275-294.
- [137] Semiat, R. (2000) Desalination: Present and future, *Water International* 25(1): 54-65.
- [138] Seyam, I.M., Hoekstra, A.Y. & Savenije, H.H.G. (2002) Calculation methods to assess the value of upstream water flows and storage as a function of downstream benefits, *Physics and Chemistry of the Earth* 27: 977-982.
- [139] Seyam, I.M., Hoekstra, A.Y. & Savenije, H.H.G. (2003) The water value-flow concept, *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 175-182.
- [140] Shiklomanov, I.A. (1990) Global water resources, *Nature and Resources* 26(3):34-43.
- [141] Shiklomanov, I.A. (ed.) (1997) Assessment of water resources and water availability in the world, Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world,

- World Meteorological Organization, Geneva.
- [142] Shiklomanov, I.A. (2000) Appraisal and assessment of world water resources, *Water International* 25(1):11-32.
- [143] Shiva, V. (2002) *Water wars: Privatization, pollution, and profit*, South End Press, Cambridge, Massachusetts.
- [144] Shubik, M. (1984) *Game theory in the social sciences: Concepts and solutions*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [145] Smakhtin, V.U. (2001) Low flow hydrology: A review, *Journal of Hydrology*, 240: 147-186.
- [146] Smakhtin, V., Revenga, C., & Döll, P. (2004) Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments, Comprehensive Assessment Research Report 2, IWMI, Colombo.
- [147] SBB (2003) *Lonkend rivierenland: Visie van Staatsbosbeheer op de rivieren*, Staatsbosbeheer, Driebergen.
- [148] Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J., & Green, P. (2005) Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal system, *Science* 308: 376-380.
- [149] TAW (2000) *Van overschrijdingskans naar overstromingskans*, Achtergrondrapport, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.
- [150] Thompson, M., Ellis, R., & Wildavsky, A. (1990) *Cultural theory*, Westview Press, Boulder, USA.
- [151] Ubbels, A. & Verhallen, J.M. (2000) Suitability of decision support tools for collaborative planning processes in water resources management, Rapport 99.067, RIZA, Lelystad.
- [152] UN (1948) *Universele Verklaring van de Rechten van de Mens*, New York.
- [153] UN Committee on Economic, Social and Cultural Rights (2002) General Comment No.15 The right to water (arts. 11 and 12 of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights), United Nations, Geneva.
- [154] UNDP (2005) *Human development report 2005*, United Nations Development Programme, New York.
- [155] UNESCO (2003) *Water for people, water for life: The United Nations world water development report*, UNESCO Publishing, Paris / Berghahn Books, Oxford.
- [156] UNFPA (2005) *The state of world population 2005*, United Nations Population Fund, New York.
- [157] Van der Sluijs, J.P. (2002) A way out of the credibility crisis of models used in integrated environmental assessment, *Futures* 34:133-146.
- [158] Van de Ven, G.P. (red.) (2003) *Leefbaar laagland: Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland*, Uitgeverij Matrijs, Utrecht.
- [159] Van Koningsveld, M. (2003) *Matching specialist knowledge with end user needs: Bridging the gap between coastal science and coastal management*, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [160] Van Notten, P.W.F., Rotmans, J., Van Asselt, M.B.A., & Rothman, D.S. (2003) An updated scenario typology, *Futures* 35:423-443.
- [161] Van Ogtrop, F.F., Hoekstra, A.Y. and Van der Meulen, F. (2005) Flood management in the Lower Incomati river basin, Mozambique: Two alternatives, *Journal of the American Water Resources Association* 41(3): 607-619.
- [162] Van Stokkum, H.T.C., Smits, A.J.M. & Leuven, R.S.E.W. (2005) Flood defense in The Netherlands, A new era, a new approach, *Water International* 30(1): 76-87.
- [163] Van Velzen, E., Kind, J., Slomp, R., Silva, W., Chbab, H., Stefess, H., Tonnejck, M., Brinkhuis-Jak, M. & Wehrung, M. (2004) *Beperking van overstromingsrisico's in het Bovenrivierengebied*, Rapport 2003.034, RIZA, Lelystad.
- [164] Varian, H.R. (1992) *Microeconomic analysis: Third edition*, W.W. Norton, New York.
- [165] Vis, M., Klijn, F., Van Buuren, M. (eds.) (2001). *Living with floods: Resilience strategies for flood risk management and multiple land use in the lower Rhine River basin*, NCR publication 10-2001, Netherlands Centre for River Studies, Delft.

- [166] Vörösmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R.B. (2000) Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth, *Science* 289:284-288.
- [167] Vörösmarty, C.J. & Sahagian, D. (2000) Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle, *BioScience* 50(9): 753-765.
- [168] Vrijling, J.K. (2001) Probabilistic design of water defense systems in the Netherlands, *Reliability Engineering and Systems Safety* 74:337-344.
- [169] Vrijling, J.K., Van Hengel, W. & Houben, R.J. (1998) Acceptable risk as a basis for design, *Reliability Engineering and Systems Safety* 59:141-150.
- [170] Wackernagel, M. & Rees, W. (1996) Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth, New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.
- [171] Wackernagel, M., Onisto, L., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, I.S., & Guerrero, M.G.S. (1997) Ecological footprints of nations: How much nature do they use? - How much nature do they have? Centre for Sustainability Studies, Universidad Anahuac de Xalapa, Mexico.
- [172] Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A.C., Falfan, I.S.L., Garcia, J.M., Guerrero, A.I.S., & Guerrero, M.G.S. (1999) National natural capital accounting with the ecological footprint concept, *Ecol. Econ.* 29, 375-390.
- [173] Walker, W.E. et al. (2003) Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support, *Integrated Assessment* 4(1): 5-17.
- [174] WCED (1987) Our common future, World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.
- [175] WHO (2003) The right to water, World Health Organization, Geneva.
- [176] Wichelns, D. (2001) The role of 'virtual water' in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt, *Agricultural Water Management* 49: 131-151.
- [177] Wichelns, D. (2004) The policy relevance of virtual water can be enhanced by considering comparative advantages, *Agricultural Water Management* 66: 49-63.
- [178] Xu, Y. (2005) Appropriate modeling in decision support systems for river basin management, PhD thesis, University of Twente, Enschede.
- [179] Young, H.P. (1994) Equity: In theory and practice, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

