



Oratie

Mondiale ecohydrologie en duurzaamheid

De stand van het water

Stefan Dekker



Universiteit Utrecht

Mondiale ecohydrologie en duurzaamheid

De stand van het water

Inaugurele rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in

Mondiale ecohydrologie en duurzaamheid, aan de faculteit Geowetenschappen van

de Universiteit Utrecht,

op 15 oktober 2019 door Stefan Dekker.

COLOFON

ISBN

978 90 6266 559 4

Uitgave

Faculty of Geosciences – Utrecht University, 2019

Foto Stefan Dekker

Ed van Rijswijk

Coverfoto

©Gert Jan Bollen

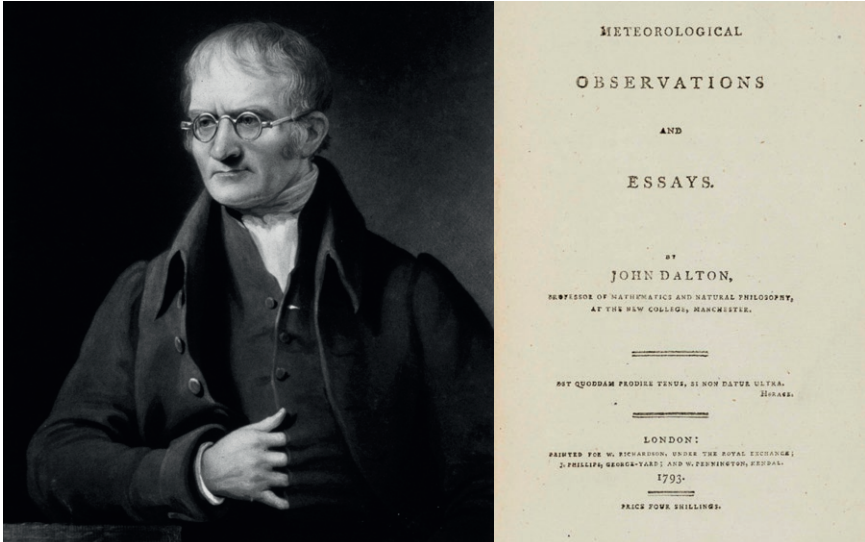
Ontwerp en figuren

C&M (9696)

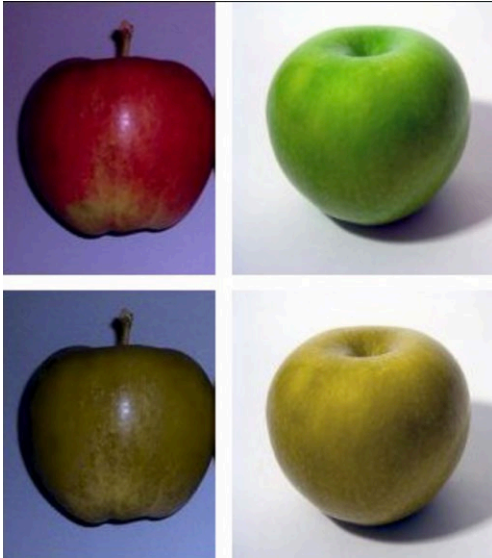
Meneer de Rector Magnificus, beste collega's, studenten, vrienden en familie,

Al eeuwen lang bestuderen wetenschappers en filosofen onze hydrologische kringloop (Dooge, 2003). Zo schreef Aristoteles in 350 voor Christus dat het water in de rivieren afkomstig kan zijn van regen. Leonardo da Vinci zette rond 1500 de eerste ideeën van een hydrologische cyclus op papier, waarbij hij verdamping van het land beschrijft als een snelheid. Fout was nog dat hij dacht dat de rivieren gevoed werden door een ondergronds netwerk van kanalen vanuit de zee. Het heeft tot 1800 geduurd totdat er een correcte beschrijving van de hydrologische cyclus is gekomen. In dit jaar ontdekte John Dalton de zogenoemde verdampingsflux, de hoeveelheid water die verdampt vanaf het aardoppervlak naar de atmosfeer. Een cruciale doorbraak in de kennisvorming rond de hydrologische kringloop.

Interessant aan John Dalton is dat hij een multidisciplinaire wetenschapper was. Naast het beschrijven van het verdampingsproces heeft hij ook gemerkt dat mensen kleurenblind kunnen zijn. In het Engels wordt kleurenblindheid nog steeds naar hem vernoemd: daltonism.



Figuur 1 John Dalton © from: <https://learnodo-newtonic.com/john-dalton-contribution>



Figuur 2 Kleurenblindheid en Daltonism. From: https://simple.wikipedia.org/wiki/Color_blindness

Degenen die mij kennen, weten dat ik kleurenblind ben en daar nogal vaak opmerkingen over maak. Gebruik van groen en rood in 1 figuur: je ziet het nog steeds. Voor 1 op de 12 mannelijke toehoorders hier in de zaal is de bovenste en onderste rij van deze appels identiek. Zo zien wij als kleurenblinden dus de wereld en we moeten dit niet als handicap beschouwen, maar juist als meerwaarde. Wij als kleurenblinden zijn beter getraind op het onderscheiden van patronen en het zien van verschillen in reflectie. Evolutionair gezien zijn deze kwaliteiten altijd belangrijk geweest, anders zou kleurenblindheid niet zo vaak voorkomen.

Waarom begin ik mijn oratie met John Dalton? Het fascineert me dat een onderzoeker specialist kan zijn in verschillende onderwerpen. De kennis vanuit één vakgebied kan cruciaal zijn binnen een ander vakgebied, maar dit vakgebied moet dan wel openstaan voor andere meningen en voor andere talenten. Jammer genoeg gebeurt dit vaak niet, en worden deze talenten niet benut. Kleurenblindheid wordt gezien als een handicap en niet als een talent.

In mijn oratie ga ik het hebben over de stand van het water nu en in de toekomst en over de raakvlakken en interacties die mijn vakgebied, de ecohydrologie, heeft met andere wetenschappelijke disciplines.

Mondiale Ecohydrologie

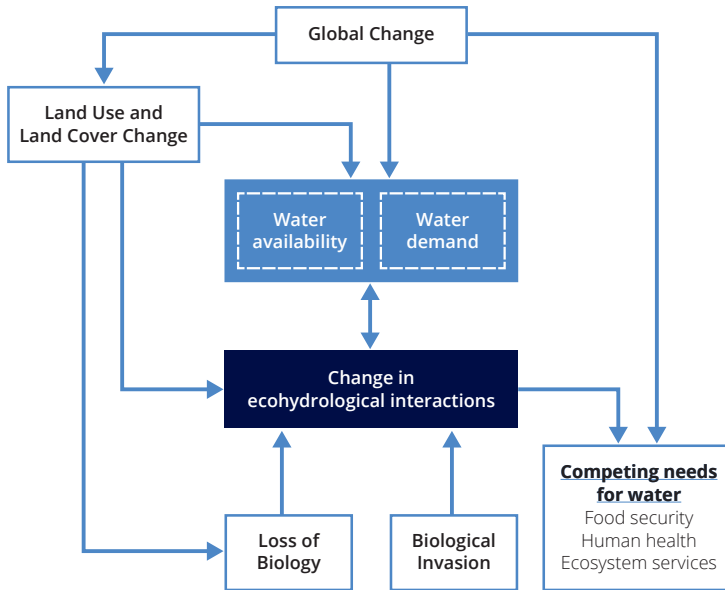
Ecohydrologie, is ontstaan vanuit het raakvlak tussen hydrologie en ecologie. Voor mij is dat begonnen bij het werk van Pete Eagleson in de jaren 70 en 80 met zijn artikelen in *Water Resources Research* (Eagleson, 1982).



Figuur 3 De evolutie van het vakgebied ecohydrologie

Sindsdien zijn er vele boeken en artikelen verschenen over het raakvlak tussen water en ecologie, tussen biodiversiteit en waterkwaliteit, en tussen water en koolstof. Het is een onderwerp dat mij, gedurende mijn hele wetenschappelijke carrière heeft geboeid. Negentien jaar geleden ben ik gepromoveerd binnen de ecohydrologie, nu luisteren jullie naar mijn oratie over deze veelomvattende en mooie thematiek.

Sinds het afgelopen decennium is het duidelijk dat de ecohydrologie zich niet beperkt tot natuurlijke systemen, maar dat de mens een steeds grotere invloed heeft op de hydrologische cyclus. Vele nieuwe sociaal-ecologische systemen zijn ontwikkeld, met op deze dia een voorbeeld (D'Odorico et al., 2010). We zien dat door global change er directe en indirecte veranderingen komen in waterbeschikbaarheid en watervraag. Voorbeelden van directe veranderingen zijn de toenemende vraag naar water en het intensievere landgebruik door de groei van de bevolking. Daarnaast heeft de opwarming van de aarde directe invloed op bestaande regenpatronen. Indirect zien we dat de ecohydrologische interacties veranderen, bijvoorbeeld door verlies van biodiversiteit. Ook deze indirecte invloeden zullen uiteindelijk een effect hebben op watertekorten en daarmee op onze voedselzekerheid, gezondheid en ecosystemen.



Figuur 4 Ecohydrologie als sociaal-ecologisch model. Aangepast aan de hand van D’Odorico et al. (2010)

Global Change is de driver van veranderingen van de waterbeschikbaarheid, maar we zien in de meeste toekomstscenario’s tot 2050 dat dit niet door klimaatsverandering komt maar door socio-economische veranderingen.

De belangrijkste vraag die dit spanningsveld oproept, is hoe we ervoor kunnen zorgen dat er genoeg veerkracht is in het systeem om fluctuaties en veranderingen in de natuur en de maatschappij op te vangen.

Mondiale ecohydrologie: Een netwerk van interacties en raakvlakken

De hydrologische cyclus, in het Engels ‘the watercycle’, hier verbeeld als een waterdruppel op een fiets. Het is een simpele cyclus zoals we dit hebben geleerd uit tekstboeken. De cyclus bestaat uit vele terugkoppelingen, cascades en netwerken

(Staal et al., 2018). In deze complexe interactie verdampen en transpireren bossen water dat via de atmosfeer iets verder weer uitregent. In deze cyclus zorgt het Amazoneregenwoud voor een van de hoogste verdampingstromen op aarde. Hierbij is het belangrijk om te weten dat een groot deel van deze verdamping vervolgens weer bijdraagt aan nieuwe regenval in het stroomgebied van de Amazone zelf. Dankzij dit inzicht kunnen we nu op een groot detailniveau begrijpen hoe bossen in de Amazone regen genereren en welke bossen weer afhankelijk zijn van deze regen. Deze processen van evapotranspiratie en regenval zijn een ketting van cascades en afhankelijk van atmosferische en klimatologische condities. Hiermee is niet alles gezegd, want een bijkomend effect is dat de bossen in de Amazone er ook zelf voor zorgen dat weer- en windpatronen veranderen. We hebben dus te maken met een netwerk van interacties die in tijd, ruimte en schaal continue veranderen.

Op dit moment zien we dat deze gekoppelde processen op twee manieren veranderen. Zo kunnen bomen tijdens droogtes langer water blijven transpireren. Hoewel de bodem al droog is, lukt het de bomen met hun wortels toch nog bij het diepere grondwater te komen (O'connor et al. 2019). Door deze transpiratie wordt de atmosfeer vochtiger en benedenwinds zal er zelfs tijdens droge periode een grotere kans zijn op regen. Deze kettingreactie kan stoppen door landgebruiksveranderingen.



Figuur 5 The WaterCycle: Hoe de verdamping in de Amazone en Congo weer bijdraagt aan nieuwe regenval

Als we bossen met diepe wortels veranderen in sojaplantages met oppervlakkige wortelstelsels gaan die minder transpireren tijdens de droogtes, omdat ze niet bij het grondwater kunnen. Benedenwinds zal de droge periode langer duren en meer intens zijn.

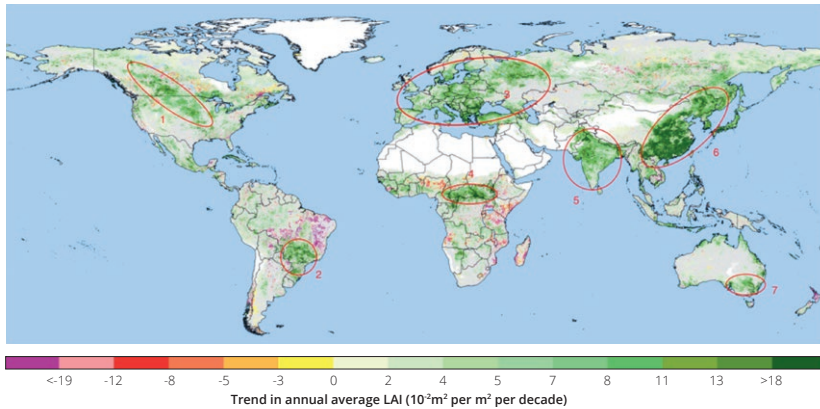
De sojaplantages zijn nodig om genoeg voedsel te produceren voor de vleesindustrie. We lezen vaak dat het probleem van soja is dat deze planten te veel water verbruiken. Inderdaad kunnen we met wetenschappelijke modellen (Dermody et al., 2017; Hoekstra and Wiedmann, 2014) de watervoetafdruk berekenen. We weten hoeveel soja een koe eet en we weten wat de overige waterkosten zijn voor de productie van vlees. In totaal komen we uit op een getal van circa 2400 liter water voor een hamburger. Prima wetenschap, maar de interpretatie is cruciaal. Is dit veel water? Arjen Lubach gebruikt deze data om aan te tonen dat je beter vegetarisch kunt eten vanwege de kosten van water.

Als we de wetenschap juist interpreteren blijkt het probleem van de hamburgers, waarvoor veel soja nodig is, niet dat dit teveel water kost. Integendeel! Het probleem is juist dat sojaplanten te weinig water verbruiken. In de Amazone zien we dat door de landgebruiksverandering naar soja er minder verdampt en transpireert. Evapotranspiratie in een tropisch regenwoud is gemiddeld 4 mm per dag. Sojaplanten transpireren niet meer dan de helft (O'connor et al. 2019). Er komt dus minder vocht in de atmosfeer, waardoor de cascades van de waterrecycling onderbroken worden. Hoewel irrigatie een deel hiervan kan compenseren, blijft het grote probleem dat soja niet teveel, maar te weinig water verbruikt voor het behoud van het Amazonebos.

Moeten we ons dan helemaal niet druk maken over die waterfootprint? Jawel: als we pistachenootjes eten uit een regio met grote watertekorten. In dat geval is het virtuele watergebruik echt een probleem.

Dus soja gebruikt te weinig water, afhankelijk van waar deze planten geteeld worden. Daarnaast zorgen landgebruiksveranderingen ook voor verlies van biodiversiteit, verlies van koolstofberging en de grondonteigening van de inheemse bevolking. In verder onderzoek willen we bestuderen hoe de schaal en dynamiek van biodiversiteit en de schaal van water- en koolstof cycli van elkaar verschillen. Het is aan ons om te analyseren of en waar hier synergie in te vinden is.

Naast de verandering in landgebruik is de tweede reden dat de interacties tussen water en vegetatie veranderen het gegeven dat de wereld groener wordt. Vaak wordt alleen de ontbossing en verwoestijning in beeld gebracht. Observaties vanuit de ruimte over de afgelopen dertig tot veertig jaar laten juist een vergroening zien. In deze mondiale analyse – met die voor mij als kleurenblinde verschrikkelijke groene en rode kleuren – zien we dat de meeste gebieden vergroenen (Chen et al., 2019).



Figuur 6 Toe- en afname van trends in Leaf Area Index, via MODIS tussen 2000 en 2017 (Chen et al. 2019)

Deze vergroening komt door drie wereldwijde veranderingen, die ongeveer allemaal even sterk zijn (Zhu et al., 2016):

Als eerste is er een toename van landbouw en herbebossing. Dit is vooral zichtbaar in India en China. In deze landen worden miljoenen hectares van bossen geplant om erosie tegen te gaan, om te dienen als filter voor luchtvervuiling en voor het gebruik als bio-energie. Daarnaast wordt er in deze gebieden meer voedsel geproduceerd. Deze herplanting veroorzaakt meer regen, wat we vooral in China zien, al blijven de drogere gebieden achter bij de verwachting (Sheil, 2018).

De tweede oorzaak van de vergroening is – ook blijkend uit eerder werk van ons (de Boer et al., 2011) – dat door de CO_2 -toename de vegetatie efficiënter water verbruikt. De vegetatie kan makkelijker groeien doordat er meer CO_2 in de atmosfeer aanwezig is. Wel zullen deze groene gebieden minder transpireren per vierkante meter oppervlak. De aarde wordt dus groener, maar tegelijkertijd wordt het droger in de atmosfeer. Het gevolg: een dempende werking op het netwerk dat droogtes kan triggeren.

Als derde oorzaak is er de stikstofbemesting die ervoor zorgt dat vegetatie sneller groeit. Deze stikstofpatronen zullen sterk veranderen in de toekomst, met een afname in Europa en verdere toename in Azië.

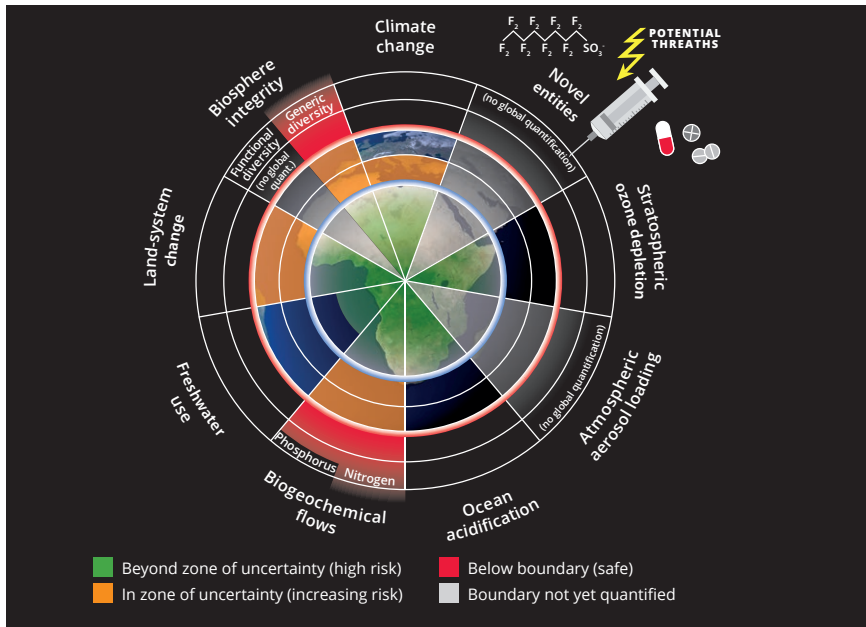
Hoe deze effecten zich precies vertalen naar onze ecohydrologische cascades, en hoe de stabiliteit en veerkracht zullen veranderen is nog onduidelijk.

Ons begrip van de hydrologische cyclus is anders dan een paar jaar geleden en we weten genoeg om te kunnen stellen dat er nog veel onduidelijkheden zijn. Waarom gebruiken bomen zoveel water? Waarom transpireert het ene kronendak meer dan het andere? Wat is de rol van de bosvloervegetatie in natuurlijke bossen in het vochtig houden van de lucht onder het kronendak? Binnen dit onderzoek is het belangrijk om niet alleen te kijken naar de fluxen, ofwel: de snelheden van watertransport van de ene naar de andere plek, maar ook naar de buffers van de systemen. Er kunnen vijf dagen liggen tussen het moment van wortelopname en het transport naar de atmosfeer (Evaristo et al., 2019). Het kan vervolgens tien dagen duren, voordat dit water weer terugkomt als regen (Tuinenburg and van der Ent, 2019). Om de veerkracht van het ecohydrologisch systeem te begrijpen zullen we meer begrip nodig hebben van deze reistijden in alle compartimenten.

Ecohydrologie en duurzaamheid

Wat steeds duidelijker wordt, is dat de stand van het water – niet toevallig de titel van deze rede – invloed heeft op ons wereldwijde welzijn. Het Wereld Economisch Forum, dat jaarlijks in Davos samenkomt, maakt elk jaar een top tien van de meest belangrijke mondiale risico's. En wat zien we als hoog scorende risico's? De watercrisis, falen van klimaatadaptatie, voedselcrisis, extremen in droogte en overstromingen, biodiversiteitsverlies en ineenstortingen van het ecosysteem. Allemaal bedreigingen, waarbij de stand van het water een cruciale rol speelt.

Alweer tien jaar geleden is het begrip 'planetaire grenzen' geïntroduceerd (Rockström et al., 2009). Om de aarde duurzaam te behouden, is het van belang dat de mensheid navigeert tussen negen vastgelegde planetaire grenzen, die onderling sterk met elkaar verbonden zijn. Landgebruiksverandering heeft invloed op bijvoorbeeld de planetaire grenzen van biodiversiteit en zoetwaterbeschikbaarheid. Deze onderlinge relaties zijn precies de uitdaging van duurzaamheidsonderzoek. We kunnen ons niet richten op één grens, bijvoorbeeld watertekorten, want het gaat ook om de kwaliteit van het water dat wel beschikbaar is. Een van de ambities, waaraan we nu werken, is om meer grip te krijgen op de planetaire grens van de novel entities, nieuwe chemische stoffen die in ons milieu komen. In een groot Europees project beschrijven wij scenario's van toekomstig medicijn- en pesticidegebruik. Tegelijkertijd geven we aan hoe toekomstige maatregelen ervoor kunnen zorgen dat deze stoffen geen risico



Figuur 7 Planetary boundaries. Novel entities is niet gekwantificeerd. Gedeeltelijk aangepast uit: Jahnke et al. 2018, JPI-Ocean

hebben in het zoetwatermilieu. De planetaire grens van novel entities was in 2009 een vraagteken en is dit nu nog steeds. Een van onze ambities is om deze grens vast te stellen en dan terug te redeneren wat dit betekent voor het stoffen-beleid in de EU.

Naast de problematiek rond de waterkwaliteit, krijgt de wereldbevolking ook met een tekort aan water te maken. Water wordt gebruikt voor voedsel, voor energie, voor behoud van biodiversiteit, voor industrie en voor huishoudens. Het huidige zoetwaterverbruik ligt op twee derde van de planetaire grens (Rockström et al., 2014). In de toekomstscenario's voor 2050 verwachten we een hele grote toename van waterverbruik waarbij een kwart van de wereldbevolking te maken krijgt met een tekort. De toename van de voedselvraag zorgt er alleen al voor dat de planetaire grens overschreden wordt. En door de toename van de bio-energieproductie om de doelen van het Parijs klimaatakkoord te halen, zal de planetaire grens van zoetwater

overschreden worden met 50% in 2050. We moeten daarom water hergebruiken, en verschillende kwaliteiten gebruiken in verschillende sectoren.

Eind 2015 zijn de duurzame ontwikkelingsdoelstellingen geïntroduceerd: 17 doelstellingen en 169 onderliggende doelen die moeten leiden naar een duurzame ontwikkeling. Wat betreft waterkwantiteit en waterkwaliteit laat de wetenschappelijke literatuur zien dat alle duurzame ontwikkelingsdoelen via water met elkaar verbonden zijn, vaak langs zogenoemde trade-offs waarbij het ene doel verwezenlijkt kan worden ten koste van een ander doel (Alcamo, 2019).

Medicijngebruik is een aansprekend voorbeeld van een trade-off. We weten dat een goede waterkwaliteit essentieel is voor het algemene welzijn en een goede gezondheid. Tegelijkertijd kan antibioticagebruik ook positief uitpakken voor welzijn en gezondheid. In deze trade-off leidt een betere gezondheid door medicatie tot een lagere waterkwaliteit, omdat medicijnresten via het water verspreid worden in het milieu met resistente bacteriën als gevolg.

Een tweede voorbeeld. Als we kijken naar economische groei ter voorkoming van armoede zien we dat economische groei eerst leidt tot een toename van verontreinigde stoffen in het water. Pas, wanneer het inkomen hoog genoeg is, leidt dit tot verbeteringen in waterzuiveringen. Voor het beleid dat gemaakt wordt om honger te voorkomen, betekent dit dat er zorgvuldige keuzes gemaakt moeten worden om de waterkwaliteit en waterkwantiteit in orde te houden. Juist omdat we hebben gezien dat in het verleden intensieve landbouw heeft geleid tot watertekorten en verslechtering van de waterkwaliteit.

Transities lopen dus eerst via trade-off voordat er synergie kan ontstaan. Positief is dat deze transities steeds sneller gaan, en dat er eerder duurzame oplossingen bereikt worden. Ook positief is dat er meer synergiën zijn dan trade-offs tussen waterkwaliteit en de andere Sustainable Development Goals, wat betekent dat er veel kansrijke mogelijkheden zijn om gelijktijdig aan duurzaamheidsdoelen te werken.

Modelconcepten zoals de planetary boundaries en duurzame ontwikkelingsdoelen zijn belangrijk in onze wetenschapscommunicatie. We moeten zo transparant mogelijk communiceren en ook aangeven als er iets foutief wordt gecommuniceerd. Gewoon even een voorbeeldje uit het dagelijks leven. Ik erger me kapot aan de douchecoach.

Ik weet niet of jullie die kennen, maar dat is een zandloper voor kinderen, zodat ze niet te lang onder de douche staan. Het argument van de ouders is: "anders kost het zoveel drinkwater". Nou, ik kan jullie zeggen: we hebben voorlopig voldoende drinkwater in Nederland! Dat is het mooie van het leven in een delta, waarin de hoeveelheid regen trendmatig toeneemt. En de droogtes in Nederland waar we het over hebben? Vergeleken met de rest van de wereld zou ik niet durven praten over

droogte in Nederland. Wij hebben decennialang het watersysteem geoptimaliseerd en de veerkracht weggehaald waardoor we nu leven op de grens. Moeten we dan verbaasd zijn als er door een kleine toename in variabiliteit we over deze grens schieten en er tijdelijk watertekorten optreden? Moeten we klimaatsverandering de schuld hiervan geven? Ik denk het niet. Nieuwe afspraken zijn nodig voor waterberging en hergebruik van oppervlaktewater, zodat er weer voor voldoende veerkracht in het systeem komt. Extra veerkracht past in het gedachtengoed van natuur-inclusieve landbouw en zal positieve effecten hebben op landbouwproductie en biodiversiteit. Zeker als we gewassen gebruiken die meer efficiënt zijn, bijvoorbeeld met C₄-fotosynthese, en die meer veerkracht hebben tegen droge of natte omstandigheden. Ook is het duidelijk dat de veerkracht in ons watersysteem niet terug komt met de inzet van de douche-coach.

Wel klopt het dat het gasverbruik stijgt door langer te douchen met warm water. Maar als het om de CO₂ voetafdruk gaat, zijn er veel effectievere gedragsveranderingen: bijvoorbeeld een jaar niet vliegen. Het probleem is dat dit geen gemakkelijke keuzes zijn. We moeten ons gedrag wezenlijk en vergaand veranderen en dat is moeilijker dan het omdraaien van een douchecoach.

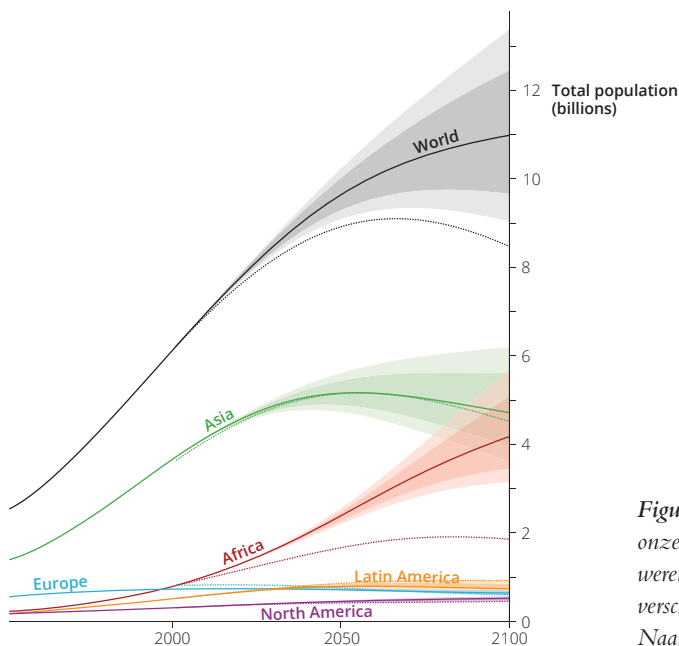
Ook wereldwijd is het gemakkelijker om ons te concentreren op problemen, waarvan de oplossing relatief weinig van ons vergt. Op dit moment is er heel veel mondiale aandacht voor plasticvervuiling, en dan met name micro- en nanoplastics. Er zijn geen plastic-sceptici en er zijn alternatieven voor het gebruik van plastic, zonder dat wij ons leefpatroon drastisch hoeven aan te passen. Een win-win situatie en iedereen wil hetzelfde. De vraag is in hoeverre de lage concentraties van microplastics in Nederland een urgent probleem vormen. Is de accumulatie van microplastics in vis een gezondheidsprobleem? Alleen al vanwege het voorzorgbeginsel is het goed om het onderzoek wat we hieraan doen te continueren. En – begrijp me niet verkeerd – ook al zijn er geen risico's, dan kunnen er genoeg goede motivaties overblijven om plastics uit te bannen. Zo is een hoge concentratie microplastics in ons drinkwater niet wenselijk. Maar alle wereldwijde aandacht voor plastic is ook een afleiding van de grotere milieuproblemen. Milieuproblemen waarbij wel grote gedragsveranderingen in ons leefpatroon noodzakelijk zijn.

Wij als wetenschappers moeten kritisch blijven, en ook die problemen agenderen waarbij moeilijke gedragsveranderingen noodzakelijk zijn. Dat dit niet makkelijk is, blijkt ook uit het gedrag van ons als wetenschappers zelf. Wij vliegen nog steeds collectief de wereld rond om onze nieuwe inzichten te vertellen op conferenties, terwijl we weten dat met één intercontinentale vlucht de CO₂ voetafdruk voor dat jaar op is.

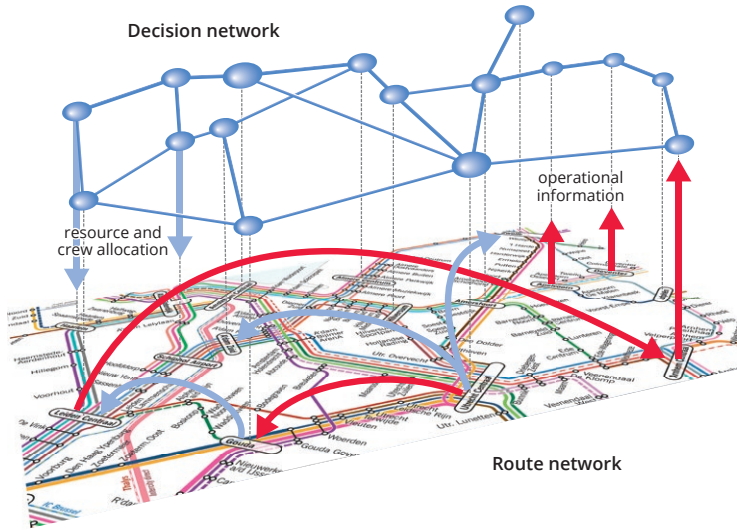
Ambities voor de toekomst

Als eerste uitdaging wil ik noemen het maken van toekomstscenario's van ecohydrologische processen waarin ook de mens een rol speelt. De wereldbevolking zal met tenminste 3 miljard mensen verder stijgen, terwijl we nu al grote effecten zien op de ecosystemen en hulpbronnen. Verdere integratie van onze ecohydrologische modellen met Integrated Assessment Modellen zoals ontwikkeld bij het PBL zullen nodig zijn om duurzame oplossingen te vinden, voor nu en in de toekomst. Onze ecohydrologische kennis is nodig om betere scenarios te maken van toekomstig water, energie en voedselgebruik. Dit onderzoek hoort tot de kern van het universitaire brede onderzoeksprogramma Pathways to Sustainability, waaronder future food en future deltas.

Een tweede uitdaging zie ik in het terugbrengen van het aantal vrijheidsgraden in onze modellen. De traditionele modeleeraanpak heeft waarschijnlijk zijn tijd gehad,



Figuur 8 Schattingen en onzekerheden in toename wereldbevolking, met grote verschillen per continent. Naar Gerland et al. 2014.



Figuur 9 NetofNets. Het fysieke spoornetwerk is verbonden met sociale netwerken van beslissingen. NWO-complexity Panja et al

maar een alternatief zoals agent-based modellen heeft ons nog weinig gebracht. Ik denk dat de belangrijkste reden hiervan is dat we teveel vrijheidsgraden creëren in onze modellen. In het fysieke systeem kunnen we deze vrijheidsgraden beperken, omdat we te maken hebben met massabalansen. Voor het sociale systeem is dit lastiger. Meer en intensiever samenwerken met andere domeinen is mijns inziens de oplossing voor dit vraagstuk.

Een van deze samenwerkingen is een onderzoek dat is gefinancierd met een NWO complexity subsidie. In deze studie kijken we naar de veerkracht van de spoorwegen. Het interessante van het treinenetwerk is dat het een gekoppeld fysiek en sociaal systeem is. Het spoornetwerk wordt zowel beïnvloed door technische ongemakken op het spoor als door treindienstleiders die elke dag vele keuzes maken. Het gevolg van dit samenspel van mens en techniek is dat ov-reizigers zo weinig mogelijk moeten wachten op een vertraagde trein. De spoorwegen zijn een duidelijk voorbeeld van een sociaal-fysiek systeem, met als groot voordeel dat we de beschikking hebben over gigantische hoeveelheden data. Op dit moment zijn we bezig met de ontwikkeling van

nieuwe technieken om te begrijpen hoe de fysieke en sociale netwerken van treinen, machinisten en treindienstleiders met elkaar samenwerken. We kijken vooral naar out of control situaties en hoe vertragingen zich in het spoornetwerk verspreiden. De hoop is dat we door het bestuderen van dit systeem, analogieën kunnen vinden die we kunnen gebruiken in de sociale en fysieke netwerken van de ecohydrologie.

We zien dat de veranderingen in de maatschappij en daardoor in de hydrologische cyclus steeds sneller gaan (Falkenmark et al., 2019). Als wetenschap moeten we daarom werken aan adaptatiepaden om deze steeds maar veranderende hydrologische cyclus voor te zijn. Wat we zien is dat het niet alleen maar gaat om de veerkracht van de natuurlijke processen, maar ook hoe deze processen veranderen door klimaatverandering, door de energietransitie en door veranderingen in handel en in dieet. De maatschappelijke processen binnen de hydrologische cyclus hebben een andere schaal en dynamiek dan de natuurlijke hydrologische stroomgebiedsbenedering. Daarom zullen onze modelanalyses en modelscenario's op grotere en vaak mondiale schaal plaatsvinden.

Omgaan met talent

Vanuit mijn perspectief is het duidelijk dat we een nieuwe generatie van studenten nodig hebben, die breed kunnen denken en geïnteresseerd zijn in de raakvlakken tussen wetenschappelijke disciplines. Studenten die denken zoals John Dalton, en die het talent zien van een kleurenblinde. Studenten die sterk zijn in een methodologie en dit kunnen toepassen in een andere context.

Binnen de universiteit wordt veel onderzoek gedaan door promovendi. Een belangrijke reden om te werken met promovendi is dat ze jong, creatief en nog niet te vastgeroest zijn om te werken in ons multidisciplinaire vakgebied. Creativiteit wordt vaak gezien als een belangrijk onderdeel binnen de wetenschap. Werd vroeger gedacht dat de piek in creativiteit ligt bij mensen tussen de 20 en 30 jaar (Lindauer, 1993), spreken recentere wetenschappelijk ontwikkelingen juist over het stimuleren van creativiteit en dat creativiteit kan groeien met leeftijd. Of zoals John Cleese zegt "Creativity is not a talent. It is a way of operating."

Als creativiteit zo belangrijk is binnen het onderzoek, waarom is er dan zo weinig aandacht voor om dit te stimuleren? Tijdens mijn eigen promotietijd is me dit bijgebracht, en ik profiteer daar nog steeds van. En hopelijk ook mijn PhD-studenten. Je kan vrij makkelijk technieken leren om creatief denken te stimuleren, maar eigenlijk staat dit in Nederland nog steeds in de kinderschoenen. Dit terwijl in België

het centrum voor ontwikkeling van creatief denken al sinds de jaren '70 van de vorige eeuw actief is.

Nog meer over talenten en studenten. Ik hoor vaak op de gang dat onderwijs geven aan jonge mensen zo leuk en motiverend is. Maar het merendeel van de docenten in Utrecht heeft helemaal geen ervaring met onderwijs geven aan andere generaties. Is het wel zo motiverend? Ik heb les gegeven aan de Open Universiteit. De studenten zijn daar iets ouder, hoewel 70% nog wel onder de 30 is. Ik heb door deze ervaring gemerkt dat elke generatie om een eigen benadering vraagt.

Het verschil tussen beide groepen studenten is groot. Een voorbeeld: het geven van facultatieve informatie bij je vak. Het heeft voor beide groepen aan de UU en OU geen zin. UU-bachelor studenten denken: 'Oké, dus dit hoeft ik niet te weten voor het tentamen. Waarom zou ik het dan lezen?' OU-studenten lezen alles wat je ze geeft, dus waarom zou je het facultatief noemen.

Een ander voorbeeld: Binnen de OU worden discussiefora binnen de digitale leeromgeving daadwerkelijk gebruikt. Als docent hoeft je dit maar met een schuin oog in de gaten te houden. De jongere UU-student grijpt deze mogelijkheid veel minder aan, maar hen zie je vaak veel meer, waardoor je ze kan uitdagen door samen te laten werken aan problemen in een stimulerende en creatieve omgeving die de universiteit is. Als het gaat om het nemen van eigen verantwoordelijkheid kunnen ze wel het een en ander van hun OU-studiecollega's leren.

Ik pleit ervoor dat universitaire docenten zich blijven ontwikkelen en vernieuwen en dat zij zich verdiepen in de vraag hoe we studenten en PhD-studenten op de beste manier kunnen begeleiden. We moeten ervoor zorgen dat studenten zich verantwoordelijker gaan gedragen, maar ook dat onderwijs en onderzoek echt geïntegreerd worden en dat studenten en onderzoekers groeien in hun creativiteit. Hoge waarde hechten aan zowel onderzoek als onderwijs en de combinatie hiervan is cruciaal voor een universiteit die zich internationaal wil meten met de beste van de wereld.

Systeemanalyse

Mijn bijdrage binnen onderwijs is vaak het doceren van het vak systeemanalyse. Veel voorbeelden binnen de systeemanalyse zijn alledaagse situaties: de strijd om water door verschillende sectoren, maar ook de interacties tussen de fiets en de automobilist (Zhang et al., 2013).

Waarom kom ik toch zo vaak in conflictsituaties terecht, wanneer ik tijdens de spits van Hilversum naar de Uithof fiets? Vroeger waren de uitgangspunten duidelijk: de

fietser verloor het altijd, vanwege minder massa en minder snelheid. Maar nu is de fietser vaak sneller, gebruikt hij zowel het fietspad als de weg en raakt daarmee dus de draagkracht van de auto. Ook zien we dat de fietser zich niet in een competitie-model laat drukken, maar juist zelforganiserend te werk gaat. Fietzers bepalen zelf hun regels en het mooie is dat een deel van de automobilisten dit accepteert: zij gaan mee met hetzelfde systeem. Helaas, niet allemaal, waardoor ik toch in conflict met hen kom. Zelforganisatie in verkeersmodellen aanbrengen zal een goede stap zijn om de doorstroming te verbeteren.

Het begrijpen van de verschillende modellen en de soorten interacties is essentieel binnen ons vakgebied. Als je het systeemdenken beheerst, heb je vele voordelen. En dat geldt ook voor wetenschappers. Onze collega's, van naastgelegen kennisinstituten, gaan rollebollend over straat over de vraag of bioenergie nu goed of slecht is voor de CO₂ concentratie. Wat we telkens zien is dat er geen goed onderscheid wordt gemaakt tussen fluxen en toestanden. Een 100 jaar oude eik heeft zo'n grote hoeveelheid koolstof opgeslagen dat je deze vastgelegde hoeveelheid met de meest

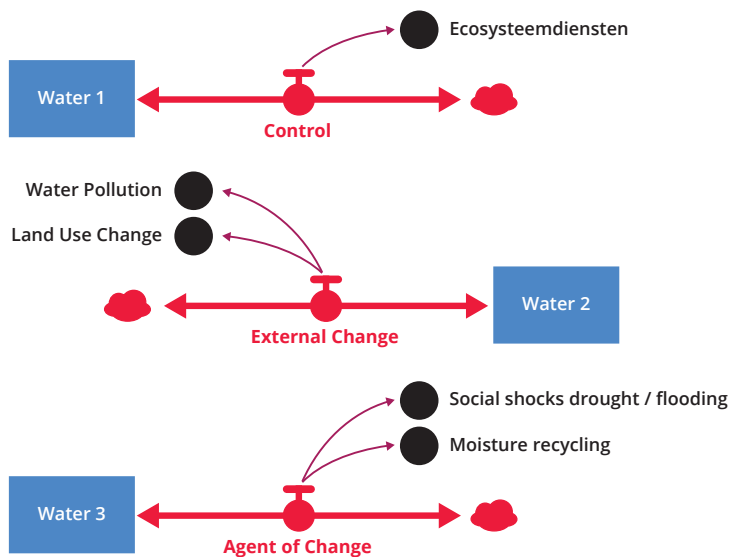


Figure 10 Water met 3 rollen, als controle variabele, als variabele waarbij water onder druk staat en als variabele die zelf een verandering kan veroorzaken

snelgroeiende wilg niet kan compenseren voor 2050. De discussie of deze eik op dit moment netto CO₂ opneemt of verliest is dus onbelangrijk. Voor het draagvlak in de maatschappij is het cruciaal dat wij als wetenschappers deze systeemanalyse makkelijk en duidelijk kunnen uitleggen.

Het systeemdenken binnen duurzaamheid heeft een rijke historie. Donella en Dennis Meadows hebben sinds de jaren 70 hier een grote bijdrage aan geleverd (Meadows, 2009) en nog steeds gebruiken wij het boek van Donella Meadows, *Thinking in Systems*, in onze cursussen. Dezelfde systeemanalyse uit de jaren 70 kan gebruikt worden om te analyseren waarom water zo belangrijk is (Falkenmark et al., 2019) binnen duurzaamheidsvraagstukken.

Terugkomend op de titel van mijn oratie: De stand van het water. Op deze dia zien jullie dat water 3 verschillende toestanden kan hebben, weergegeven door het blauwe blokje.

Ten eerste heeft de toestandsvariabele water een sleutelrol binnen al het leven op water. Het heeft een controlerende rol voor de veerkracht van het systeem. Het zorgt voor de ecosysteemdiensten zoals voedsel en biodiversiteit.

Ten tweede staat de toestand water onder externe druk, door veranderingen in de kwaliteit en door veranderingen in kwantiteit, bijvoorbeeld door landgebruiksveranderingen, of door andere sectoren van watergebruik.

Ten derde kan de toestand water zelf ook een verandering veroorzaken, door veranderingen in de ruimte en in de tijd, zoals de transpiratie-regen terugkoppeling of de regulerende rol die transpiratie heeft binnen het klimaat.

Deze drie rollen kunnen apart maar ook tegelijkertijd plaatsvinden. Door ontbossing zal de hydrologische cyclus veranderen, de externe rol. Dit kan leiden tot meer overstromingen of droogtes met als gevolg een afname van de verdamping-regen terugkoppeling. Water verandert hierdoor van een victim of change naar een agent of change. En dit zal leiden tot een negatief effect op de ecosysteem diensten, de controlerende rol van water op de veerkracht van het systeem. Kortom, de stand van het water: het zal altijd boeiend blijven.

Dank

Graag wil ik mijn wetenschappelijke opvoeders bedanken die mij, gedurende verschillende fases in mijn carrière hebben geholpen. Speciale dank naar mijn promotoren Koos Verstraten en Willem Bouten van de Universiteit van Amsterdam

en aan de sectiehoofden Environmental Sciences aan de Universiteit Utrecht: Peter de Ruiter en Martin Wassen.

Ook natuurlijk dank aan de decaan en de rector die het vertrouwen in mij heeft.

Ik ben heel bevoorrecht te mogen werken in het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling en om nu samen met Marko Hekkert en Ellen Moors lid te zijn van het departementsbestuur. Tegenwoordig noemt iedereen het al het departement SD, naar mijn acroniem. Dank aan iedereen binnen Copernicus, we zorgen er gemeenschappelijk voor dat we top zijn in onderzoek en onderwijs. En ook dank aan alle collegas binnen de Geo en de Beta faculteit en ook binnen Future Food Utrecht, Future Deltas en Complexity waar ik de afgelopen jaren veel mee heb samengewerkt. Ik hoop dat we nieuwe gemeenschappelijke projecten kunnen opzetten. Natuurlijk wil ik ook alle collega's bij de vakgroep Science van de Open Universiteit bedanken.

Een van de hoogleraren hier vooraan vertelde mij dat ik zeer zorgvuldig moet zijn met het bedanken. Ik ga jullie niet verder persoonlijk bedanken, maar ik vind het geweldig dat jullie hier allemaal zijn. Wel een persoonlijk dankwoord en grote waardering voor al mijn PhD- studenten die ik afgelopen jaren heb mogen begeleiden en die prachtige proefschriften hebben afgeleverd. Bedankt: Remko, Hugo, Emmy, Brian, Vincent, Marloes, Jiefei, Carina, David, Remon en Iris. En heel veel succes voor de PhD studenten die nu bezig zijn aan de UU en OU. Jullie zijn een elftal met hele verschillende talenten. Heel veel sterkte voor Svenja, Feroz, John, Marc, Dominique, Joanke, Poornima, Stef en Borjana.

Afsluitend natuurlijk veel dank aan mijn ouders, familie en vrienden. Het is fantastisch dat jullie hier zijn. Sommige vrienden die hier aanwezig zijn ken ik al vanaf mijn middelbare school. En natuurlijk ook bedankt Wessel, Freek en Koosje. Jullie hebben mijn leven op zoveel manieren verrijkt en ook de wetenschap op zoveel manieren gerelativeerd.

Ik heb gezegd.

Referenties

- Alcamo, J., 2019. Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 36, 126–140. doi:10.1016/j.cosust.2018.11.005
- Chen, C., Park, T., Wang, X., Piao, S., Xu, B., Chaturvedi, R.K., Fuchs, R., Brovkin, V., Ciais, P., Fensholt, R., Tømmervik, H., Bala, G., Zhu, Z., Nemani, R.R., Myneni, R.B., 2019. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nat. Sustain.* 2, 122–129. doi:10.1038/s41893-019-0220-7
- D’Odorico, P., Laio, F., Porporato, A., Ridolfi, L., Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I., 2010. Ecohydrology of Terrestrial Ecosystems. *Bioscience* 60, 898–907. doi:10.1525/bio.2010.60.11.6
- de Boer, H.J., Lammertsma, E.I., Wagner-Cremer, F., Dilcher, D.L., Wassen, M.J., Dekker, S.C., 2011. Climate forcing due to optimization of maximal leaf conductance in subtropical vegetation under rising CO₂. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 4041–4046.
- Dermody, B.J., Sivapalan, M., Stehfest, E., van Vuuren, D.P., Wassen, M.J., Bierkens, M.F.P., Dekker, S.C., 2017. A framework for modelling the complexities of food and water security under globalisation. *Earth Syst. Dyn. Discuss.* 1–27. doi:10.5194/esd-2017-38
- Dooge, J.C.I., 2003. The Basis of Civilization •–Water Science? (Proceedings of the UNKSCO/IAHS/IWIAA symposium held in Rome 286.
- Eagleson, P.S., 1982. Ecological optimality in water-limited natural soil-vegetation systems 1. *Water Resour. Res.* 18, 325–340
- ST-Ecological optimality in water-limit.
- Evaristo, J., Kim, M., van Haren, J., Pangle, L.A., Harman, C.J., Troch, P.A., McDonnell, J.J., 2019. Characterizing the Fluxes and Age Distribution of Soil Water, Plant Water, and Deep Percolation in a Model Tropical Ecosystem. *Water Resour. Res.* doi:10.1029/2018WR023265
- Falkenmark, M., Wang-Erlandsson, L., Rockström, J., 2019. Understanding of water resilience in the Anthropocene. *J. Hydrol. X* 2. doi:10.1016/j.hydroa.2018.100009
- Gerland, P., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B.K., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., 2014. World population stabilization unlikely this century. *Science* (80). 346, 234–236.
- Hoekstra, A.Y., Wiedmann, T.O., 2014. Humanity’s unsustainable environmental footprint. *Science* 344, 1114–1117.
- Lindauer, M.S., 1993. The span of creativity among long-lived historical artists. *Creat. Res. J.* 6, 221–238. doi:10.1080/10400419309534480

- Meadows, D.H., 2009. Thinking in systems: a primer. London; Sterling, VA: Earthscan, 2009. ©2008.
- Rockström, J., Falkenmark, M., Allan, T., Folke, C., Gordon, L., Jägerskog, a., Kummu, M., Lannerstad, M., Meybeck, M., Molden, D., Postel, S., Savenije, H., Svedin, U., Turton, a., Varis, O., 2014. The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience based perspective on water for global sustainability. *Ecohydrology* 1261, 1249-1261. doi:10.1002/eco.1562
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472-475. doi:10.1038/461472a
- Sheil, D., 2018. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle. For. Ecosyst. 5. doi:10.1186/s40663-018-0138-y
- Staal, A., Tuinenburg, O.A., Bosmans, J.H.C., Holmgren, M., Van Nes, E.H., Scheffer, M., Zemp, D.C., Dekker, S.C., 2018. Forest-rainfall cascades buffer against drought across the Amazon. *Nat. Clim. Chang.* 8. doi:10.1038/s41558-018-0177-y
- Tuinenburg, O.A., van der Ent, R.J., 2019. Land Surface Processes Create Patterns in Atmospheric Residence Time of Water. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 583-600. doi:10.1029/2018JD028871
- Zhang, J., Mehner, W., Andresen, E., Holl, S., Boltes, M., Schadschneider, A., Seyfried, A., 2013. Comparative Analysis of Pedestrian, Bicycle and Car Traffic Moving in Circuits. *Procedia – Soc. Behav. Sci.* 104, 1130-1138. doi:10.1016/j.sbspro.2013.11.209
- Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R.B., Huang, M., Zeng, Z., Canadell, J.G., Ciais, P., Sitch, S., Friedlingstein, P., Arneeth, A., Cao, C., Cheng, L., Kato, E., Koven, C., Li, Y., Lian, X., Liu, Y., Liu, R., Mao, J., Pan, Y., Peng, S., Peuelas, J., Poulter, B., Pugh, T.A.M., Stocker, B.D., Viovy, N., Wang, X., Wang, Y., Xiao, Z., Yang, H., Zaehle, S., Zeng, N., 2016. Greening of the Earth and its drivers. *Nat. Clim. Chang.* 6, 791-795. doi:10.1038/nclimate3004



Prof. dr. Stefan Dekker (1970) studeerde fysieke geografie aan de Universiteit van Amsterdam en promoveerde in 2000 bij het instituut voor biodiversiteit en ecosysteem dynamica (IBED) aan dezelfde universiteit met als titel 'Modelling and monitoring forest evapotranspiration: behaviour, concepts and parameters'. Vanaf 2000 werkt hij aan de Universiteit Utrecht als universitair docent en universitair hoofddocent en was visiting-professor bij het Max Planck Instituut in Hamburg en aan de Exeter University. In 2017 werd hij benoemd tot deeltijd hoogleraar 'Integrated Environmental Modelling' bij de Open Universiteit. Per 1 november 2018 is hij benoemd als hoogleraar Mondiale Ecohydrologie en Duurzaamheid bij het Copernicus Instituut voor duurzame ontwikkeling aan de Faculteit Geowetenschappen van de Universiteit Utrecht. Vanuit deze functie is hij nu onderwijsdirecteur.

