



# Vaste aarde, vluchtige economie, een grensvlak of een mengsel?

*prof.dr.ir. Jan E. Vermaat*

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Aarde en Economie, aan de faculteit der Aard- en Levenswetenschappen en de faculteit der Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde op 25 januari 2011.*



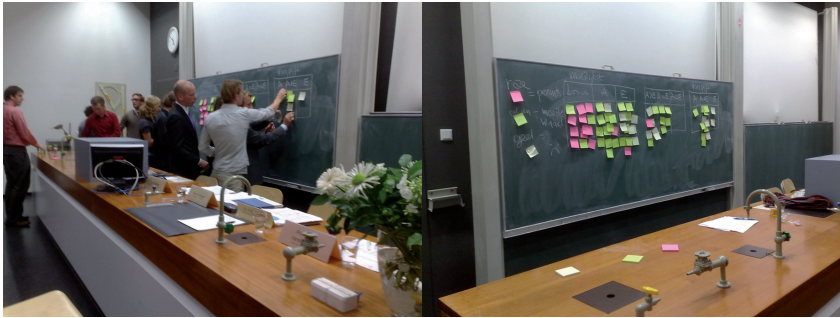


## Inleiding

Mijnheer de rector, geachte decanen der faculteiten Aard- Levenswetenschappen en Economische Wetenschappen en Bedrijfskunde, gewaardeerde collega's van Aardwetenschappen, Ruimtelijke Economie en het IVM, op de VU en daarbuiten, lieve vrienden en familie,

Diegenen die vóór mij deze rite doorgemaakt hebben zullen iets dergelijks gevoeld hebben, dat mengsel van voldoening en blijde verrassing maar ook ontzag voor de verantwoordelijkheid die het woord leeropdracht impliceert, plus natuurlijk die spanning van dit specifieke moment. Ik hoop dat ik vooral die verrassing mag vasthouden de komende jaren. Te midden van intelligente jonge mensen die zich aardwetenschappelijk èn economisch ontwikkelen zou dat toch geen probleem moeten zijn. Ik noem hier met nadruk beide disciplines nog even apart. De profielschets die ik er nog maar eens op heb nagelezen, rept van één onderzoeksveld, het 'joint field of earth systems and economics'. De empirie van bijvoorbeeld het raadplegen der zusterfaculteiten laat zien, dat deze combinatie tot nu toe ongebruikelijk is. Zelf ben ik overtuigd van het nut, en heb ik een visie op hoe we het speelveld tussen die disciplines productief kunnen inrichten, maar of ik er werkelijk al genoeg kijk op heb weet ik nog niet zo zeker. Daarom zou ik daarover ook graag juist het debat willen blijven voeren, ook al is dat wellicht een werkvorm uit een vorige eeuw. Mijn titel zegt het al met zoveel woorden, 'grensvlak of mengsel?', en dat vraagteken is niet gemakzuchtig of retorisch bedoeld.

Deze openbare rede wil ik beginnen met enige achtergrond en met een rechtvaardiging van de opleiding 'Aarde en economie', het 'waarom eigenlijk'. Daarna schets ik mijn kijk op hoe die disciplines in elkaar zouden kunnen grijpen, en op wat ze mijns inziens gemeenschappelijk hebben. Dit leidt naar de richting waar ik denk dat ik als onderzoeker wat kan bijdragen. Vervolgens leg ik drie recente onderzoeksprojecten langs die maatlat en analyseer hoe dat, of beter nog, dat dat wonderwel bij mijn perspectief op aarde-en-economie past. Ten slotte kom ik terug bij de profielschets en wil ik ingaan op de vraag hoe ik door samenwerking ambities en mogelijkheden probeer te verbinden.

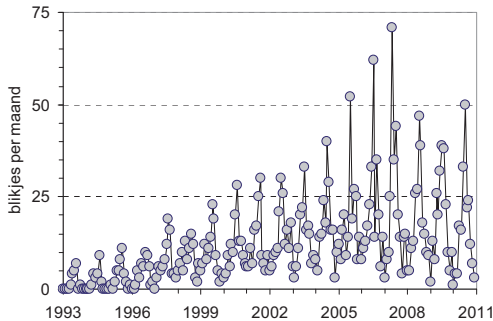


Figuur 1. Stickersessie diploma-uitreiking BSc Aarde en economie 10 november 2010. Van links naar rechts: vraag 1, geef aan voor de basisvakken, de aardwetenschappelijke en de economische vakken of je ze makkelijk ('peanuts', roze), de moeite waard (groen) of te zwaar vond (☹, geel); vraag 2, wat overheerste het programma, aardwetenschappen of economie, vraag 3, voel je nu uiteindelijk meer econoom, aarde-en-econoom of aardwetenschapper?

## Achtergrond en rechtvaardiging: echte problemen

Aarde en economie is een nieuwe bachelors- en mastersopleiding die zijn bestaansrecht inmiddels wel bewezen heeft door de warme belangstelling onder studenten. Dat is een comfortabele constatering. Blijkbaar weten we nu al weer een paar jaar ruim voldoende eerstejaars te overtuigen. Zij wagen toch een gok en ik denk dat we ze niet teleurstellen. Zo improviseerde ik afgelopen november een stickersessie als intermezzo bij de Bachelors-diploma uitreiking met als laatste vraag 'voel je nu uiteindelijk meer econoom, aarde-en-econoom of aardwetenschapper?'. Het antwoord van dit cohort spreekt boekdelen (fig. 1). De missie van Mark Bokhorst, Mathilde Molendijk, Frank Bruinsma, Piet Rietveld, Jef Vandenberghen en al die docenten die deze bachelor vorm geven mag geslaagd genoemd worden.

Maar de opleiding is natuurlijk ook ontsproten uit een pragmatisch marktperspectief. De vraag moet enige jaren geleden geweest zijn hoe men met een nieuwe opleiding een nieuwe studentenstroom kon aanboren, en waar die dan thematisch geïncorporeerd zou worden. Hoe pragmatisch de keuze ook was, persoonlijk vind ik ze inspirerend en misschien zelfs wijs. Mijn persoonlijke beroepspraktijk op het IHE en het IVM heeft me geleerd dat bijna alle maatschappelijke problemen meervoudig zijn. Dit betekent dat er meer disciplines nodig zijn om ze te analyseren en vervolgens, gegeven de politieke wil en de economische middelen, op te lossen. Simpele problemen zijn namelijk nauwelijks echte problemen. 'Wicked problems' noemt de literatuur (Rittel en Webber, 1973; Hisschemöller, 1993; Goosen et al., 2007) wat ik hier als echte problemen betitel.



Figuur 2. De blijjesindex van Rob Bijlsma (2006): het aantal gevonden blijjes, pakjes en flesjes per maand per jaar (1993-nu) verzameld langs de Doldersummerweg op Berkenheuvel, West Drenthe. Bijlsma verzamelt nog steeds langs diezelfde weg en mailde me op verzoek zijn recentste data (van die dag!) met de wat spijtige constatering dat anderen sinds 2008 ook afval verwijderden langs zijn traject en dus helaas zijn onderzoek verstoren.

Laat ik als voorbeeld zwerfvuil langs de weg nemen, al die verfrommelde blijjes energiedrank in het gras. De ingenieur bedenkt wellicht composteerbare blijjes, de milieu-econoom statiegeld of een andere perfecte, niet-perverse prikkel, de politicus roept strenger straffen en (b)lik-opstuk, en de psycholoog ziet wellicht peer-pressure bij adolescenten. Maar ondertussen gebeurt er niets en ziet Rob Bijlsma (2006, fig. 2) het fietspad langs zijn huis al een decennium lang steeds verder vervuilen. Hij draagt zijn steentje bij door dag-in-dag uit dat afval in zijn fietstas te doen en verdient meer dan onze sympathie. Na een analyse van de tijdserie (duidelijke zomerpieken, significante toename met de jaren), moeten we ons denk ik afvragen wie het doet, waarom, en pas dan hoe dit gedrag blijvend veranderd zou kunnen worden. Zodat we, weer gegeven de politieke wil en de middelen, tot een acceptabele oplossing zouden kunnen komen. Als Rob nog even een decennium doormeet zou hij vervolgens ook een belangrijke rol in de evaluatie van het geïmplementeerde beleid kunnen spelen. Meten is immers weten.

Dergelijke wicked problems zijn er te over. Ik stel overigens niet dat meer afgestudeerden in 'Aarde en economie' daarvoor de oplossing zijn. Ik stel wel dat zij veel beter in staat zijn tenminste twee kanten ervan goed, met voldoende diepgang, te doorgronden. Ik meen dan ook dat er niet alleen een markt is aan de aanbodkant van studenten, maar ook aan de vraagkant vanuit de maatschappij. Ingenieursbureaus en wat ik in de geest der tijd maar beleidsbedrijven noem, ze zijn gebaat bij dit soort dubbele deskundigheid. Ik hoop in het nog volgende ook aannemelijk te maken dat het geheel van die dubbele deskundigheid heel goed meer kan zijn dan de delen. Bovendien denk ik dat de onderzoekspraktijk er bij gebaat is.

## Zonder aarde geen economie

Voor ik me in de inter- of transdisciplinariteit verdiep wil ik graag eerst nog even de puntjes op de "i" van kip en ei zetten. Beter gezegd, er is hier geen sprake van kip of ei. De aarde was simpelweg eerst, hoe "aardig" economie ook moge zijn (Pen, 1969). Evolutionair, en dus ook

geologisch, is *Homo sapiens sapiens* met al zijn of haar contereitsels van vuistbijl, via zeilboot tot l-pad er nog maar net, dat is hier voor niemand nieuws. Zonder de mens draaide de aarde haar baantjes, en dat zal ze vast nog geruime tijd blijven doen. Wel wil ik nog onderstrepen hoe afhankelijk wij nu nog zijn van dat systeem dat aarde heet. Dat waren we aan het begin van het holoceen, en dat zijn we nog steeds, hoeveel we met technologische doorbraken of maatschappelijke transitie ook hebben gerealiseerd. Voor ons zuurstof, voor ons water, voor de nutriënten in ons voedsel, en voor onze energiebronnen zijn we afhankelijk van systeem aarde. Hoezeer Malthus en de Club van Rome ook vreesden voor de eindigheid van de natuurlijke hulpbronnen (Meadows et al., 1972; Verstegen, 2003; Turner 2008), in principe is er denk ik nog steeds genoeg voor iedereen. Gegeven de (onvermelde) onzekerheid in de inschattingen van de ecologische voetafdruk, het gewicht dat aan koolstof wordt gegeven (WWF 2010, p 34) en de inhoudelijke en methodische kritiek is anderhalve benodigde aarde volgens mij niet significant verschillend van 1 aarde (vgl. Van den Bergh en Verbruggen, 1999; Franz en Papyraikos, 2010; WWF, 2010). Het is dus 'slechts' een kwestie van ongelijke, oneerlijke verdeling tussen mensen en ook dat was het al heel lang (Ponting, 1992).

De verdeling van natuurlijke rijkdommen over de aarde is tegelijkertijd verre van gelijk. De aarde is hier ronduit onherbergzaam maar iets verderop een letterlijk paradijs, en alles daartussen in. Er valt dus het een en ander aan schaarste te optimaliseren. Dat is goed te zien aan nederzettingenpatronen en landgebruik. Scrollend door het mij fascinerende Google Earth zie je waar nu mensen wonen maar ook waar ze dat vroeger deden, of waar het misgegaan is. Ik vermoed eerlijk gezegd dat de eerste *Homo sapiens sapiens* toch naar beste kunnen economisch is omgegaan met schaarse hulpmiddelen. De paleolithische Magdalenien-mens wist zich tijdens de laatste ijstijd de weelde te verwerven van met vuur verwarmde grotten nabij stromend water en gunstige jachtvelden of handige hinderlagen langs rendiertrekroutes (Fagan 1990), en legde dat vast in indrukwekkende grotschilderingen.

Vanaf het moment dat de mens planten en dieren ging domesticeren veranderde economisch overleven op aarde in de aarde naar je hand zetten. Dat lokatie daarbij een cruciale rol speelt wil ik hier aan de hand van een interessante publicatie onderstrepen. Hibbs en Olsson (2004) beginnen hun stuk plompverloren: 'The prosperity of nations varies enormously... How can this .. be explained?' Ze testten vervolgens de hypothese dat initiële, biogeografische rijkdom van een regio bij de neolithische transitie naar landbouw bepalend is voor de daaropvolgende ontwikkeling en uiteindelijke welvarendheid van een land. Olsson en Hibbs (2005) noemen het in een uitgebreidere analyse van dezelfde dataset de 'prehistoric productive potential'. Ze laten zien dat het huidige bruto nationaal product van een steekproef van 112 landen nog steeds voor de helft verklaard wordt door een combinatie van gunstige geografische setting en de beschikbaarheid van domesticeerbare grote zoogdieren en grassen met grote eetbare zaden ten tijde van de transitie naar landbouw. Een kniesoor, zoals ik, heeft bezwaar tegen de onderlinge afhankelijkheid van de variabelen (Olsson en Hibbs, 2005: hun tabel 4) en tegen de pseudoreplicatie (112 landen, maar slechts 6 regio's op aarde om die transitie archeologisch te schatten). Maar een liefhebber van het grote gebaar, zoals ik toch ook ben, ziet een indrukwekkend patroon (tabel 1). Dat patroon gebruik ik om mijn punt in te kleuren: de boodschap 'zonder aarde geen economie' lijkt ons over de millennia heen nog steeds toe te

Tabel 1. Regressies tussen bruto nationaal product (GDP, 1997), geografische gesteldheid<sup>a</sup>, biogeografische rijkdom<sup>b</sup>, transitie naar sedentaire landbouw<sup>c</sup> en kwaliteit van instituties<sup>d</sup> van 112 landen (uit tabel 3 in Hibbs en Olsson, 2004; originele getallen, uitgebreidere toelichting en statistische analyse in Olsson en Gibbs, 2000). Alle variabelen behalve GDP zijn gestandaardiseerd. Gepresenteerd worden regressie-coëfficiënt  $\pm$  1 standaardfout, de significantie van deze coëfficiënt (p), en de verklaarde variatie door het model ( $r^2$ -bijgesteld = adjusted).

Afhankelijke variabele (y):	Biogeografische rijkdom	Transitie naar landbouw	Log GDP	Log GDP	Kwaliteit instituties	Log GDP
Verklarende variabelen (x):						
Geografische gesteldheid	1.63 $\pm$ 0.08 (0.00)	4.71 $\pm$ 0.23 (0.00)	2.04 $\pm$ 0.18 (0.00)	-	0.63 $\pm$ 0.07 (0.00)	0.53 $\pm$ 0.03 (0.06)
Transitie naar landbouw	-	-	-	-	-	2.50 $\pm$ 0.04 (0.00)
Kwaliteit instituties	-	-	-	0.05 $\pm$ 0.20 (0.00)	-	0.04 $\pm$ 0.01 (0.00)
$r^2$ -bijgesteld	0.79	0.78	0.52	0.67	0.43	0.80

<sup>a</sup>Geografische gesteldheid is bij Hibbs en Olsson samengesteld uit een vierpunts Köppen klimaatsindicator, de absolute afstand tot de evenaar en de oost-west orientatie van een continent.

<sup>b</sup>Prehistorische biogeografie is een combinatie van het aantal wilde domesticeerbare grassen (zaad > 10 mg) en dieren (>45 kg). Dit levert 8 onafhankelijke plant-dier combinaties op met een maximum van 33 grassen en 9 zoogdieren in westelijk Eurazië en geen van beide in de Pacific.

<sup>c</sup>moment van transitie naar sedentaire landbouw is geschat uit een gefitte nonlineaire curve voor 6 onafhankelijke regio's met een archeologisch onderbouwd begin van sedentaire landbouw (in 1000 jaar sinds 12000 BP)

<sup>d</sup>kwaliteit van instituties is een combinatie van vijf indicatoren: kwaliteit van de bureaucratie, wetshandhaving, corruptie, risico van onteigening en betrouwbaarheid van overheidscontracten.

spreken. Maar er is nog een tweede belangrijk punt in deze analyse: institutionele kwaliteit is minstens even belangrijk. Samen verklaren ze 80% van de totale variatie in de huidige economische productiviteit, apart verklaren ze elk de helft tot tweederde. Institutionele kwaliteit wil zoveel zeggen als wetshandhaving, betrouwbare bureaucratie, en geordende markten. Die variatie in welvaart tussen naties kan dus in elk geval goed verklaard worden en er is een indrukwekkende hoeveelheid aan economische literatuur die zich hier over buigt (bijv. Hall en Jones, 1999; Easterly en Levine, 2003). Nu besef ik terdege dat correlatie niet noodzakelijkerwijs causaliteit inhoudt, en ook dat ik zelf een wellicht enigszins bevooroordeelde voorliefde heb voor dit soort ogenschijnlijk simpele empirische analyses. Je moet je geregeld in nare bochten wringen voor plausibele indicatoren maar uiteindelijk 'heb je dan ook wat'. Dan vind je significante verbanden met een  $r^2$  van 50% en schrijft tevreden een artikel (bijvoorbeeld Vermaat en Bouwer, 2009). Maar dan tref je een nare kritische referent die allergisch is voor multivariate analyses en je hele kaartenhuis valt in duigen (ook hier kan ik invullen: Vermaat et al., in prep). Dat overkwam Hibbs en Olsson (2004) blijkbaar niet. Het zei ze gegund, alleen al vanwege het debat over het belang van locatie versus instituties voor het ontwikkelen van maatschappelijke welvaart. Dat we iets over mogelijke oorzaken weten betekent voor mij dat we ook over de richting van de oplossingen moeten nadenken. De vraag is gerechtvaardigd of die dan liggen op het vlak van klimaat en bodemvruchtbaarheid of op dat van wet en markt.



## Onderzoeksperspectieven op de wisselwerking tussen aarde en economie

Ook al is er een historisch argument om de aarde prioriteit te geven, zoals hierboven uiteengezet, dat is niet automatisch het gunstigste onderzoeksperspectief. De precieze bedoeling van 'gunstig' laat ik hier uit louter ambivalentie in het midden, het zou eigenlijk om inzicht en verdieping moeten gaan, maar kan ook pragmatisch gericht zijn op geld of bureaucratische positie. Ik onderscheid drie perspectieven, simpelweg om een kader te schetsen, te weten dat van 'pluk-ze', dan van 'de aarde geeft' en dat van de 'vinox-tuintjes'. Let wel, het gaat me om een uitgangspunt en motivatie voor de ontwikkeling van een onderzoekslijn.

Het eerste perspectief, 'pluk-ze', is antropocentrisch, de economie is leidend. De aarde is gebruiksruimte waaruit de mens neemt wat van zijn of haar gading is. Die gebruiksruimte heeft zeker waarde. Een rationeel, optimaal in de zin van duurzaam, gebruik van natuurlijke hulpbronnen is het ultieme utopia van homo economicus. Plukken uit de grote gebruiksruimte die de aarde biedt kan uitstekend duurzaam zijn. We gebruiken als wereldbevolking immers nog slechts anderhalve aarde als onze ecologische voetafdruk? Het onderzoek zou zich dan moeten richten op de vraagstukken van een verduurzaming van het gebruik van bijvoorbeeld visbestanden (maximum sustainable yield), water, energie of hout. Ook aan het duurzaam oogsten van het nieuwe scharrelvlees van bijvoorbeeld ganzen, Heck-runderen of damherten kan interessant onderzoek worden gedaan in dynamische, grootschalige natuurgebieden waar de politiek of de publieke opinie gericht afschot van zwakke dieren humaan vindt. Het concept van ecosysteemdiensten, dat door de Millennium Ecosystem Assessment (2005) zo nadrukkelijk op de kaart is gezet, past wonderwel bij dit perspectief. Het treft dat Pieter van Beukering en ik er al een MSc cursus over hebben ingericht, maar meer nog dat ook het onderzoek ernaar al in volle gang is en in het Amsterdam Global Change Instituut een belangrijk thema is. Ik hoef hier slechts te verwijzen naar de oratie van Roy Brouwer (2010). Zijn titel 'payments for ecosystem services, making money talk' is veelzeggend.

Het tweede perspectief, 'de aarde geeft', stelt juist de aarde centraal. Die aarde kan een soort Gaia a la Lovelock zijn, een moeder aarde die misschien wel als een superorganisme de mensheid koestert, of die wellicht ook uitstekend voort kan zonder de mens. Nadat het antropoceen is afgelopen gaat de aarde over tot de orde van de dag. Als alternatief voor Gaia zou ook een 'grand unifying theory' kunnen dienen, zoals de 'new physics of society' waarvan Phillip Ball (2004) de contouren schetst rond kansverdelingen van bewegende deeltjes, zelforganisatie, groepsgedrag en chaos. Alleen al voor de aforismen en citaten is Ball het lezen meer dan waard. Wat dacht u van dit dat hij van een Welshe fysisch-chemicus heeft, Moelwyn-Hughes: "Energy among molecules is like money among men. The rich are few, the poor numerous."<sup>1</sup> Maar het kan denk ik ook prima zonder superorganisme of supertheorie en de nadruk zou dan liggen op het systeem aarde met alle grootschalige fluxen en terugkoppelingen.

---

<sup>1</sup> Ogenscheinlijk gelijke, verbluffend parallelle patronen zijn (Rietkerk en Van de Koppel, 2008) geen garantie voor gelijke onderliggende mechanismen. Ball (2004) schrijft dan ook genuanceerd dat de gereedschapskist van de fysica ook lijkt te werken om sociale processen te beschrijven en mogelijk te analyseren. Illustratief is de 'ontdekking' van fractale geometrische verhoudingen in allerlei vakgebieden, of de afwisseling van chaos en orde in 'systemen' van uiteenlopende aard en schaal waar Ball uitgebreid op in gaat.

Als empiricus met een beperkte fantasie, of denkraam zo u wilt, houd ik het daar eerlijk gezegd ook liever bij. Dit is meer dan aangeleerde en wellicht wat valse bescheidenheid. Eenvoudige, rechtlijnig geformuleerde hypothesen zijn beter toetsbaar en dus ook beter verwerpbaar dan de complexe constellatie van een grote theorie. Logische inbedding zou dan gezien mijn publicatieverleden liggen bij de oceanografen, marien biologen, hydrologen en klimatologen bij aardwetenschappen. Het zou interessant zijn om bijvoorbeeld de analyses van (met name mariene) voedselwebben die Alison Gilbert (vgl. Vermaat et al. 2009) en ik doen, te koppelen aan de koolstof-, water- en sedimentbudgetten van onze collega's.

Het derde perspectief, dat van de 'vinex-tuintjes', wil beide eerste combineren door op de heg tussen de tuintjes te blijven zitten. Economie en aardwetenschappen zijn namelijk twee aparte disciplines die twee verschillende werkelijkheden met hun eigen gereedschapskisten te lijf gaan. Alleen waar nodig vindt uitwisseling plaats en wij van Aarde en Economie zullen vooral daar aanwezig zijn, want daar worden we geduld. Per slot zijn aardwetenschappen en economie niet alleen op de VU twee faculteiten en zijn de culturen verschillend, inclusief tijdschriften, citatie-cultuur en bijbehorend niveau van de H-index, de vigerende kwantitatieve indicator van kwaliteit<sup>2</sup>. Toch schets ik het nu wel wat erg zwart, want 'alleen daar waar uitwisseling plaats vindt', daar op of in die brede ligusterheg is precies waar ik juist graag zou willen opereren. De nadruk zou daar moeten liggen op de relaties maar vooral op de interacties, de wisselwerking. Wat gebeurt daar nou precies in die heg? Daar is het disciplinaire grensvlak en daar vindt die menging plaats, die woorden die ik niet voor niets in mijn titel heb opgenomen.

Ik ben niet deskundig in interdisciplinaire wetenschapsdynamica, maar heb wel enige praktijkervaring. Die ervaring was variabel: Babylonisch langs elkaar heen praten, dicteren van de waarheid door een autoriteit, verward luisteren en doorvragen, je mail bijwerken terwijl de voorzitter de agenda afwerkt, noem maar op. De twee beste projecten waren empirisch en resultaatgericht (Hinkel en Klein, 2009; Langmead et al., 2009) en ze combineerden economie, aardwetenschappen en ecologie op vruchtbare wijze. Er gebeurde van alles in de heg tussen die disciplines en er was waardering en begrip. Dat laatste is denk ik vrijwel een voorwaarde. Als aan die conditie voldaan is, kan je gaan filosoferen over de ideale vorm waarin zo'n samenwerking dan gegoten zou kunnen worden. Ik denk dat dat van het doel afhangt. Cursorisch onderwijs, het trainen van jonge onderzoekers of in een team van 'erkende' experts (H-index > 10) een onderzoeksvraag bewerken vragen om andere vormen. Mengen en roeren is dan niet altijd de beste aanpak. Om een biologisch voorbeeld van stal te halen: het

---

<sup>2</sup> Meer is beter: 'You will like it more because there is more of it to like' (pers. mededeling Michiel Hootsmans). De H-index is bedoeld als een maat voor de productiviteit van een publicerende wetenschapper en het effect (de 'impact' geturfd als citaties) van die artikelen. De H-index is dat artikel in een op aantal citaties gesorteerde lijst dat in rangorde gelijk is aan zijn citaties. Zie Hirsch (2005) en vooral Kelly en Jennions (2006) voor een weloverwogen analyse. Ik zie liever 'divers is beter'. Ik denk dat de beste onderzoeksgroepen zowel publicatiekanonnen huisvesten als bevolgen, inspirerende docentes, maar ook straatvechtsters in de interne bureaucratie, handige geldvindsters, nijvere rekenaressen en welbespraakte media-communicatrices. Daar is dus ruimte voor jong en oud, vrouw en man, en tijd voor inhoudelijk debat. Ik vind ook de nadruk op kwantitatieve evaluatie van 'output' verschralend en de frequentie van beoordelingen verlamdend door de extra bureaucratie die het oplevert waardoor het zicht op de kerntaken onderzoek en onderwijs belemmert wordt.

tegenstroomprincipe heeft zich voor een optimale uitwisseling evolutionair bewezen. Twee vloeistoffen die tegen elkaar in stromen gescheiden door een permeabel membraan: optimale uitwisseling verzekerd! Denk aan uw nieren, de placenta, maar ook aan de warmtewisselaar in uw CV-ketel. Maar meestromen, zoals de Amazone en Rio Negro bij hun confluente, zou misschien ook helemaal geen gek model zijn. Zeker als we de tijd hebben om van elkaar te leren. Ik hoop dat ons als groep in de kinderschoenen de tijd gegund wordt om daaraan verkennenderwijs te bouwen. Samen lesgevend aan A&E studenten merk ik dat dat eigenlijk best goed gaat. Of we er in zullen slagen om de disciplines ook voor het onderzoek intensief te mengen of dat het eerder beperkt blijft tot interacties over een grensvlak, dat lijkt me uiteindelijk niet doorslaggevend, als we die interacties maar kunnen bestuderen. Daarbij zal nu eens het aardwetenschappelijk perspectief dominant zijn en dan weer de economische kant.

Omdat ik het veelbelovend en veelzijdig vind ben ik begonnen met ecosysteemdiensten als uitgangsperspectief op die grens tussen aardwetenschappen en economie. Ecosysteemdiensten behelzen de baten die ecosystemen de mens bieden, uiteenlopend van voedsel tot geestelijk welbevinden. Ik zal mijn kijk er op later verder uitwerken maar voeg er hier de specificerende vraag aan toe 'waar wordt die dienst precies verleend, door wie of wat en hoe dan?' Met nadruk bedoel ik hier met ecosysteem het hele 'systeem aarde', dus de hardere en zachtere lithosfeer, de hydro- en de atmosfeer, met de biosfeer daar tussendoor geplooid. Goudsblom (2001) reserveerde het woord 'antroposfeer' voor 'dat deel van de biosfeer dat de sporen draagt van menselijke invloed, van de werking van menselijke regimes', het lijkt me consistent om dat tot het gehele systeem aarde uit te breiden.

De vraag naar het 'waar precies' maakt het in elk geval direct ruimtelijk, en dat levert een nuttig samenwerkingsperspectief op, bijvoorbeeld met de groep Klimaatverandering en Landschapdynamiek van Hans Renssen, met de afdeling Ruimtelijke Economie van Piet Rietveld, met mijn oude afdeling SPACE op het IVM, waar Peter Verburg zijn ruimtelijke modeller-ervaring met CLUE en EU-RURALIS (Verburg et al., 2008) voortvarend heeft ingezet, maar ook met de ontwikkelaars en gebruikers van de Land-Use-Scanner (bijv Eppink et al., 2008). Die 'waar precies' vraag raakt ook aan het schaalprobleem (Dungan et al., 2002). Zowel ecologen als aardwetenschappers hebben vergelijkbare ruimte-tijd diagrammen gemaakt (vgl Dooge, 1986; Harvey, 1990; Holling, 1992 en Skøien et al., 2003). Meestal zijn die log-log, want daar wordt alles vaak prettig lineair van. Of de schaal waarop economische processen plaatsvinden daarbij past is niet direct duidelijk. Jordan en Fortin (2002) stellen onomwonden: "Economic scale, from a sustainability paradigm, should, therefore, incorporate spatial and temporal dimensions as they are constrained by geophysical and ecosystem processes." Met onder andere Jeroen van den Bergh heb ik geprobeerd dit empirisch te analyseren (Vermaat et al., 2005). Eerlijk gezegd kwamen we niet zo erg ver. We vonden dat het vooraf aan-elkaar-passen van schaal (dat wil zeggen 'extent' en 'grain', wat ik hier vertaal met reikwijdte<sup>3</sup> en resolutie) zelden expliciet gebeurt, en vaak gedecideerd werd door de beschikbare gegevensbestanden. De reikwijdtes in onze steekproeven van regionale economische en landschapsecologische studies verschilden niet significant (medianen 59 km, n=24 versus 14

---

<sup>3</sup> Ik vind reikwijdte een mooiere vertaling voor extent dan het minder zeggende omvang.

km,  $n=55$ ,  $p=0.10$ ), maar de ondergrens van de eerste groep lag aanmerkelijk hoger ( $>10$  km). Juist die beschikbaarheid van gegevens is voor mij een belangrijk argument om dat onderzoek naar ecosysteemdiensten op de schaal van het landschap en het stroomgebied uit te willen voeren (grofweg van 10-1000 km). Op die intermediaire schaal is het mogelijk om zowel binnen als tussen studie-gebieden voldoende variatie terug te vinden in zowel economische als aardwetenschappelijke data bestanden en die op onze eigen manier opnieuw te ordenen en te analyseren (vgl. Vermaat et al., 2007; McQuatters-Gollop en Vermaat, geaccepteerd). Ik denk dat de realiteit die Vermaat (1968) deed verzoeken dat de economische wetenschap helaas slechts een 'geringe mogelijkheid had de opgestelde theorieën afdoende aan het feitenmateriaal te toetsen' achter ons ligt. Op deze ruimtelijke schaal zijn er getallen te over om economie en aardwetenschappen vruchtbaar met elkaar te confronteren, ook als ecosysteemdiensten als trefwoord zijn glans wellicht heeft verloren. Overigens houdt de aarde niet op bij de kust, ook kustzeeën hebben stroomgebieden (Radach en Pätsch, 2007) en de wereldzee bedekt 70% van ons aardoppervlakte. In die zee liggen eilanden. Qua studie-opzet is een archipel wel enigszins te vergelijken met een reeks stroomgebieden: redelijk vergelijkbaar, niet te groot, aanwijsbaar, afgegrensd en toch ook weer verschillend<sup>4</sup>.

## Verkenning van gemeenschappelijkheid, wat delen aardwetenschappen en economie?

Zojuist sprak ik over verschillende disciplines met hun eigen onderzoekswerkelijkheid en gereedschapskisten. Ze hebben toch ook nog wel iets gemeenschappelijk? Vanuit een historisch perspectief is het antwoord natuurlijk "ja zeker". Gaan we lekker ver terug, dan zien we hoe de

Table 2. Een illustratieve selectie van sleutelpersonen voor de ontwikkeling van de wetenschap in de Gouden Eeuw en de Verlichting, waarin aardwetenschappen en economie eerst nog gebroederlijk samen opgingen, en de titel van hun belangrijkste<sup>a</sup> publicatie. Bronnen: Brinton et al. (1970), Edwards-Jones et al. (2000), Ball (2004).

Thomas Hobbes (1588-1679)	Leviathan (1651)
Rene Descartes (1596-1650)	Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences (1637)
Blaise Pascal (1623-1662)	Pensées (1669)
Christiaan Huygens (1629-1695)	De ratiociniis in ludo aleae = Van reekening in spelen van geluck (1657)
Isaac Newton (1642-1727)	Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687)
Gottfried von Leibnitz (1646-1716)	Explication de l'arithmetique binaire (1703)
Francis Quesnay (1694-1774)	Tableau economique (1759)
Voltaire (1694-1778)	Candide, ou l'optimisme (1759)
David Hume (1711-1776))	Treatise of human nature (1740)
Jean Jacques Rousseau (1712-1778)	Le contrat social (1752)
Adam Smith (1723-1790)	An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations (1776)
Immanuel Kant (1724-1804)	Kritik der reinen Vernunft (1781)
James Hutton (1726-1797)	Theory of the earth, or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe (1788)
Thomas Malthus (1766-1834)	An essay on the principle of population (1798)
Adolphe Quetelet (1796-1874)	Recherches sur lepenchant du crime aux differens ages (1835)

<sup>a</sup> mijn keuze: belangrijk in de zin dat daarmee zowel de samenhang als de uitwaaiering van de wetenschappelijke interesse te illustreren. Ik denk dat de titels boekdelen spreken, zowel door onderwerp, gebruikte taal als woordkeuze.

<sup>4</sup> Wat dacht u van Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog?

pre-kapitalistische (Smith, 2004) Egyptische staat al millennia geleden hydrologie en economie koppelde. Een goed ontwikkelde ambtenarenstand voorzag de farao van een rationeel instrument dat de Nijlstand mat (nilometers; Postel, 1999, die van Elephantine dateert waarschijnlijk van 1600 BC), daaruit de landbouwproductie schatte en de te heffen belasting. Gaan we terug naar het begin van economie en geologie als wetenschap, dan moeten we denken aan de Gouden Eeuw en de Verlichting, de tijd van Adam Smith en Thomas Malthus (tabel 2; en Newton vond al dat hij op de schouders van giganten stond!). Deze heren deelden een soms koortsachtig streven naar dieper begrip en een optimistisch vertrouwen dat ze op rationalistische of empirische wijze overal Newton konden evenaren. Ze zochten een hogere, mechanistische ordening onder alle verschijnselen, inclusief de werking van zoets als de maatschappij. Ball (2004) schijft ergens “.. and for a heady half century or so there seemed to be no demarcations between physics, mathematics, economics, politics and sociology”. Ik wil dan ook benadrukken dat de historische wortels van beide onderzoeksvelden een duidelijk gemeenschappelijk positivistisch perspectief hebben (Frodeman, 1995). Het gaat om analyse van causaliteit in systemen. Die systemen zijn complex, en wellicht daardoor chaotisch in hoe wij ze waarnemen, maar de processen zijn in ultimo mechanistisch en dus voorspelbaar. Die voorspelbaarheid heeft wellicht zijn grenzen, maar is wel een basaal uitgangspunt. Voor die analyse doen we metingen, als rechtgeaarde empirici. De verzamelde gegevens zijn nu eenmaal variabel, zowel door de feilbaarheid van meetapparaat en waarnemer, als door de inherente variabiliteit van onze onderzoeksobjecten. Dus mogen we gelukkig onze toevlucht nemen tot de statistiek (bijvoorbeeld Van Saase, 1990; Zeilmaker, 2008). Ook die statistiek heeft haar oorsprong overigens in de Verlichting (tabel 2)<sup>5</sup>. Door de intermediaire ruimtelijke schaal van landschap en stroomgebied, waar ik eerder al voor pleitte, bestaat de mogelijkheid de gegevens zinvol op te schalen en te aggregeren, al naar gelang het onderzoeksprobleem en beleidsvraagstuk, want er valt simpelweg nog iets te middelen.

### **Onderzoek aan ecosysteemdiensten: oude wijn in nieuwe zakken?**

Het concept ecosysteemdiensten is een containerbegrip dat prima gebruikt en dus ook misbruikt kan worden als kader of rechtvaardiging van onderzoek. Collega's laten dan ook graag de exponentiële toename in de frequentie van het begrip in titels van wetenschappelijke artikelen zien (Fisher et al., 2009). Ik herinner me nog goed hoe de groep Europese kustecologen, waar ik toen als IHE-er deel van uitmaakte (o.a. Duarte et al., 1994; Wesseling et al., 1999; Kamp-Nielsen et al., 2002), het artikel van Costanza et al. (1997) met gejuich ontving. Dat gebeurde wel wat lacherig omdat ons onderwerp, zeegrassen, mangroves en koralen, er zo prettig gunstig vanaf kwam. “Begrijpt u nou, daarom doen wij er onderzoek aan, die systemen zijn namelijk uiterst waardevol, zelfs economisch!” Costanza's citatie-hit kwam overigens niet uit de lucht vallen (Turner et al., 1988). Maar inmiddels meen ik het ten volle. Ik wil het gebruiken om als een ruimzittende jas dat 'aarde-en-economie' onderzoek in te kaderen terwijl ik daar in die heg tussen de vinex-tuintjes hang. Ik gaf al aan dat ik me daarbij wil richten op de schaal van het stroomgebied en het landschap. Ik zal aan de hand van drie stukken recent

---

<sup>5</sup> Quetelet is de man van de eerste body mass index maar was eigenlijk vooral een astronoom. Die eerste helft van de 19e eeuw was ook de tijd van Poisson, Fourier en Gauss.

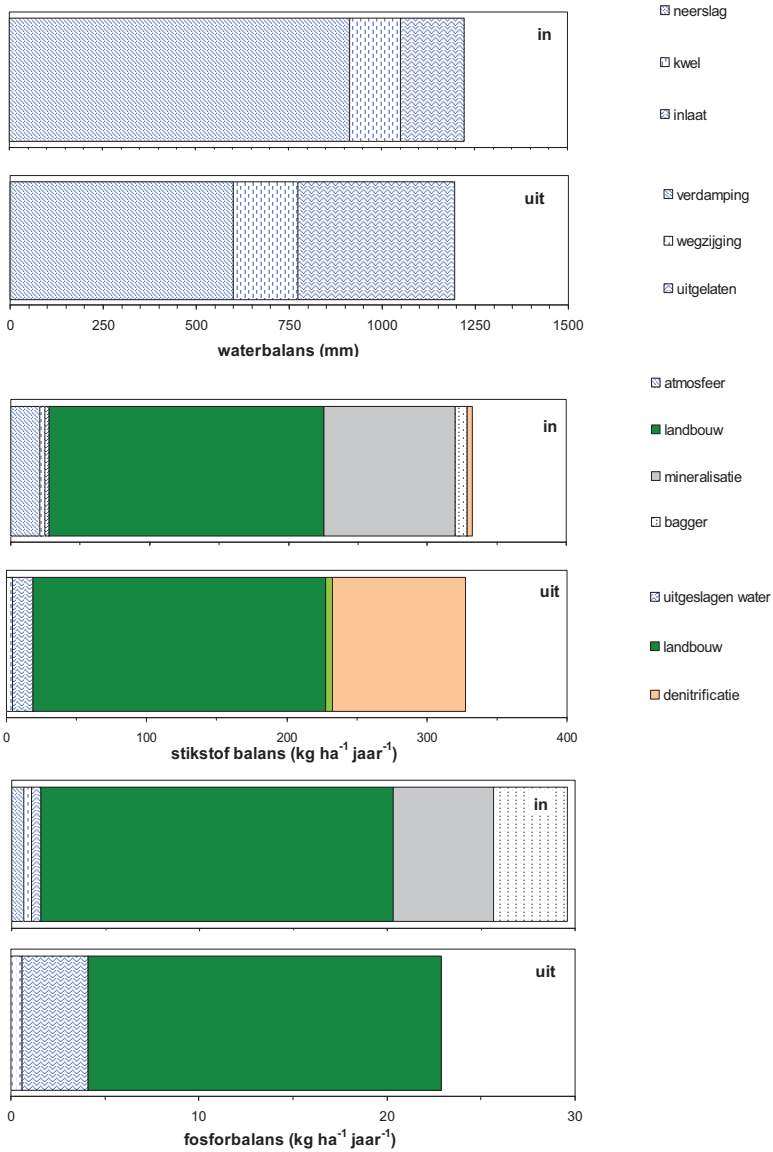
onderzoek laten zien hoe ik die ruimzittende jas denk te gebruiken. Ten slotte leid ik daaruit af op welke manier ik ons onderzoek in de komende 5 jaar wil proberen te positioneren. Die drie onderzoeksprojecten beheldden (a) water- en nutriëntenbalansen van veenweidepolders (Vermaat en Hellmann, 2010), (b) het voorspellen van de stikstofvracht van de Schelde op basis van landgebruik en hydrologie (Vermaat et al., ingediend), en (c) mangrovebossen als kustbescherming. Bij elk project geef ik aan wat er aarde en wat economie aan is, identificeer ik een ecosysteemdienst, vraag ik me af of die dienst in geld uit te drukken is, en stel ik de vraag wie of wat nu waar precies die dienst levert. Bovendien probeer ik bij elk project nog een addertje onder het gras voor het beleid te identificeren.

Voor de typologie van ecosysteemdiensten baseer ik me op de Millennium Ecosystem Assessment (2005). De benadering van ecosysteemdiensten van de MEA bouwt voort op een traditie van pogingen om de waarde van natuur, biodiversiteit of ecosystemen voor de mensheid uit te drukken (bijvoorbeeld Westman, 1977; Turner et al., 1988; De Groot, 1992; Costanza et al., 1997; Balmford et al., 2002)<sup>6</sup>. Al discussiërend met Alison Gilbert en Pieter van Beukering heb laten overtuigen dat we die dienst pas als zodanig benoemen als hij door mensen benut wordt. Wallace (2007) bekritiseert de MEA dat middelen (ecosysteempromessen) en doelen (de dienst) bij de MEA vermengd worden, en Fisher et al. (2009) noemen een benutte dienst een 'final service'. Uitgaande van Fisher et al. (2009) neem ik aan dat alles wat er binnenin de complexe zwarte doos van het ecosysteem gebeurt vast van groot belang is, maar in ultimo pas wordt meegenomen in de 'final service'. Die uiteindelijke dienst proberen we te kwantificeren. Het onderscheiden van 'final services' zou nog wel eens dwars kunnen liggen bij die wat naïeve vraag van mij naar het 'wie of wat en waar precies'. De relaties tussen die 'intermediate services' of zo u wilt functies die zich in die zwarte doos van het ecosysteem afspelen, die vind ik als landschapsecoloog met een geochemische bril op eigenlijk natuurlijk ook interessant. Sterker nog, daarvan zullen we toch wel een zeker minimum van moeten afweten voor we aan modelmatige voorspellingen toe durven te komen. Zo pleiten Fisher et al. (2008) voor het operationaliseren van 'Safe Minimum Standards' voor ecosysteemdiensten die gewaardeerd worden maar waarvan we vermoeden dat de veranderingen niet marginaal zijn (vgl Van Beukering et al., 2003; Bruynzeel, 2004; Ghermandi et al., 2010; maar met name Brander et al., 2010). Fisher et al. (2009) betitelen de MEA als een klarenstoot ('clarion call'), maar pleiten vervolgens voor nijver veldwerk. Het is frappant dat ze daarin niet alleen staan. Veel auteurs herzien het analysekader in min of meerdere mate en spreken vervolgens de vrome hoop uit dat er meer veldwerk of rigoreuzere kwantificering zal plaatsvinden (Balvanera et al., 2006; Naidoo et al., 2008; Daily et al., 2009). Wat mij betreft gaan we ons best doen met dat nijvere veldwerk.

### *Balansen voor veenweidepolders*

Op basis van het uitstekende proefschrift van Christy van Beek (2007), heel veel gegevens van waterschappen en onze eigen GIS- en spreadsheet-analyses hebben Fritz Hellmann en ik geprobeerd de hoofd- en bijzaken te scheiden in de water-, stikstof- en fosforbalansen van

<sup>6</sup> Toegankelijke teksten over het begrip ecosysteemdiensten vind ik Ranganathan et al. (2008) en Melman et al. (2010).



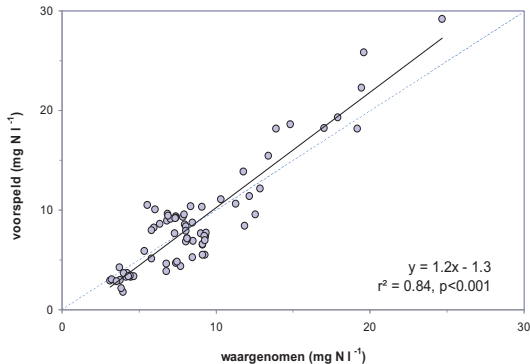
Figuur 3. Gemiddelde water-, stikstof en fosforbalansen in 13 Nederlandse veenweidepolders (aangepast uit Vermaat en Hellmann, 2010).

Nederlandse veenweidepolders. Het ultieme doel was om de mogelijke invloed van klimaatsverandering daarop te schatten. De papers zitten in de pijplijn. Elke polder heeft zijn eigenaardigheden, maar ik concentreer me nu op het gemiddelde beeld rond het jaar 2000 (fig. 3). Om te beginnen is de landbouw, direct via de bemesting en indirect via peilverlaging en mineralisatie verantwoordelijk voor het grootste deel van alle inputs en outputs aan N en P. Relevant voor beleid: gebiedsvreemd water als belangrijke bron lijkt me een eenvoudig te verwerpen hypothese. We vonden ook dat de water- en stikstofbalansen vrij netjes op nul uitkwamen, maar de P-balans niet. In de negen polders die grotendeels in gebruik zijn bij melkveehouders was het verschil  $15 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ . Frappant genoeg bleek dit jaarlijkse surplus goed overeen te komen met de aanrijking aan P die Beltman et al. (2009) onafhankelijk van ons in de bodem van andere veenpolders constateerden ( $700 \text{ kg P ha}^{-1}$  in the bovenste 50 cm bodem in een natuurgebied ten opzichte van  $1400 \text{ kg P ha}^{-1}$  onder melkvee na 50 jaar; Vermaat en Hellmann, 2010).

We verspillen dus fosfor, die blijft hangen aan het adsorptiecomplex in de bodem en door mineralisatie vroeg of laat weer vrij komt. Is dat erg? Het eutrofiëert het oppervlaktewater, en deze polders zijn netto exporteurs van P (fig. 3). Dus vanuit het waterkwaliteitsperspectief van het waterschap is dat inderdaad erg. Maar ook vanuit een duurzaamheids- en marktperspectief zou het beter kunnen. In tegenstelling tot stikstof is fosfor een delfstof met een eindige wereldvoorraad. En die voorraad zit in de aarde, niet in de atmosfeer, zoals bij N, terwijl de landbouw, ook op wereldschaal continu P weglekt naar bodem en oppervlaktewater. Liu et al. (2008) schat dat zo de helft weglekt van wat jaarlijks in fosfaatmijnen gedolven wordt. Bovendien ontbreken al die interessante bacteriële processen zoals nitrificatie, denitrificatie, en N-fixatie. Dus is er weinig ruimte voor slimme biotechnologische innovatie die op recycling is gericht. Net als bij olie is de totale wereldvoorraad P lastig te schatten. Tien landen beschikken over 90 % van de voorraad, maar dit kan 12 en 37 miljard ton zijn en 'Based on current extraction rates and economic conditions in the 1990s, more than half of these countries will have exceeded the life of their reserves in less than 20 years.' (Zapata en Roy, 2004). Dat is natuurlijk oncontroleerbaar cijfergegochel, maar we zullen het ongetwijfeld nodig blijven hebben en de wereldprijzen stijgen al fors (Minemakers Ltd, 2008), zodat eerder onrendabele concessies in Australië commercieel interessant worden. Wat betekent dit voor Nederlandse boeren? Dat de P in kunstmest duurder wordt en het de moeite loont om die P-gift eens extra kritisch tegen het licht te houden, zeker op de lange termijn als de marktprijs voor P aanzwelt. Op wereldschaal betekent het dat het steeds moeilijker zal worden om een groeiende wereldbevolking te voeden, zeker bij een toenemende verwestersing van het dieet (Cordell et al., 2009; Aiking, 2010). Rockström et al. (2009) benadrukken stikstof als problematisch voor wat ze een 'safe-operating-space' noemen voor de wereldbevolking, maar ze zijn in hun tekst minstens zo genuanceerd over P.

Wat is hier nu de aarde en wat de economie? Op wereldschaal is dat samen de handel in de delfstof P. Op de schaal van het veenweidegebied is het belangrijkste aardkundige probleem de mineralisatie van de veenbodems die het gevolg is van de drainage. De economische vraag hoe je in deze polders ook op langere termijn als veehouder nog een redelijke boterham zou kunnen verdienen, is verknoot met de concurrentie om ruimte met andere marktpartijen.



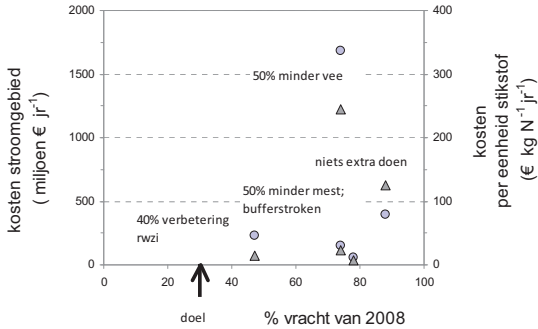


Figuur 4. Met PCRASTER gemodelleerde en waargenomen totaal stikstof-concentraties in Schelde en zijrivieren (uit Vermaat et al., ingediend).

### *Stikstof in het Scheldebekken en estuarium*

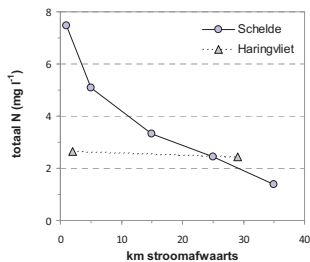
Ook in het Scheldebekken hebben Fritz en ik naar water en nutriënten gekeken. Dit gebeurde in het kader van een EG-project, SPICOSA, in een buitengewoon constructieve samenwerking met collega's van het Vlaamse VITO en van DELTARES. Ons doel was een betrouwbaar ruimtelijk stroomgebiedsmodel te construeren waarmee we alle relevante bronnen van stikstof in het hele stroomgebied inclusief Wallonië, Brussel en Noord-Frankrijk kunnen manipuleren en tegelijkertijd klimaatscenario's meenemen en de kosten van maatregelen schatten. Doel van die maatregelen is kosten-efficiënt de stikstofvracht in rivier en Westerschelde-estuarium terug te brengen. Het schematiseren, koppelen van verschillende modelleerprogramma's en de calibratie hadden wat voeten in de aarde, maar nu hebben we ook wel wat om trots op te zijn (Vermaat et al., ingediend; fig. 4). Eigenlijk was het stadium voor het modelleren nog veel lastiger want we hebben een complex proces van stakeholder-consultation doorgelopen met instellingen uit alle regio's. De uitkomsten van dit model doorgerekende maatregelen verrasten ons toch wel. Om het voor de Kaderrichtlijn geformuleerde doel te halen zijn zeker maatregelen nodig (fig. 5). Interessant genoeg hadden alle ingrepen in het landelijk gebied ongeveer evenveel effect, maar zijn de kosten enorm verschillend of ze nu uitgedrukt worden per stroomgebied of per kg N. In het stroomgebied van de Schelde lijkt een verhoogde aansluiting aan het riool gekoppeld aan een verhoogde efficiëntie van de zuiveringsinstallaties het efficiëntste alternatief. Als je vervolgens het mestgebruik reguleert, of de afspoeling vermindert, komen we aardig in de buurt van ons doel. Verder is het aan de politiek, die uiteraard ook de baten zal meewegen.

De rivier de Schelde mondt uit in het estuarium, de Zeeschelde in België en de Westerschelde in Nederland. Dat estuarium heeft decennia lang gefungeerd als natuurlijke rioolwaterzuiveringsinstallatie (Soetaert et al., 2006), en vervult die ecosystemedienst eigenlijk nog steeds (fig. 6).



Figuur 5. Kosten van verschillende doorgerekende maatregelen ter reductie van de stikstofvracht bij Hemiksem in 2038 vergeleken met 2008, uitgedrukt over het hele stroomgebied (links, cirkels) en per kg stikstof verwijderd (rechts, driehoekjes). Economische kostenschattingen door Steven Broeckx (VITO). Doelvracht is geschat op basis van het criterium voor een goede ecologische toestand voor grote rivieren in Vlaanderen voor de Kaderrichtlijn Water ( $2.5 \text{ mg N l}^{-1}$ ). Hemiksem ligt op de overgang rivier-estuarium van de Schelde. De vracht in 2008 bedroeg  $26500 \text{ ton jaar}^{-1}$ . Bufferstroken zijn gemodelleerd als 15 m brede stroken die uit cultuur worden genomen maar in bezit van de landbouwer blijven.

Als we dat vergelijken met het huidige Haringvliet, dan is het contrast frappant (fig. 6). De getijdebeweging doet gigantische hoeveelheden water heen-en-weer bewegen, handhaaft daarmee zonder veel extra maatschappelijke kosten een gigantisch oppervlakte aan dynamische natuur en fungeert tegelijkertijd als een biogeochemische reactorvat, waarschijnlijk tenminste twee ondergewaardeerde ecosysteemdiensten. Dat zou de herstelde getijdynamiek in het Haringvliet ook kunnen bieden, ook al zetten we het maar op die inmiddels spreekwoordelijke kier<sup>7</sup>. Uitvoeren van toezeggingen is toch wel het minste dat een burger van een betrouwbaar openbaar bestuur mag verwachten.



Figuur 6. Jaargemiddelde totaal stikstofconcentratie in Westerschelde (gegevens Bert van Eck, DELTARES; stations Hemiksem en Vlissingen, gemiddeld 2001-2007) en Haringvliet (gegevens WATERBASE; stations Bovensluis en Haringvlietluis, gemiddeld 2004-2009).

<sup>7</sup> [http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen\\_en\\_projecten/vaarwegen/haringvliet/haringvlietluisen/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/vaarwegen/haringvliet/haringvlietluisen/index.aspx)

De aardwetenschappelijke kant van dit onderzoek is in mijn ogen de dynamiek van stikstof in het grond- en oppervlaktewater van het Scheldebekken. Om die dynamiek in de vingers te hebben is een goed begrip van de hydrologie en de stikstofkringloop cruciaal. De economische aspect lijkt me aan twee kanten te zitten: aan de ene kant de betekenis van het maatschappelijk handelen voor die stikstofdynamiek, en aan de andere kant de afweging van kosten en baten van maatregelen die vervuiling van ons leefmilieu voorkomen, verzachten of ombuigen. Beide zijn pas goed in hun samenhang af te wegen op de schaal van het complete stroomgebied. Dan zijn ook politiek gevoelige grensoverschrijdende vragen te beantwoorden zoals wat de bijdrage van het Franse deel of Wallonië is.

### *Mangrovebossen als kustbescherming*

Sinds mijn werk met Sai Udomluck Thampanya (2006) ben ik geïnteresseerd gebleven in mangrovebossen. De tsunami van kerst 2004 maakte de discussie over de mogelijke bescherming die mangrovebossen zouden kunnen geven weer actueel. Zelf werd ik na een domme statistische fout gemengeld door een Australiër die dat later bij iedereen bleek te doen die iets positiefs schrijft over de bescherming die mangroves kunnen bieden (Vermaat en Thampanya, 2006; Das en Vincent, 2009). Collega's van de VU-Brussel formuleren het als volgt: 'Mangrovewouden vormen een natuurlijke dijk tegen watergeweld'<sup>8</sup>. Maar hoe zit het? Das en Vincent (2009) lieten in een grootschalige studie in India overtuigend zien dat het aantal sterfgevallen minder was in dorpen die beschermd werden door mangroves, waar velen thuisgebleven waren ondanks het afgegeven evacuatie-alarm. In de zone binnen 10 km van de kust was het aantal sterfgevallen 69% lager achter de nog resterende mangrovebossen. Het lijkt me dat dit een niet te negeren ecosysteemdienst is. Das en Vincent (2008) doen ook een grove schatting van de baten van de vermeden sterfgevallen en de kosten van het handhaven van een mangrovegordel (gedorven landbouwinkomsten) en zien een positieve netto balans. Tegelijkertijd betekent dit niet dat overal planten van mangrove een simpele panacee is. Het aantal gedocumenteerd mislukte bebossingsprojecten is helaas indrukwekkend (Elster, 2000). Vaak overleven de kiemplanten het niet, omdat het ter plekke de verkeerde soort is of de verkeerde condities. Zo is vaak direct de bosbouwkundig meest aantrekkelijke soort *Rhizophora* gepoot, waar vroege kolonistoren zoals *Avicennia* of *Sonneratia* meer voor de hand hadden gelegen, onder andere omdat ze beter bestand zijn tegen hogere saliniteiten en sterkere water- en slibbeweging (Thampanya, 2006).

Mangrovekusten lijken me zowel aardwetenschappelijk als economisch interessant omdat ze een brandpunt zijn van oprukkend menselijk gebruik vanuit het achterland voor landbouw en visteelt, en van grote veranderingen in zoetwater- en slibtoevoer, maar ook nog eens de frontlijn zijn voor grotendeels arme gemeenschappen tegen een stijgende zeespiegel.

---

<sup>8</sup> <http://www.vub.ac.be/APNA/frameset.html>

Tabel 3. Uitwerking van de belangrijkste ecosysteemdiensten die ik onderken in de drie casussen. Volgens de MEA-indeling (2005) worden productie-, regulerende en culturele diensten onderscheiden, ondersteunende diensten zijn weggelaten. Per dienst en casus worden drie kolommen gepresenteerd: eerst de dienst, dan de relevante belanghebbende, dus de sector of partij die het meeste baat of verlies heeft bij deze dienst, en tenslotte de manier waarop de dienst al dan niet monetair gewaardeerd<sup>a</sup> kan worden. De mijns inziens belangrijkste diensten zijn vet gedrukt.

	veenweidegebied			Scheide			mangrove ZO Azie		
	dienst	belanghebbende	waardering	dienst	belanghebbende	waardering	dienst	belanghebbende	waardering
<b>productie</b>	melk en vlees (kg/ha/jr)	boer+sector, handel, klant	markt	vis, weidegrond, zilte groente	beroeps- en sportvissers; overig	markt	<b>hout (constructie, brandhout, kg/ha/jr)</b>	exploitanten, lokale en regionale afnemers	markt
							wild, honing, vis, schaaldieren aquacultuur	lokale bevolking	??
				<b>transport (tonnen vrachtfijr)</b>	bedrijven, handel, klant	markt	transport	kweker, financier	markt
<b>regulerend</b>	waterberging (m3/ha/jr)	maatschappij (waterschap)	voorkomen schade	<b>waterafvoer (m3/jr) en kustverdediging</b>	maatschappij	vermeden schade, betalingsbereidheid	<b>kustbescherming</b>	lokale bevolking	vermeden schade
	waterkwaliteit (kg N, P, X/ha/jr)	maatschappij (waterschap)	betalingsbereidheid (burger + institutie)	waterkwaliteit (kg N, P, X/ha/jr), afvoer en reiniging	maatschappij, vervuiler	betalingsbereidheid (burger + institutie)	waterkwaliteit (kg N, P, X/ha/jr), afvoer en reiniging	maatschappij, vervuiler	??
	broeikasgasbalans (kg CO2-slachtoffers/eq/ha/jr)	wereld (klimaatbalans)	(emissierechtenmarkt)	<b>slibvang (kg/jr, em/jr)</b>	maatschappij	??	<b>slibvang (kg/jr, em/jr)</b>	maatschappij	??
				broeikasgasbalans (kg CO2-slachtoffers/eq/ha/jr)	wereld (klimaatbalans)	(emissierechtenmarkt)	broeikasgasbalans (kg CO2-slachtoffers/eq/ha/jr)	wereld (klimaatbalans)	(emissierechtenmarkt)
<b>cultureel</b>	<b>landschapsbeleving</b>	recreanten, burgers	betalingsbereidheid	<b>landschapsbeleving</b>	recreanten, burgers	betalingsbereidheid	<b>kraamkamer</b>	vissers, vistelers	??
	<b>natuurbeheer</b>	natuurminnaars, maatschappij (toekomstige generaties)	betalingsbereidheid (burger + institutie)	<b>natuurbeheer</b>	natuurminnaars, maatschappij (toekomstige generaties)	betalingsbereidheid (burger + institutie)	<b>commerciële vis en garnaal</b>		
				<b>water- en strandrecreatie</b>	recreanten, bedrijven	betalingsbereidheid, markt		natuurminnaars, 1e wereld (toekomstige generaties)	betalingsbereidheid

<sup>a</sup> literatuur: marktgegevens zijn beschikbaar bij de daarin gespecialiseerde statistische bureau's zoals CBS, LEI, EUROSTAT, FAOSTAT. Voor vermeden schade en bijbehorende risico-analyses zie Bouwer (2010), voor stated preference methoden zie Schaafsma (2011), voor een overzicht van waarderingstechnieken zie Brouwer (2010), en voor schatters uit meta-analyses zie Brander et al. (2010) en Ghermandi et al. (2010). Kosten- en batenaftelingen voor mangrovebossen worden gedaan in Das en Vincent (2009), maar ook in Gilbert en Janssen (1998) en Barbier et al. (2008); Schattingen van de betalingsbereidheid voor waterkwaliteitsverbetering of kraamkamerfunctie van mangroven zijn me niet bekend.

### Vertaling naar ecosysteemdiensten

Al met al zijn dit drie interessante 'gevallen', maar de vraag is hier of dat alles constructief te vertalen is naar ecosysteemdiensten in de systematiek van de Millenium Ecosystem Assessment en vervolgens economisch verantwoord te waarderen. De vraag is dus of we de samenstellende delen van de totale economische waarde (TEV, Balmford et al., 2002) met voldoende betrouwbaarheid kunnen benaderen. Mijn benadering daarbij bestaat eruit de dienst die door mens benut wordt (de final service) zo kwantitatief mogelijk te schatten. Het is relevant om Slootweg en Van Beukering (2008) hierbij aan te halen: zij wijzen op de context van de waarderingsexercitie. Welk maatschappelijk doel wordt er met het in geld uitdrukken van

ecosysteemdiensten nagestreefd? Ze benadrukken het verschil tussen signalering (Costanza et al., 1997), besluitvorming (MKBA), schade-inschatting (Exxon-Valdez) of duurzaamheids-financiering (emissiemarkt, REDD).

Het belang van de onderliggende biogeochemische processen en de rol van biodiversiteit vind ik zeker niet verwaarloosbaar. Ik ga er echter voor dit moment vanuit dat de onderliggende systeemanalyse van de 'aarde'-kant van dit verhaal de relevante relaties afdoende in kaart heeft gebracht, zodat effecten van veranderingen in sturende factoren redelijk voorspeld kunnen worden. Dit is in feite ook de simpele, maar niet altijd gemakkelijk uitvoerbare, boodschap van Wallace (2007), en de aanpak van de wetenschapspositivist: eerst oorzaak en gevolg goed begrijpen en hoofd- en bijzaken benoemen. In samenspraak met de collega's economen (bijvoorbeeld Van Beukering et al., 2003; Brander et al., 2010; Brouwer, 2010, Ghermandi et al., 2010, Schaafsma, 2010) kunnen we de benutte diensten vervolgens zo veel mogelijk moneteriseren. Een en ander heb ik schetsmatig opgezet in tabel 3. In de drie verschillende systemen zijn duidelijk andere diensten toonaangevend. Regulerende diensten die met water te maken hebben staan bij alle drie op de voorgrond, maar dat is natuurlijk mede veroorzaakt door mijn keuze. Twee punten vallen verder op. Ten eerste lijkt het niet zo moeilijk om de waarde van de meeste diensten te moneteriseren omdat voor elke dienst wel literatuur of statistische gegevens beschikbaar zijn. Hiermee illustreer ik dat het concept 'ecosysteemdiensten' goed kan werken op dat grensvlak tussen aarde en economie. Ten tweede lijkt het wel of de tropische mangrovebossen het meest diverse palet aan diensten offreert terwijl het Hollandse veenweidelandschap uiterst gespecialiseerd is. Is dit het gevolg van een halve eeuw welvaartsmaatschappij en een ver doorgevoerde landbouwspecialisatie (de groene revolutie) of is mijn analyse te oppervlakkig? Tenslotte nog iets over het vooruitzicht van een emissierechtenmarkt: ik kan niet inschatten in hoeverre zich hier ook werkelijk een markt zal ontwikkelen, maar ik ben afgegaan op de literatuur (Gibbs et al., 2007; Mattsson et al., 2009; Melman et al., 2010). Ik hoop overigens van ganser harte dat we op wereldschaal de reële potentie zullen benutten en over kunnen stappen van fossiele naar duurzamer en schier onuitputtelijke energiebronnen als zon en wind. Daarom denk ik ook dat fosfor uiteindelijk een problematischer hulpbron wordt dan stikstof, dat immers ruim voorhanden is in de atmosfeer en waarvan de winning eerder beperkt wordt door de energie-intensiteit van het Haber-Bosch proces.

## Conclusie

Resumerend kom ik terug op de vraag in mijn titel. Ik zie het als een grote uitdaging om dat onderzoek op het grensvlak van aardwetenschappen en economie vorm te gaan geven. Ik vind juist de wisselwerkingen op dat grensvlak interessant en relevant. Ik ga er van uit dat er een duidelijke grens is. Ik heb zojuist aangegeven dat ik die grens respecteer maar ook zal opzoeken. Daarbij hoop ik ook vruchtbaar te kunnen mengen. Ik heb beargumenteerd dat ik daarvoor de intermediaire schaal van landschap en stroomgebied kies en het kwantificerende perspectief van de systeem-aarde-kant van ecosysteemdiensten. Om 'wie-doet-wat-nou-precies-waar' vragen te beantwoorden zal de beweging van water en stoffen door het landschap van het stroomgebied mijn kompas zijn. Ik meen dat het belang van

ecosysteemdiensten bemoedigend vaak in 'geldachtige' waarde van kosten en baten uitgedrukt kan worden, wat een rationele afweging vergemakkelijkt, 'ook' voor politici en daaraan voorafgaand, ons begrip in de zin van waardering, voor 'systeem aarde' verhoogt. Ik ga er vanuit dat ik daarmee bij zal dragen aan het doel dat in de profielschets voor mijn leerstoel is geschetst: 'to better understand the spatial and temporal patterns of linked natural and economic processes at the earth's surface as a basis for improved decision/making and natural resource management.'

Voor het mengen op het raakvlak van de disciplines is tijd nodig, maar ook concrete aanleiding. Die zal ik zoeken in projectmatige samenwerking. Gaandeweg zullen die projecten zich al meestromend langs die disciplinaire grens tot turbulente wervels onderscheiden en voor interessante menging zorgen. De kans dat dat rond 'wicked problems' zal gebeuren acht ik groot. Ik hoop dat ik constructief aan die turbulentie kan bijdragen, want daar zal het onderzoek van profiteren. Die projecten beginnen al vorm te krijgen. Met Pieter van Beukering en Roy Brouwer staan er voorstellen op stapel voor het waarderen van ecosysteemdiensten langs Europese rivieren (met DELTARES) en Caribische kusten (met IMARES), met Jef Vandenberghé, Eric Koomen en Mark Bokhorst rond de Loire, met Jacintha Ellers binnen het AGCI aan 'functional traits' en met Fritz Hellmann en Matty Berg aan versnipperde slootbiodiversiteit. In de afgelopen driekwart jaar heb ik nog maar met een deel van de collega's van binnen en buiten de VU op de verlanglijst in mijn notitieboek kennisgemaakt. Ik hoop dat jullie dat niet persoonlijk opvatten, want de oorzaak is ook bij mij dat ik me te vaak door korte-termijn prioriteiten laat opslokken. Ik hoop dat ik dus nog welkom ben. Laat in elk geval duidelijk zijn dat samenwerking in mijn belang is.

Wat het onderwijs betreft ben ik zonder meer optimistisch. Deze opleiding Aarde en economie staat als een huis, of misschien bloemrijker, vaart als een Amazone-veerboot, met een goed uitzicht op beide, samen opstromende rivieren. Moge dat uitzicht niet vertroebeld worden!

## Dankwoord

Traditiegetrouw eindigt een oratie met een dankwoord en dat begint dan vaak formeel 'bovenaan'. In dit geval is dat zeker op zijn plaats, want het opstarten van Aarde en economie was zeker niet risicoloos. Ik wil dan ook het College van Bestuur en speciaal de decanen van FALW en FEWEB, Bauke Oudega en Harmen Verbruggen, van harte bedanken voor het vertrouwen. Wellicht wat minder gebruikelijk, maar ook de voorzitter van mijn sollicitatiecommissie, Jef Vandenberghé, wil ik persoonlijk bedanken voor de vriendelijke maar duidelijke manier waarop hij me steunt. Ook Frans Berkhout en Peter Verburg van het IVM wil ik noemen voor hun constructieve rol bij de positionering van Aarde en economie.

Maar laat ik nu onderop, bij de basis beginnen. Sinds ik in 1977 populatie-biologie ging studeren in Wageningen is de wereld om mij heen behoorlijk veranderd. Ik heb het geluk gehad altijd weer mensen te treffen die samen iets wilden opbouwen. Kritisch, maar vooral constructief en creatief 'er voor gaan'. Dat hoop ik vast te houden. Als wetenschapper in de dop heb ik in Wageningen veel geleerd van Mous Sabelis, in Denemarken van Kaj Sand-Jensen en daarna nog

veel meer met Michiel Hootsmans in het waterplantencircus van Wim van Vierssen die ons ook meetroonde naar het IHE in Delft. Het IHE was een fantastische leerschool voor interculturele samenwerking en ik kreeg er de kans om drie projecten lang met Carlos Duarte op te trekken, met recht een bijzonder mens. Hier op de VU bij het IVM ontdekte ik dat multidisciplinariteit nog wel even wat meer was dan met een Delftse civiel samen aan een rivier of rwzi te werken. Alison Gilbert, Wim Salomons, Ron Janssen, Luke Brander en Michiel van Drunen, maar ook de ouwe rotten Onno Kuik, Harry Aiking en Bert van Hattum hebben me daarbij gecoacht, waarschijnlijk doorgaans niet eens zo bewust. De projectgestuurde organisatie van het IVM laat gelukkig ook nog ruimte voor niet helemaal in het keurslijf passende initiatieven. Zo zit ik nog steeds met erg veel plezier in de redactie van Landschap en hebben Nancy Omtzigt en Laurens Bouwer met mij een reeks artikelen geschreven waar formeel geen project bij hoorde. Wel redelijk netjes ingekaderd was het onderzoek met Alison Gilbert, Jeroen van den Bergh, Wim Salomons, Rien Aerts, Andre Dias, Bart Hoorens en Fritz Hellmann. Samen met Alfred Wagtendonk en Hans de Moel werk ik de laatste zomers erg prettig samen bij het inmiddels goed gewaardeerde tweedejaarsveldwerk Aarde en economie. Pieter van Beukering heeft met mij het ERM MSc-vak ecosysteemdiensten bedacht en dit jaar voor het eerst gegeven. Mark Bokhorst en Mathilde Molendijk zijn me momenteel aan het inwerken in het curriculum Aarde en economie. Dat ik jullie hier nu allemaal bedankt betekent natuurlijk niet dat het nu maar eens afgelopen moet wezen, integendeel! Mark en Mathilde, maar ook Frank en Henri en Peter en al die anderen die ons daarbij helpen, we gaan er wat moois van maken en met jullie samen lijkt me dat geen straf! Mark ook bedankt voor je kritische blik op deze tekst.

Verder zijn de studenten Aarde en economie het bedanken dubbel en dwars waard. Zonder jullie stond ik hier niet. Ik hoop dat je geen spijt hebt van je keuze en vooral natuurlijk de eerste generatie bedankt voor de rol van proefkonijn. Je zult er wel eens moe van zijn geworden, maar er is naar je geluisterd en zeker het BSc-programma zit nu prima in elkaar, nietwaar?

Behalve door collega's en studenten wordt mijn leven voor een belangrijker deel gekleurd door vrienden en familie, wat leuk dat jullie hier zijn. Mijn ouders bedankt voor alle ruimte en het vertrouwen en de stabiliteit die jullie als gezin leverden. Broers en zus en de waaier aan geliefden en kinders om jullie heen, fijn dat jullie hier zijn om deze plechtigheid met me te delen. Zo. En dan nu Bente, Lieke en Margreet, drie schatten van me, laat ik kort zijn: jullie zijn top! Ik hoop dat we nog lang met elkaar op mogen leven in de nuchterheid van alle dag.

Tot slot zou ik in lichte ironie willen eindigen met een uitspraak die door Toonder (1984) een zekere O.B.B. in de mond wordt gelegd: "Ik ben vaak sprakeloos omdat ik zeg wat ik denk".

--

## Referenties

- Aiking H, 2010. Future protein supply. *Trends in Food Science and Technology* (online early).
- Ball P, 2004. *Critical mass, how one thing leads to another*. Random House, London.
- Balmford A, Bruner A, Cooper P, Costanza R, Farber S, Green RE, Jenkins M, Jefferiss P, Jessamy V, Madden J, Munro K, Myers N, Naeem S, Paavola J, Rayment M, Rosendo S, Roughgarden J, Trumper K, Turner RK, 2002. Ecology - Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 297, 950-953.
- Balvanera P, Pfisterer AB, Buchmann N, He JS, Nakashizuka T, Raffaelli D, Schmid B, 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9, 1146-1156.
- Barbier EB, Koch EW, Siliman BR, Hacker SD, Wolanski E, Primavera J, Granek EF, Polasky S, Aswani S, Cramer LA, Storms DM, Kennedy CJ, Bael D, Kappel CV, Perillo GME, Reed DJ, 2008. Coastal ecosystem/based management with nonlinear ecological functions and values. *Science* 319, 321-323
- Brander L, Ghermandi A, Kuik O, Markandya A, Nunes PALD, Schaafsma M, Wagtendonk AJ, 2010. Scaling up ecosystem services values: methodology, applicability and a case study. Working Papers 2010.41, Fondazione Eni Enrico Mattei, Venice Italy.
- Beltman BGHJ, Smolders A, Vermaat JE, 2009. Bodemchemie van veenweidegronden: nuttige indicator voor kansen voor natuurontwikkeling. *Landschap* 26, 95-102.
- Brinton C, Christopher JB, Wolff RL, 1970. *Geschiedenis en beschaving van het westen in drie delen, deel 2 Renaissance tot Bismarck*. Elseviers Wereldgeschiedenis, Nederlandse bewerking door J. Winkler en SJ de Vries, Elsevier, Amsterdam.
- Bouwer LM, 2010. Disasters and climate change, analyses and methods for projecting future losses from extreme weather. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam
- Brouwer R, 2010. Payments for ecosystem services: making money talk. Rede ter aanvaarding van het ambt van hoogleraar aan de Vrije Universiteit uitgesproken op 15 april 2010.
- Bruijnzeel LA, 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 185-228.
- Bijlsma RG, 2006. De blikjesindex. *De Levende Natuur* 107, 200-201.
- Cordell D, Drangert JO, White S, 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19, 292-305.
- Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, Van den Belt M, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- Daily G, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P, Mooney H, Pejchar L, Ricketts T, Salzman J, Shallenberger R, 2009. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 21-28.
- Das S, Vincent JR, 2009. Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. *Proceedings National Academy Sciences of the USA* 106, 7357-7360
- De Groot RS, 1992. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Dooge JCI, 1986. Looking for hydrologic laws. *Water Resources Research* 22, 465-585.
- Duarte CM, Marba N, Agawin N, Cebrian J, Enriquez S, Fortes MD, Gallegos ME, Merino M, Olesen B, Sand-Jensen K, Uri J, Vermaat JE, 1994. Reconstruction of seagrass dynamics: age determinations and associated tools for the seagrass ecologist. *Marine Ecology Progress Series* 107, 195-209.
- Dungan JL, Perry JN, Dale MRT, Legendre P, Citron-Pousty S, Fortin MJ, Jakomulska A, Miriti M, Rosenberg MS, 2002. A balanced view of scale in spatial statistical analysis. *Ecography* 25, 626-640.
- Easterly W, Levine R, 2003. Tropics, germs, and crops: how endowments influence economic development. *Journal of Monetary Economics* 50, 3-39.
- Edwards-Jones G, Davies B, Hussain S, 2000. *Ecological economics, an introduction*. Blackwell, London.
- Elster C, 2000. Reason for reforestation success and failure with three mangrove species in Colombia. *Forest Ecology and Management* 131, 201-214.



- Eppink FV, Rietveld P, Van den Bergh JCJM, Vermaat JE, Wassen MJ, Hilferink M, 2008. Internalising the costs of nutrient deposition and fragmentation in spatial planning: extending a decision support tool for the Netherlands. *Land Use Policy* 25, 563-578.
- Fagan BM, 1990. *The journey from Eden – the peopling of our world*. Thames & Hudson, London.
- Fisher B, Turner RK, Zylstra M, Brouwer R, De Groot R, Farber S, Ferraro P, Green R, Hadley D, Harlow J, Jefferiss P, Kirkby C, Morling P, Mowatt S, Naidoo R, Paavola J, Strassburg B, Yu Balmford AD, 2008. Ecosystem services and economic theory: integration for policy-relevant research. *Ecological Applications* 18, 2050-2067.
- Fisher B, Turner RK, Morling P, 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68, 643-653.
- Franz J, Papyraikos E, 2010. Online calculators of ecological footprint: do they promote or dissuade sustainable behaviour? *Sustainable Development* (online first) DOI: 10.1002/sd.446
- Frodeman R, 1995. Geological reasoning: geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin* 107, 960-968.
- Ghermandi A, Van den Bergh JCJM, Brander LM, De Groot HLF, Nunes PALD, 2010. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research* 46, W12516
- Gibbs HK, Brown S, Nikes JO, Foley JA, 2007. Monitorign and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters* 2, 045023.
- Gilbert AJ, Janssen R, 1998. Use of environmental functions to communicate the values of a mangrove ecosystem under different management regimes. *Ecological Economics* 25, 323-346.
- Goosen H, Janssen R, Vermaat JE, 2007. Decision support for participatory wetland decision making. *Ecological Engineering* 30, 187-199.
- Goudsblom J, 2001. *De antroposfeer*. Tirade 45, 327-345.
- Hall RE, Jones CI, 1999. Why do some countries produce so much more output per worker than others? *Quarterly Journal of Economics* 114, 83-116.
- Harvey D, 1990. Between space and time: reflections on the geographical imagination. *Annals of the Association of American Geographers* 80, 418-434
- Hibbs DA, Olsson O, 2004. Geography, biogeography, and why some countries are rich and others poor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 101, 3715-3720.
- Hinkel J, Klein RJT, 2009. Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea-level rise: The development of the DIVA tool. *Global Environmental Change* 19, 384-395.
- Hirsch JE, 2005. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102, 16569–16572.
- Hisschemöller M, 1993. *De democratie van problemen. De relatie tussen de inhoud van beleidsproblemen en methoden van politieke besluitvorming*. VU uitgeverij, Amsterdam, The Netherlands.
- Holling CS, 1992. Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs* 62, 447-502.
- Jordan GJ, Fortin MJ, 2002. Scale and topology in the ecological economics sustainability paradigm. *Ecological Economics* 41, 361-366.
- Kamp-Nielsen L, Vermaat JE, Wesseling I, Borum J, Geertz-Hansen O, 2002. Sediment properties along gradients of siltation in South East Asia. *Estuarine & Coastal Shelf Science* 54, 127-137.
- Kelly CD, Jennions MD, 2006. The h index and career assessment by numbers. *Trends in Ecology and Evolution* 21, 167–70.
- Kremen C, 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8, 468-479.
- Langmead O, McQuatters-Gollop A, Mee LD, Friedrich J, Gilbert AJ, Jackson EL, Knudsen S, Todorova V, Minicheva G, Gomoiu MT, 2009. Recovery or decline of the Black Sea: A societal choice revealed by socio-ecological modelling. *Ecological Modelling* 220, 2927-2939.
- Liu Y, Villalba G, Ayres RU, Schroder H, 2008. Global Phosphorus flows and environmental impacts from a consumption perspective. *Journal of Industrial Ecology* 12, 229-247.

- Mattsson E, Ostwald M, Nissanka SP, Holmer B, Palm M, 2009. Recovery and protection of coastal ecosystems after tsunami event and potential for participatory forest CDM – Examples from Sri Lanka. *Ocean and Coastal Management* 52, 1-9.
- McQuatters-Gollop A, Vermaat JE, geaccepteerd. Covariance among North Sea nutrient and climate drivers: consequences for plankton dynamics. *Journal of Sea Research*
- Meadows DH, Meadows DL, Randers J, Behrens III WW, 1972. *The limits to growth*. New York: Universe Books.
- Melman D, Van der Heide M, Braat L, Udo De Haes H, 2010. Ecosysteemdiensten: nieuw anker voor omgevingsbeleid? *Landschap* 27, 209-219.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: Syn-thesis*. Preface & Summary for Decision-makers. Island Press, Washington DC, USA.
- Minemakers Ltd, 2008. Rock phosphate price rockets to us\$200/tonne. Press release and concession report. Perth, Australia.
- Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green RE, Lehner B, Malcolm TR, Ricketts TH, 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 105, 9495-9500
- Olsson O, Hibbs DA, 2000. Biogeography and long-run economic development. Working Papers in Economics no 26, Department of Economics, Göteborg University, Sweden.
- Olsson O, Hibbs DA, 2005. Biogeography and long-run economic development. *European Economic Review* 49, 909-938.
- Pen J, 1969. *Het aardige van de economie*. Aula-boeken nr 80, Het Spectrum, Utrecht, Antwerpen.
- Ponting C, 1992. *A green history of the world*. Penguin, London.
- Postel S, 1999. Pillar of sand: can the irrigation miracle last? Norton, New York and Worldwatch; [www.worldwatch.org](http://www.worldwatch.org)
- Radach G, Pätsch J, 2007. Variability of continental riverine freshwater and nutrient inputs into the North Sea for the years 1977–2000 and its consequences for the assessment of eutrophication. *Estuaries and Coasts* 30, 66-81.
- Ranganathan J, Raudsepp-Hearne C, Lucas N, Irwin F, Zurek M, Bennett K, Ash N, West P, 2008. *Ecosystem services, a guide for decision makers*. World Resources Institute, Washington DC, USA.
- Rietkerk M, Van de Koppel J, 2008. Regular pattern formation in real ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 23, 169-175.
- Rittel H, Webber M, 1973. Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences* 4, 155-169.
- Rockstrom J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, Lenton TM, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber HJ, Nykvist B, de Wit CA, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sorlin S, Snyder PK, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell RW, Fabry VJ, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley JA, 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472-475.
- Schaafsma M, 2011. *Spatial effects in stated preference studies for environmental evaluation*. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam.
- Skøien JO, Blöschl G, Western AW, 2003. Characteristic space scales and timescales in hydrology. *Water Resources Research* 39 (10), 1304.
- Slootweg R, Van Beukering PJH, 2008. *Valuation of Ecosystem Services and Strategic Environmental Assessment: Lessons from Influential Cases*. Netherlands Commission for Environmental Assessment (MER), Utrecht.
- Smith ME, 2004. The archaeology of ancient state economies. *Annual Reviews of Anthropology* 33, 73–102.
- Soetaert K, Middelburg JJ, Heip C, Meire P, Van Damme S, Maris T, 2006. Long-term change in dissolved inorganic nutrients in the heterotrophic Scheldt estuary (Belgium, The Netherlands). *Limnology and Oceanography* 51, 409-423.
- Thampanya U, 2006. *Mangroves and sediment dynamics along the coasts of Southern Thailand*. PhD Thesis UNSECO-IHE and Wageningen University, Delft, The Netherlands, and Taylor & Francis.
- Toonder M, 1984. *Mooi is dat*. De Bezige Bij, Amsterdam.

- Turner G, 2008. A comparison of The Limits to Growth with thirty years of reality. CSIRO Working paper Series 2008-09, CSIRO, Canberra, Australia.
- Turner MG, Odum EP, Costanza R, Springer TM, 1988. Market and nonmarket value of the Georgia landscape. *Environmental Management* 12, 209-217.
- Van Beek CL, 2007. Nutrient losses from grassland on peat soil. *Proefschrift Wageningen Universiteit, Alterra Scientific Contributions* 18, 120 pp.
- Van Beukering PJH, Cesar HSJ, Janssen MA, 2003. Valuation of ecological services of the Leuser National Park in Sumatra, Indonesia. *Ecological Economics* 44, 43-62.
- Verburg PH, Eickhout B, Van Meijl H, 2008. A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *Annals of Regional Science* 42, 57-77.
- Vermaat AJ, 1968. De wet van Walras. *De Economist* 116, 441-473.
- Vermaat JE, Bouwer LM, 2009. Less ice on the Baltic reduces the extent of hypoxic bottom waters and sedimentary phosphorus release. *Estuarine Coastal Shelf Science* 82, 689-691.
- Vermaat JE, Hellmann F, 2010. Covariance in water- and nutrient budgets of Dutch peat polders: what governs nutrient retention? *Biogeochemistry* 99, 109-126.
- Vermaat JE, Thampanya U, 2006. Mangroves mitigate tsunami damage – a further response. *Estuarine Coastal Shelf Science* 69, 1-3.
- Vermaat JE, Eppink F, Van den Bergh JCJM, Barendregt A, Van Belle J, 2005. Aggregation and the matching of scales in spatial economics and landscape ecology: empirical evidence and prospects for integration. *Ecological Economics* 52, 229-237
- Vermaat JE, Goosen H, Omtzigt N, 2007. A multivariate analysis of biodiversity patterns in Dutch wetland marsh areas: urbanisation, eutrophication or fragmentation? *Biodiversity and Conservation* 16, 3585-3595.
- Vermaat JE, Dunne J, Gilbert AJ, 2009. Food web structure properties: can we minimize their number? *Ecology* 90, 278-282.
- Vermaat JE, Broekx S, Van Eck B, Engelen G, Hellmann F, De Kok JL, Van der Kwast H, Maes J, Salomons W, Van Deursen W, ingediend. Nitrogen source apportionment for the catchment, estuary and adjacent coastal waters of the Scheldt. *Ecology & Society*
- Verstegen W, 2003. Dertig jaar Club van Rome, Begin eenentwintigste eeuw zou de wereld instorten. *Historisch Nieuwsblad* (2003)3.
- Van den Bergh JCJM, Verbruggen H, 1999. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint. *Ecological Economics* 29, 61-72.
- Van Saase JLCM, Noteboom WMP, Vandenbroucke JP, 1990. Longevity of men capable of prolonged vigorous physical exercise: a 32 year follow up of 2259 participants in the Dutch eleven cities ice skating tour. *British Medical Journal* 301, 1409-1411.
- Wallace K, 2007. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation* 139, 235-246.
- Wesseling I, Uychiaco A, Aliño P, Vermaat JE, 1999. Responses of Philippine shallow-water corals to short-term burial. *Marine Ecology Progress Series* 176, 11-15.
- Westman WE, 1977. How much are nature's services worth? *Science*. 197, 960-964
- WWF, 2010. Living planet report 2010, biodiversity, biocapacity and development. Gland, Switzerland; [www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org).
- Zapata F, Roy RN, 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 13, 1-148, FAO, Rome.
- Zeilmaker R, 2008. Vijfentwintig jaar meten zonder weten, effect runderbegrazing is nooit wetenschappelijk bestudeerd maar het gevoel is goed. *Bionieuws jg 18, 29 maart 2008*, 8.