

## onderzoek

*prof.dr.ir. Peter H. Verburg*

*Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar  
Environmental Spatial Analysis bij de faculteit der Aard- en Levenswetenschappen  
van de Vrije Universiteit Amsterdam op 4 februari 2011.*





Mijnheer de Rector, collega's, familie en vrienden,

De wereld is mooi in al zijn verscheidenheid! Deze diversiteit biedt ons mogelijkheden maar veroorzaakt ook moeilijkheden. We genieten van de diversiteit van de wereld en bezoeken in onze vrije tijd landschappen die wij niet kennen. De diversiteit van het landschap en die van andere culturen heeft een aantrekkingskracht op ons, maar op hetzelfde moment vinden we het soms beangstigend als die diversiteit te dicht bij ons komt. De diversiteit van klimaat en milieuomstandigheden maakt het mogelijk verschillende gewassen te verbouwen en van die diversiteit genieten we dagelijks via ons voedsel. Onze toegenomen mobiliteit en globalisering hebben sterk aan deze diversiteit van voeding bijgedragen: zonder globalisering aten we waarschijnlijk nog steeds voornamelijk aardappels en haveremout. Echter, tegelijkertijd kunnen dezelfde processen tot vervlakking of het verdwijnen van diversiteit leiden.

In de wetenschap proberen we het functioneren van deze diverse wereld te begrijpen. Om de complexiteit van het systeem te begrijpen is het in de wetenschap gewoon om eerst deze complexiteit terug te brengen tot een analyse van de meest belangrijke processen. We maken een versimpelde representatie van de realiteit, een model. Dit doen we in alle vakgebieden: in de hydrologie wordt de complexe waterkringloop gevat in simpele, numerieke modellen en in de economie wordt de complexiteit van menselijk handelen gerepresenteerd in de vorm van rationele optimaliserende actoren. In de milieukunde brengen we kennis over het sociaal-economische en het biofysische systeem samen, vaak door de versimpelde benaderingen in de afzonderlijke vakgebieden nog eens een stap verder te vereenvoudigen om zo het hele systeem te kunnen onderzoeken. De werkelijke diversiteit die onze aarde zo kenmerkt, is in dergelijke representaties, noodzakelijkerwijs, verdwenen. Met name de ruimtelijke diversiteit wordt vaak versimpeld weergegeven. Grote gebieden worden als homogeen verondersteld en ruimtelijke variatie daarbinnen wordt niet meegenomen. Bij de resultaten van een dergelijke analyse wordt één getal gepresenteerd geldig voor een groot gebied. Dat communiceert goed en geeft een duidelijke boodschap.

Een mooi voorbeeld van deze versimpelde representatie van de ruimtelijke diversiteit is een van de eerste modellen dat ten doel heeft om ruimtelijke patronen in landgebruik te verklaren. In de 19<sup>e</sup> eeuw presenteerde Johann-Heinrich von Thünen dit model om de heterogeniteit van ons landgebruik te beschrijven vanuit economisch gedrag [1]. De verhouding tussen de waarde van een bepaald product op de markt en de transportkosten tot de markt bepaalt in dit model welk gewas op welke locatie wordt geproduceerd. Als gevolg hiervan worden gewassen met hoge transportkosten, bijvoorbeeld groentes die vers moeten blijven, dicht bij de stad verbouwd en vinden we meer extensief landgebruik verder van de stad. Dit model voorspelt dat bepaalde landbouwactiviteiten plaatsvinden in concentrische cirkels rond de stad. Hoewel dit model als doel heeft ruimtelijke diversiteit in landgebruik te verklaren, is de ruimtelijke variëteit van de omgeving compleet versimpeld tot wat we in het Engels een 'featureless plain', een homogene vlakte, noemen. Een dergelijke versimpeling is verre van realistisch en in latere uitwerkingen van het model, zoals door William Alonso, zijn hier verfijningen in aangebracht die stap voor stap onderdelen van de ruimtelijke diversiteit meenemen [2]. Echter, het model van

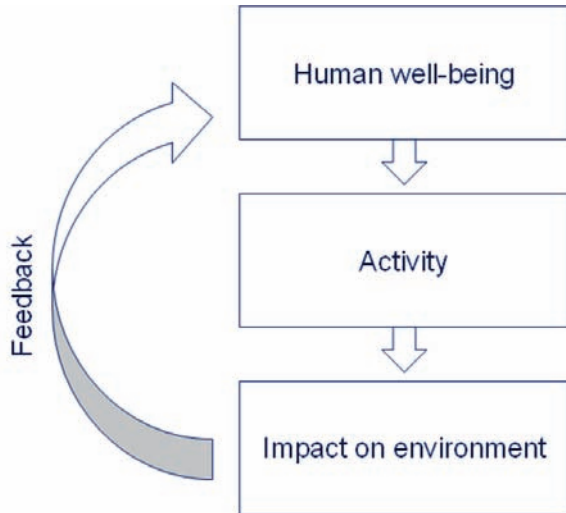


von Thünen is nog steeds de basis van veel huidige modellen van landgebruik [3,4]. Tot op zekere hoogte kunnen we de sequentie van landgebruik met de afstand tot de stad ook in het veld waarnemen. Een analyse in het noorden van de Filippijnen laat zien dat op korte reistijd van de markt intensieve maïsvelden te vinden zijn, terwijl de extensieve bananenvelden verder van de markt te vinden zijn. Rijstvelden in dit gebied voldoen echter niet aan dit patroon, omdat rijst hier niet voor de markt verbouwd wordt, maar vooral voor de eigen consumptie [5].

## **Feedbacks**

In de milieukunde proberen we te begrijpen wat de effecten zijn van het menselijk handelen op onze leefomgeving en vooral welke activiteiten op korte of lange termijn nadelige effecten voor ons zelf hebben. We proberen een zogenaamde terugkoppeling of feedback te onderzoeken. In sommige gevallen hebben we hogere doelstellingen, zoals het behoud van de intrinsieke waarde van ecosystemen. Veelal echter zijn argumenten met betrekking tot de effecten die veranderingen in onze leefomgeving op onze portemonnee en gezondheid hebben doorslaggevend. Het wordt vaak lastig als de feedback niet onszelf betreft, maar de mogelijk meer kwetsbare bevolking in andere delen van de wereld, zelfs al zijn wij ons bewust van een grote verantwoordelijkheid voor de ontstane schade aan de leefomgeving daar. De simpele feedback in de getoonde figuur moet daarom enigszins verfijnd worden: niet altijd is het collectieve belang van de mensheid doorslaggevend en milieuproblemen treffen niet altijd alle bevolkingsgroepen of individuen op dezelfde wijze.

Dergelijke feedbacks zijn niets nieuws. Al heel lang heeft de mens een grote invloed op zijn leefomgeving. Historisch zijn er verschillende situaties bekend waar de invloed van de mens door een dergelijke feedback beschavingen heeft vernietigd. Wel is de mate waarin wij onze natuurlijke leefomgeving, en het 'systeem aarde', beïnvloeden vele malen groter geworden. Werk van Erle Ellis en Kees Klein Goldewijk laat zien dat op mondiale schaal zo'n 300 jaar geleden nog een flink aantal gebieden geclassificeerd kon worden als zogenaamde 'wildlands', gebieden met een minimale menselijke invloed [6]. Als we echter kijken naar de huidige situatie, dan zien we dat er nog slechts heel weinig gebieden zijn die niet direct door mensen zijn beïnvloed. En zelfs deze gebieden worden indirect door onze invloed op het klimaat en de waterhuishouding beïnvloed. Nu is deze grote menselijke invloed niet altijd negatief. Wij hebben kans gezien onze leefomgeving zo te manipuleren dat we er met vele mensen kunnen wonen: vijandige moerassen zijn drooggelegd, gevaarlijke roofdieren uitgestorven, de voedselproductie velen malen groter dan natuurlijk ecosystemen opbrengen en droge gebieden zijn bewoonbaar en productief gemaakt door irrigatie. Deze alomvattende manipulatie van onze leefomgeving heeft grote bijdrages geleverd aan onze welvaart, maar heeft ook grote consequenties voor het functioneren van het 'systeem aarde'. Door het bevorderen van bepaalde functies van onze leefomgeving, zijn andere functies verminderd. De verschillende diensten die wij verkrijgen vanuit het functioneren van het ecosysteem noemen we ecosysteemdiensten. Indien door het bevorderen van een bepaalde ecosysteemdienst, b.v. de productie van voedsel, een andere ecosysteemdienst, zoals de drinkwatervoorziening,



negatief wordt beïnvloed dan spreken we van een zogenaamde 'tradeoff'. We kunnen verschillende typen van dergelijke 'tradeoffs' onderscheiden: tradeoffs tussen verschillende ecosysteem functies, tradeoffs tussen de belanghebbenden, tradeoffs tussen locaties en werelddelen en tradeoffs tussen nu en de toekomst.

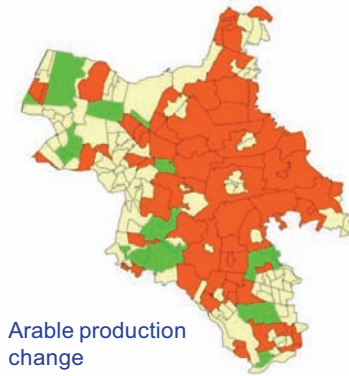
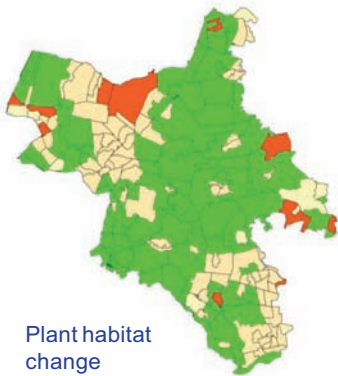
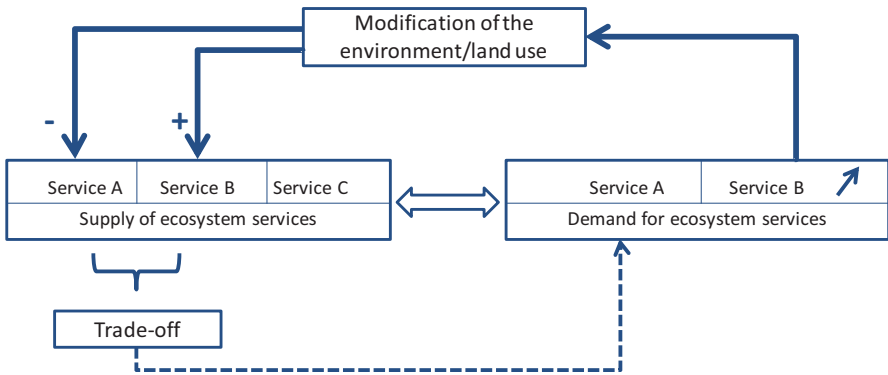
### **Tradeoffs**

Mijn leerstoel is genaamd 'Environmental Spatial Analysis', vrij vertaald in het Nederlands: Milieugeografie. Binnen deze leerstoel houd ik mij in het bijzonder bezig met de rol die ruimtelijke diversiteit speelt binnen de analyse van dergelijke tradeoffs. Om dit te illustreren zal ik u van elk van deze tradeoffs een voorbeeld geven en laten zien hoe wij deze tradeoffs binnen ons onderzoek bestuderen.

Tradeoffs tussen verschillende functies zijn veelal het duidelijkst. Wanneer wij het landgebruik veranderen om bijvoorbeeld meer voedsel te produceren, beïnvloeden we daarmee andere functies. Indien dit een ongewenst bijeffect is spreken we van een tradeoff. Zo gaat het kappen van bos, om land beschikbaar te maken voor landbouwproductie, ten koste van de vele ecosysteemdiensten die het bos ons levert: de bescherming van dieren en planten, regulatie van klimaat, bescherming van de bodem en het voorzien in recreatiemogelijkheden. De hier getoonde kaarten zijn het resultaat van een dergelijk onderzoek naar tradeoffs tussen ecosysteem diensten [7]. In dit onderzoek is een analyse gemaakt van de gevolgen van beleidsplannen, gericht op het behoud van natuurwaarden in de Gelderse Vallei. Enerzijds zien we dat dat in de meeste gebieden de omgevingscondities voor het voorkomen van bedreigde plantensoorten verbeteren als gevolg van dit beleid, anderzijds zien we ook de negatieve gevolgen voor de landbouwproductie weergegeven. Hier is al direct het belang te zien van een ruimtelijk expliciete benadering: niet overal zijn de effecten hetzelfde. Niet overal is de tradeoff even sterk en eenduidig: in enkele gebieden is zelfs sprake van een synergie: zowel de natuur als de landbouw gaat erop vooruit. Dergelijke analyses kunnen een rol spelen om beleidsplannen te evalueren en mogelijk ongewenste tradeoffs te voorkomen.

Soms zijn de keuzes die we maken tussen functies impliciet, in andere gevallen worden deze heel expliciet gemaakt. De milieu-effect-rapportages die we in Nederland maken zijn bedoeld om zo'n bewuste afweging te kunnen maken. Een bewuste afweging garandeert natuurlijk niet een juiste afweging: korte termijn economische en politieke belangen kunnen de afweging sterk beïnvloeden. We vergelijken hier verschillende functies die niet in dezelfde eenheden te meten zijn: appels en peren. Milieueconomen proberen dit probleem op te lossen door een monetaire waarde aan ecosysteemdiensten toe te kennen [8-10]. Echter, deze kwantificering is lastig omdat voor veel ecosysteemdiensten niet echt een markt bestaat. Daarnaast kan de waarde sterk verschillen voor verschillende groepen van de samenleving. Door verschillende voorkeuren en belangen tussen groepen van de bevolking en individuen gaat het uiteindelijk vaak om een tradeoffs tussen de belanghebbenden van ecosysteemdiensten.

Tradeoffs zijn niet altijd direct zichtbaar, sommige tradeoffs worden pas op langere termijn zichtbaar. Dit is het grote dilemma van de milieuproblematiek. De gevolgen van landgebruik verandering en de overmatige consumptie van fossiele brandstoffen zijn daar een mooi voorbeeld van. Langetermijneffecten en de inherente onzekerheden in de werking van



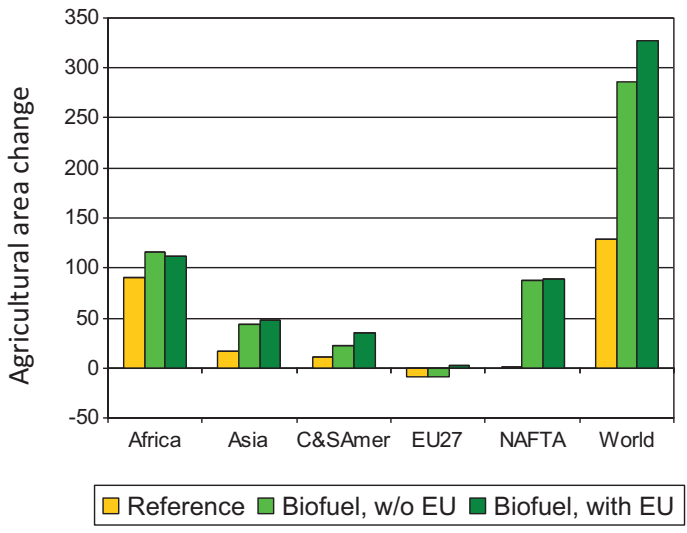
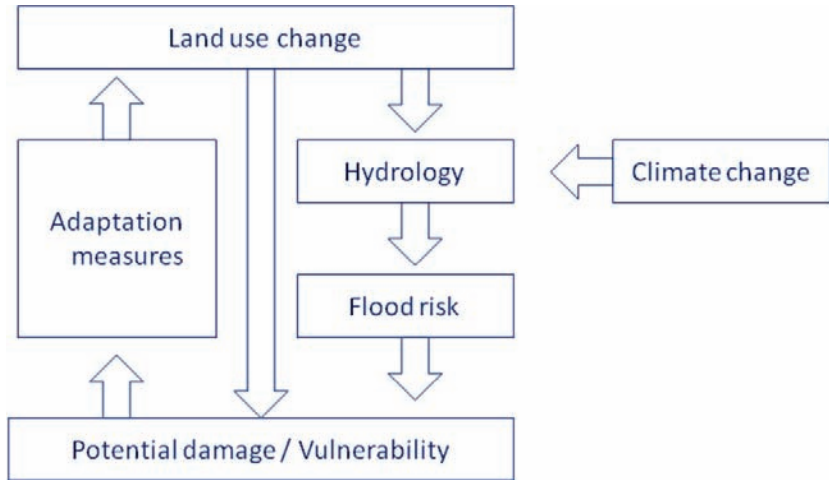
Verandering in ecosystemendiensten als gevolg van de uitvoering van een aantal beleidsmaatregelen (groen: toename; rood: afname) [7]



complexe systemen vormen een mooi excuus om onze kop in het zand te steken. Daarnaast zijn er aspecten van milieudegradatie die niet direct consequenties lijken te hebben voor onze welvaart; onherstelbaar verlies van landbouwgrond door bodemdegradatie is geen probleem zolang we deze gronden niet nodig hebben. Echter, in de toekomst zouden dit kritische verliezen kunnen zijn, die voldoende voedselproductie voor een groeiende populatie moeilijk maken.

Een belangrijk deel van mijn onderzoek en dat van de afdeling, richt zich op de ruimtelijke dimensies van tradeoffs. Dit zijn tradeoffs waarbij de effecten van een verandering in het ecosysteem plaatsvinden op een locatie op afstand van de locatie van de oorzakelijke activiteiten. Door de beweging van water, lucht en mensen en door handelsstromen van goederen en geld ontstaan zulke effecten over grote afstanden: zogenaamde teleconnecties. Binnen mijn afdeling wordt er bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar de gevolgen van veranderingen in het hydrologisch systeem, in het bijzonder naar overstromingsrisico's [11-13]. Veranderingen in landgebruik bovenstrooms, in samenspel met klimaatverandering, veroorzaken veranderingen in de afvoer van rivieren. Verhoogde afvoer leidt tot problemen benedenstrooms, vaak ver van de locatie waar de oorzaak van de problemen ligt. Een oorzaak bovenstrooms is bijvoorbeeld versnelde afstroming door landgebruiksveranderingen, of versnelde sneeuwsmelt als gevolg van klimaatverandering. Het interessante van dit systeem is, dat het uiteindelijke probleem, de schade en mogelijke slachtoffers, ook bepaald wordt door het landgebruik op de plek van de overstroming zelf. De vorm van landgebruik en de locatie van bijvoorbeeld de bebouwde gebieden ten opzicht van de overstromingsdiepte bepalen de uiteindelijke schade. Zowel voor de analyse van risico's, als voor het bepalen van mogelijke oplossingen en aanpassingen, is het nodig de ruimtelijke samenhang tussen bovenstroomse en benedenstroomse processen goed in kaart te brengen. Oplossingen liggen niet alleen benedenstrooms in het bouwen van dijken of het verlagen van de risico's door aangepaste ruimtelijke ordening. Oplossingen bovenstrooms kunnen zorgen voor een betere retentie van water waardoor benedenstrooms de risico's kleiner worden. Nog verder van het stroomgebied kan mitigatie van broeikasgasemissies verdere klimaatverandering voorkomen en daarmee mogelijk op termijn ook de overstromingsrisico's beperken.

Water stroomt van hoog naar laag. Vergelijkbare stromen kriskras over de wereld kunnen we waarnemen in de internationale handel in voedsel, energie en andere producten. In grote delen van de wereld is de leefomgeving sterk beïnvloed door dergelijke handelsstromen, zowel ten behoeve van de nationale urbane populatie als voor de export. In een recente analyse hebben wij een indexering gemaakt van de mate waarin de markt het landgebruik kan beïnvloeden. Dit is gedaan door het combineren van een analyse van de bereikbaarheid van markten, vliegvelden en havens met de economische kracht van deze markten op basis van het nationaal inkomen. De resulterende kaart maakt een grote diversiteit zichtbaar van de invloed van markten op landgebruik. Op hetzelfde moment zien we dat een heel groot deel van het aardoppervlak een zeer sterke invloed van de markt ondervindt. Dat de invloed van de markt heel groot is, wordt ook goed zichtbaar gemaakt in een recente studie van Karl-Heinz Erb van het Institute for Social Ecology in Wenen [14]. In deze kaart geven de blauwe kleuren gebieden



Verandering in landbouwareaal onder verschillende scenario's

aan waar de voor menselijke doeleinden gebruikte primaire productie groter is dan de consumptie van deze goederen. Rode gebieden geven aan waar de consumptie groter is dan de productie. Tussen de blauwe en rode gebieden vindt transport en handel plaats van producten uit de landbouw en bosbouw. Soms zijn dit de traditionele stromen tussen stad en platteland. Echter, deze stromen vinden ook over veel grotere afstanden plaats. Beruchte voorbeelden zijn natuurlijk veel van de groenten en snijbloemen die in onze Nederlandse winkels te koop zijn.

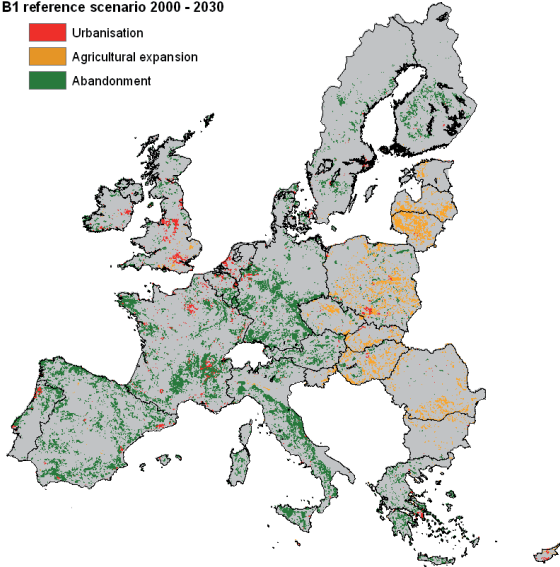
Door deze goederenstromen hebben veranderingen in de consumptie van de door het ecosysteem geproduceerde producten, invloed op gebieden ver van de consumptielocaties. De afgelopen jaren heb ik, samen met economen van het Landbouw Economisch Instituut en onderzoekers van het Plan Bureau voor de Leefomgeving, onderzoek gedaan om de invloed van dergelijke processen in de toekomst te kunnen voorspellen met behulp van modellen [15,16]. Voor dit doel hebben wij een keten van modellen gemaakt, waarmee we op verschillende schalen scenario's van mogelijke veranderingen in beleid en consumptie kunnen doorrekenen. Een voorbeeld van een dergelijke serie scenario's laat ik u op de navolgende slides zien. In deze studie zijn drie scenario's rondom beleid ter stimulering van biobrandstoffen vergeleken. In het eerste scenario is er geen specifiek beleid ter stimulering van het gebruik van biobrandstoffen. In het tweede en derde scenario wordt er wel een specifiek stimulerend beleid verondersteld, respectievelijk buiten en binnen de Europese Unie. De grafiek laat de resultaten zien die hiervoor uit de mondiale economisch modellen rollen. Waar de invloed van dergelijk beleid binnen Europa klein is, zijn de effecten daarbuiten zeer groot. Beleid in landen buiten Europa lijkt amper effect te hebben op het landbouwareaal in Europa. Europees beleid, de donkergroene staafjes, heeft echter wel grote invloed op het landbouwareaal buiten Europa. Voor Europa zien we een kleine afname in landbouwareaal voor de eerste twee scenario's en een stabilisatie voor het laatste. Er lijkt bijna niets te gebeuren. Hoewel veel beleidsmakers, en ook wetenschappers, graag dergelijke geaggregeerde resultaten zien, laat de volgende slide zien dat ze misleidend zijn. Er gebeurt in Europa wel degelijk iets met het landbouwareaal. Wanneer we een verfijnder model gebruiken om binnen Europa de mogelijke veranderingen in landgebruik te simuleren, dan zien we dat in deze scenario's in westelijk Europa veel landbouwgronden verlaten worden, veelal in de marginale gebieden waar landbouw niet rendabel is [17]. In oostelijk Europa echter zien we dat braakliggende gronden weer in productie worden genomen. Inderdaad, het netto effect is klein, maar dat betekent nog niet dat er niks gebeurt. Waar je bent, bepaalt wat er gebeurt en tegenstrijdige ontwikkelingen zijn mogelijk in verschillende delen van Europa: SPACE matters.

Indien we nu even verder kijken naar de andere twee scenario's dan zien we inderdaad weinig effect van de stimulering van biobrandstoffen buiten Europa maar een des te groter effect voor de Europese stimuleringsmaatregelen. Minder landbouwgronden worden verlaten in West-Europa, een goede zaak voor de rurale economie en leefbaarheid van marginale gebieden. Echter in Oost-Europa zien we een sterke expansie van het landbouw areaal, met mogelijk nadelige gevolgen voor andere ecosysteemdiensten [18].

Dit voorbeeld maakt duidelijk dat eenzelfde proces, voortkomend uit beleid om in onze vraag naar energie te voorzien, op verschillende plaatsen een verschillende impact kan hebben. De toenemende globalisering van voedsel- en energiemarkten maakt de landbouwsector steeds meer competitief. In marginale gebieden is het dan ook niet meer rendabel om te boeren en

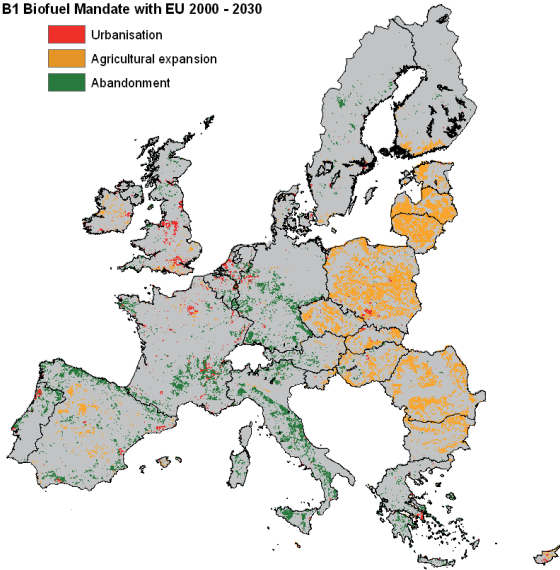
**B1 reference scenario 2000 - 2030**

- Urbanisation
- Agricultural expansion
- Abandonment



**B1 Biofuel Mandate with EU 2000 - 2030**

- Urbanisation
- Agricultural expansion
- Abandonment



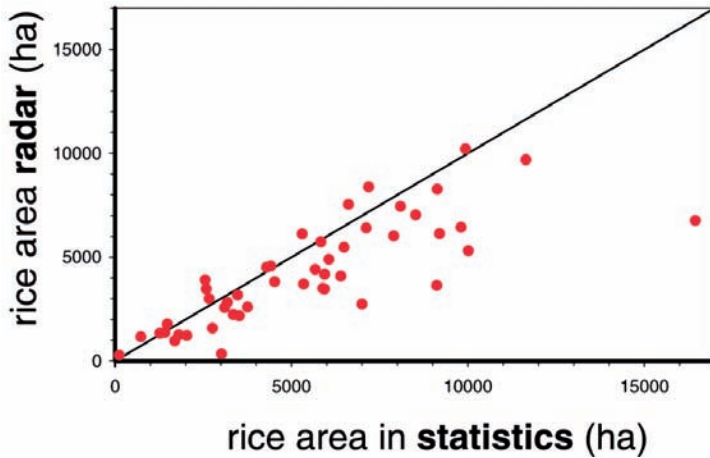
wordt landbouwgrond verlaten, terwijl in de voor de landbouw zeer geschikte gebieden intensivering en schaalvergroting de logische reactie is. Deze twee ogenschijnlijk tegenstrijdige processen zijn dus twee kanten van dezelfde medaille. De geografie van de locatie bepaalt uiteindelijk wat er gebeurt. Dit is geen nieuw proces: globalisering en toenemende invloed van markten hebben al heel lang een grote invloed op onze leefomgeving en de landschappen zoals wij die kennen [19]. Extensieve landbouw en begrazing is in veel gebieden al langer niet rendabel en de bosbedekking van Europa is als gevolg hiervan al enkele decennia aan het toenemen, de zogenaamde 'forest transition' [20,21]. De afname van deze extensieve vormen van landbouw wordt deels gecompenseerd door intensievere productie in nabijgelegen, geschiktere gebieden. Door mondiale handelsstromen gebruiken wij echter ook steeds meer land in andere gebieden in de wereld. Tot op zekere hoogte is daarmee de toename in bos in Europa en andere economisch sterke gebieden, te koppelen aan voortschrijdende ontbossing in andere wereldregio's. Ofwel, de tradeoffs spelen over verschillende schalen: tussen de productieve gronden in de valleien en de marginale gronden op de helling, tussen verschillende regio's binnen Europa en tussen Europa en de rest van de wereld.

Wat betekenen dergelijke processen voor de landschappen waarin we leven? Zijn deze veranderingen in Europees landgebruik goed of slecht? En hoe verhoudt deze concentratie en intensivering van de landbouw zich tot de door velen omarmde ambitie van de multifunctionele landbouw [22,23]?

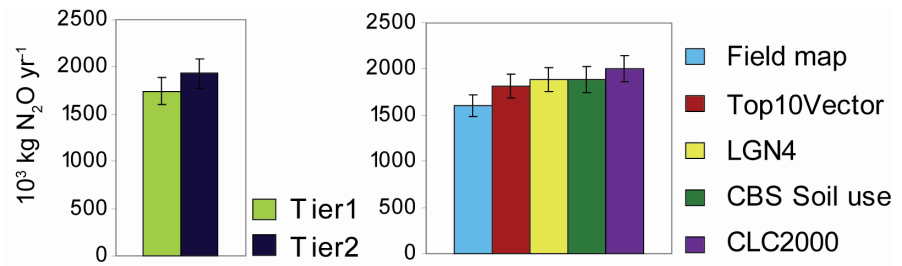
De gebieden waar de landbouw afneemt zijn vaak gebieden waar de landbouw erg extensief is. Extensieve landbouw gaat in veel gevallen samen met diverse, cultuurhistorisch aantrekkelijke landschappen met een hoge agrobiodiversiteit, gekenmerkt door bijvoorbeeld het voorkomen van orchideeën [24]. Wanneer deze landbouwgrond verlaten wordt, geeft dit mogelijkheden voor grotere aaneengesloten natuurgebieden. In de Karpaten is dit proces al lang gaande en is het leefgebied voor beren en wolven duidelijk meer aaneengesloten en groter geworden [25,26]. We verliezen orchideeën en winnen beren. Dat is een interessante tradeoff!

Wanneer gebieden een traject van intensivering en schaalvergroting inslaan, verliezen ze vaak agrobiodiversiteit en cultuurhistorische waarde. Echter, aan de andere kant is de rurale economie, en mogelijk de leefbaarheid van het platteland, de grote winnaar. Alweer zo'n interessante tradeoff. Aangezien de agrobiodiversiteit en de cultuurhistorische waarde van het landschap in beide gevallen de verliezer zijn, is er beleid, als onderdeel van het Europese Gemeenschappelijk Landbouw Beleid, om het behoud van deze functies te ondersteunen door boeren te betalen voor management gericht op deze functies. In gebieden waar veel landbouwgrond verlaten wordt, kan het door deze betaling aantrekkelijk zijn om te blijven boeren. In gebieden waar de landbouw intensiever wordt, kunnen de extra inspanningen om de landschappelijke en biodiversiteitswaarden te beschermen zo worden gefinancierd.

Waar welke tradeoffs van belang zijn en wat waar de sturende factoren zijn van dergelijke processen is een belangrijk onderdeel van ons onderzoek. Een voorbeeld hiervan is de dit jaar door ons geproduceerde kaart die een indicatie geeft van waar in Europa hoge agrobiodiversiteitswaarden te verwachten zijn. Deze kaart is gemaakt door statistische gegevens over de intensiteit van het landgebruik, puntobservaties van landgebruikspatronen door heel Europa en gegevens van het voorkomen van belangrijke diersoorten en plantsoorten met elkaar te integreren om zo de ligging van de meest waardevolle gebieden te kunnen bepalen



Rijstareaal in Centraal Luzon (Filippijnen) bepaald op basis van radarbeelden en rapportage in landbouwstatistiek [27]



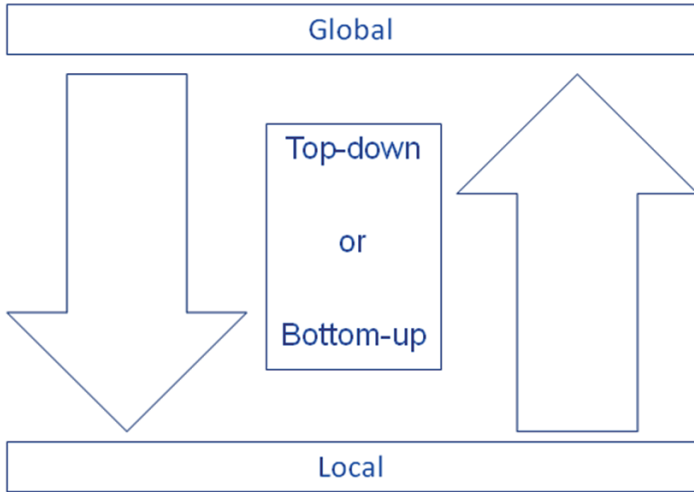
$\text{N}_2\text{O}$  emissie uit het Nederlands veenweidegebied bepaald op basis van verschillende rekenmethoden (links) en op basis van verschillende landgebruikdata

[28]. Door zulke kaarten te produceren en te vergelijken met ruimtelijke voorspellingen van gebieden waar landgebruiksveranderingen verwacht worden, kunnen de gebieden gevonden worden die het meeste interventie nodig hebben om ongewenste tradeoffs te voorkomen. Soms zijn we, in het tijdperk van google maps, in de veronderstelling dat we heel goed weten hoe het aardoppervlak eruit ziet en is het verbazingwekkend dat dergelijke gegevens nog ontbreken [29].

De voorgaande voorbeelden geven al een beeld van het type onderzoek dat wij doen binnen het veld van de Milieugeografie. Het onderzoek en de daarbij gebruikte methodes zijn divers. We kunnen het onderzoek echter grofweg indelen in twee groepen waarbinnen een fundamenteel verschillende benadering wordt gebruikt: top-down en bottom-up onderzoek [30]. Beginnen we bij de grote (mondiale) context en werken we toe naar de lokale gevolgen of proberen we uit de lokale processen de grotere patronen beter te begrijpen?

### **Top-down methodes**

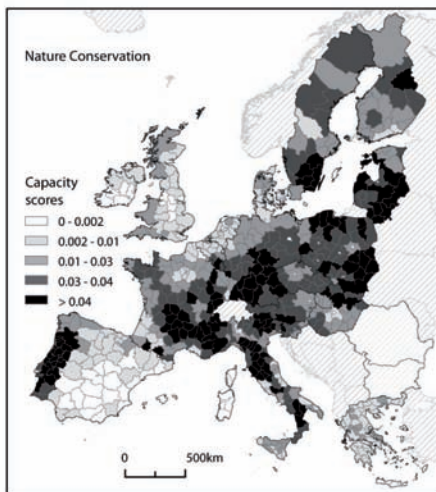
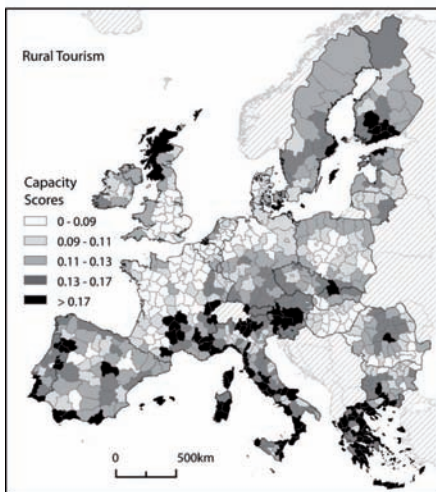
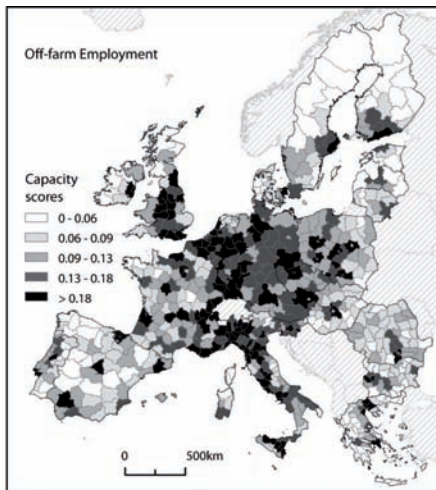
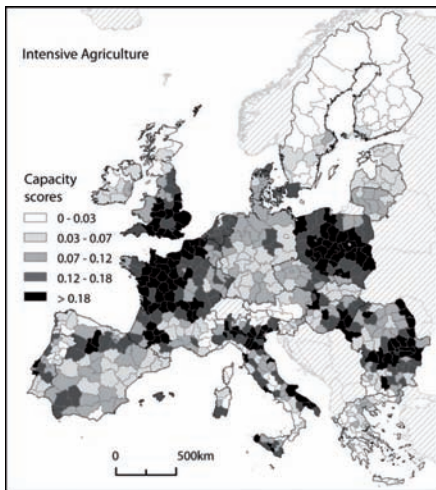
Een voorbeeld van top-down onderzoek is het observeren en karteren van het aard- en zeeoppervlak en het identificeren van gebieden waar snelle veranderingen plaatsvinden. Aardobservatie door middel van satellieten speelt daarbij een belangrijke rol. Binnen de afdeling richten we ons hierbij met name op technieken om veranderingen in het water, zee en meren, waar te nemen. Een voorbeeld is een studie gericht op de dynamiek van phytoplankton in de Noordzee [31]. Ook de modellen van landgebruiksveranderingen die ik eerder liet zien, zijn gebaseerd op de analyse van gegevens, verkregen door de interpretatie van satellietbeelden. Hoewel deze technieken vergevorderd zijn, weten we minder van het mondiaal landgebruik dan vaak wordt verondersteld [29,32]. Onnauwkeurigheden in observatie, complexiteit van vegetatie en gewaspatronen, een gebrekkige ruimtelijke resolutie in mondiale studies en wolken in de natte tropen leveren problemen op en maken het moeilijk om uit satellietbeelden een goed beeld te krijgen van het mondiaal landgebruik. Hier is nog veel te winnen: data zijn de basis van elke verdere analyse. Ik laat u twee voorbeelden zien. Het eerste voorbeeld is een vergelijking van twee manieren van bepalen van het rijstareaal in Centraal Luzon, een van de belangrijkste voedsel producerende regio's in de Filipijnen [27]. De vergelijking is gemaakt op basis van respectievelijk radarbeelden en productiestatistieken verzameld per administratieve eenheid. Wanneer deze data op het niveau van administratieve eenheden worden vergeleken, zijn de verschillen zichtbaar. Hoewel het patroon als geheel redelijk overeenkomt, zijn de absolute verschillen groot. Welke data zijn correct? Geen van beide! Radarbeelden zien stukken moeras aan voor rijstvelden en tellen door de gelimiteerde ruimtelijke resolutie wegen, dijkes, irrigatiekanalen en kleine huisjes tussen de rijstvelden op bij het areaal rijstvelden. Een versimpelde representatie van de diversiteit leidt in dit geval tot een overschatting van het rijstareaal. Statistische data kunnen afwijkingen vertonen door foute rapportage, onvolledige rapportage of strategische en politieke argumenten. In veel landen is het inventarisatiesysteem gekoppeld aan het belastingstelsel: geen boer die zijn rijstareaal zal overschatten en daardoor teveel belasting zal betalen!





Dat dergelijke verschillen in ruimtelijke representatie belangrijk zijn voor milieuonderzoek laat het volgende voorbeeld zien. Hier ziet u landgebruikkaarten voor eenzelfde polder in west Nederland, gerepresenteerd in verschillende datasets [33]. Elke dataset heeft voor de samenstelling gebruik gemaakt van verschillende methodes en criteria. Sommige data zijn volledig op satellietbeelden of luchtfoto's gebaseerd, terwijl er in andere gevallen intensief veldwerk is gedaan. In een dergelijk landschap waar lineaire elementen, in dit geval sloten, een grote rol spelen, kan het gebruik van een dataset die dergelijke elementen door het formaat niet kan weergeven, leiden tot een overschatting van het areaal landbouw en een onderschatting van het areaal water. Is het erg dat we al deze slotjes niet op de kaart zetten en meenemen in onze analyse? Voor sommige toepassingen van de data zeker. Dat wordt duidelijk in een analyse van de invloed van deze verschillen op de inventarisatie van de emissie van het broeikasgas  $N_2O$ : lachgas. Bij het maken van een schatting van de emissie van dit broeikasgas kunnen we kiezen tussen ingewikkelde en simpele berekeningsmethoden welke tot aanzienlijke verschillen in de emissies leiden, zie de linker grafiek. Onze nationale onderzoeksprogramma's hebben veel geld geïnvesteerd in het verbeteren van deze berekeningsmethodes. Echter, het gebruik van verschillende basisdata heeft een minstens even groot effect op de geschatte emissies, zoals in het rechter deel van de figuur te zien is. Om de orde van grootte van dergelijke effecten te illustreren: Nederland zou aan een groot deel van de gewenste emissiereductie kunnen voldoen door simpelweg over te stappen op een andere bron van landgebruikdata in de emissieregistratie.

Ook de modelberekeningen die ik eerder presenteerde zijn een typisch voorbeeld van een top-down methode: mondiale modellen van de macro-economie bepalen de grote patronen, waarna meer gedetailleerde modellen de gevolgen van deze grootschalige veranderingen in meer detail bepalen [15,34]. In dit geval wordt de analyse stapsgewijs verfijnd en zo ook de ruimtelijke representatie. De mondiale economische modellen gebruiken grote wereldregio's als eenheden van analyse [35]. Daarbinnen wordt ruimtelijke variabiliteit niet meegenomen. Mondiale landgebruikmodellen, zoals het integrated assessment model IMAGE, gaan uit van grote pixels van ongeveer 50 bij 50 kilometer waarbinnen het landgebruik homogeen is [36]. Hoewel een dergelijke representatie er vanaf afstand nog wel redelijk uitziet, zien we bij het inzoomen op Europa dat een dergelijke representatie niet voldoende is om een accurate analyse van de milieueffecten te maken. Vandaar dat we meer gedetailleerde modellen gebruiken om te bepalen hoe het landgebruik verandert. In dit geval is het CLUE model gebruikt, met een resolutie van 1 vierkante kilometer [17,37]. Op Europees niveau geeft dit heel veel meer detail en als we op deze kaart wat verder inzoomen, zien we de gesimuleerde processen in hun ruimtelijke context. De getoonde animatie loopt over een periode van 30 jaar. We zien, nabij de grote steden, urbanisatie. In de bergen zien we het verlaten van landbouwgronden waardoor grote, ononderbroken stukken bos ontstaan. We zien echter ook gebieden met zeer beperkte dynamiek in de landbedekking, bijvoorbeeld de Po Vallei. Dat betekent niet dat er niks verandert. Terwijl de dominante landbedekking hetzelfde blijft, kunnen het land management en de ecosystemendiensten sterk veranderen. Doordat de meeste data die we hebben, gebaseerd zijn op satellietwaarneming ligt de nadruk in veel studies bij de landbedekking: management en de geleverde ecosystemendiensten zijn immers niet waarneembaar in satellietbeelden. Daardoor geven we bijna automatisch ook minder aandacht



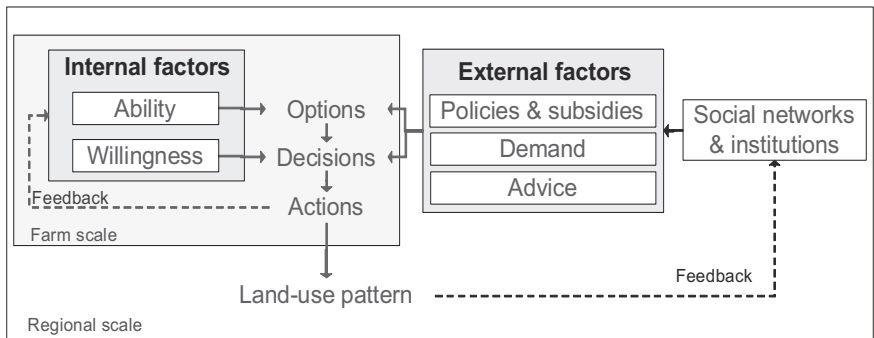
Potentieel voor verschillende rurale functies [38]

aan de analyse van veranderingen in land management en ecosysteemdiensten [39,40]. De macro-economisch modellen sturen de vraag naar landgebruik vanuit de vraag naar voedsel, energie en vezels. De vraag naar andere ecosysteemdiensten wordt niet meegenomen. Het is dan ook een grote uitdaging om de intensiteit van het landgebruik en de geleverde ecosysteemdiensten in kaart te brengen. Hier ziet u een eerste resultaat van een studie waarin wij voor de landbouwgebieden binnen Europa de intensiteit van het landbouwmanagement hebben bepaald [28]. Het is duidelijk dat de homogene klasse "landbouw" in de landbedekkingskaart verre van homogeen is en er grote verschillen in de intensiteit van het management zijn binnen Europa. Zulke verschillen in intensiteit hebben natuurlijk gevolgen voor de ecosysteemdiensten die de landbouw levert, bijvoorbeeld het beschermen van agrobiodiversiteit. In een andere studie, binnen het Europese RUFUS project, hebben we op basis van omgevingsfactoren en sociaaleconomische indicatoren, het potentieel van regio's om bepaalde diensten te leveren bestudeerd [38]. In een van de kaarten hebben we bepaald welke gebieden een hoog potentieel hebben voor de toerisme sector. Dit kunnen gebieden zijn die bijvoorbeeld zon, zee en strand te bieden hebben, maar ook gebieden met een afwisselend landschap en cultuurhistorische waarde. Een andere kaart geeft aan welke gebieden een hoog potentieel hebben voor intensieve landbouw. Deze kaarten geven een eerste overzicht van de diversiteit in het potentieel voor deze rurale functies voor de hele Europese Gemeenschap.

De gepresenteerde top-down analyses hebben zowel voor- als nadelen. Vaak worden geobserveerde ruimtelijke patronen gebruikt om processen te ontrafelen, of worden huidige ruimtelijke patronen gebruikt om toekomstige patronen te voorspellen. Een dergelijke inductieve benadering levert niet per definitie causale relaties. Meerdere processen kunnen tot dezelfde ruimtelijke patronen leiden en hetzelfde proces kan verschillende ruimtelijke representaties hebben. Een voorbeeld hiervan is een analyse van de ruimtelijke verdeling van geïrrigeerde gronden [41,42]. Door de mondiale verdeling van geïrrigeerde landbouwgrond statistisch te correleren met ruimtelijke patronen van mogelijke sturende factoren, hebben we onderzocht welke van deze factoren de variatie in irrigatie kunnen verklaren. Logische factoren zijn hierbij klimaat en hydrologische omstandigheden. Ook blijkt bevolkingsdichtheid en bestuur op nationaal niveau een significante rol te spelen. Dergelijke resultaten geven echter slechts een overlap in ruimtelijke patronen weer die vaak veroorzaakt zijn door onderliggende processen. Zo zal een hoge bevolkingsdichtheid niet direct de oorzaak zijn van een hogere fractie irrigatie maar eerder een rol spelen via hogere landprijzen en de daarmee samenhangende voordelen van intensivering van de landbouw. Ondanks dergelijke problemen met de interpretatie van de gevonden associaties kan een dergelijke analyse ons toch een goede eerste indruk geven van het belang van verschillende factoren. Naast problemen met de causaliteit worden in top-down methodes de lokale, sociale factoren vaak slecht gerepresenteerd en is er meestal geen terugkoppeling vanuit de meer gedetailleerde analyse naar de hogere niveaus. Mede door deze problematiek is een meer bottom-up benadering de afgelopen jaren steeds populairder geworden.

### **Bottom-up methodes**

Bottom-up methodes beginnen bij de individuele actoren en analyseren hoe bijvoorbeeld individuele besluitvorming tot grotere ruimtelijke patronen leidt: het landschap als gevolg van



Representatie van besluitvorming in een multi-agent model [43]

het samenspel van individuele activiteiten. Zogenaamde multi-agent modellen gebruiken de reken capaciteit van computers om al deze processen te simuleren [44]. Ook hier kiezen we weer voor een vereenvoudigde representatie van het systeem. Dit diagram geeft aan hoe in één van zulke multi-agent modellen van ruraal landgebruik de besluitvorming van de actoren wordt gerepresenteerd [43]. De actoren worden beïnvloed door regelgeving, de markt en hun informele netwerken. De acties van de actoren beïnvloeden wat ze op welk perceel doen en de acties van alle actoren samen leveren veranderingen in het landschap op. In de representatie van besluitvorming wordt expliciet rekening gehouden met diversiteit: geen boer is hetzelfde en de opties die hij of zij heeft in het maken van besluiten zijn afhankelijk van zijn of haar mogelijkheden, bijvoorbeeld de financiële situatie of de externe regelgeving. Onafhankelijk van zijn mogelijkheden heeft elke actor ook eigen preferenties en voorkeuren, die ook weer door de buitenwereld beïnvloed kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld of een boer het prettig vindt om toeristen op zijn erf te ontvangen. Op basis van de opties en preferenties worden besluiten genomen die tot acties leiden op een perceel. Al deze acties samen leiden tot veranderingen in het landschap [45].

Wederom moeten we de diversiteit van verschillen tussen individuele actoren vereenvoudigen: niet ieder individu kan precies in het model worden gerepresenteerd. Daarom wordt er een typologie van actoren gemaakt op basis van de belangrijkste verschillen in mogelijkheden en preferenties van de actoren. Alle individuen worden geclassificeerd in een aantal types waarvoor dezelfde gedragsregels worden aangenomen in het model [46]. In het getoonde voorbeeld onderscheiden we bijvoorbeeld verschillende type boeren in de Nederlandse Achterhoek. We onderscheiden hobbyboeren, boeren die wel of niet schaalvergroting als doel hebben en boeren die wel of niet een verbreding van de activiteiten, met bijvoorbeeld toerisme, zien zitten. In het geval van de getoonde studie is het op basis van dit model mogelijk om ontwikkelingen te simuleren met betrekking tot de grootte van de boerenbedrijven, het gebruikte landbouwareaal en het beheer van de houtwallen. Alle individuele veranderingen samen geven inzicht in hoe het landschap in dit gebied kan veranderen.

Een andere bottom-up benadering is gebaseerd op het participatief werken met belanghebbenden om daarbij te komen tot een proces van gezamenlijk leren en zoeken naar oplossingen. Het onderzoek start niet bij de wetenschapper, maar bij de belanghebbenden. Hoe zien zij de toekomst? Welk type ontwikkelingen kunnen zij zich voorstellen? Wat is er nodig om deze ontwikkelingen te laten plaatsvinden? Wat zijn de factoren die een gewenste ontwikkeling tegenhouden? Wat kan waar? En wie is daar dan bij betrokken? De ontwikkeling van scenario's voor de toekomst is daarbij een belangrijk middel. Hier ziet u een illustratie van een dergelijke studie in het noorden van Portugal [47]. Tijdens het gezamenlijk ontwikkelen van dergelijke scenario's is het nodig de ruimtelijke diversiteit van de ontwikkelingen expliciet te bespreken. Een multi-functionele boerderij in het midden van een uitgestrekt, eentonig landbouwgebied zal als gevolg van de geïsoleerde ligging moeite hebben biodiversiteitswaarden te ontwikkelen of toeristen te trekken: de ruimtelijke context is van belang. Ook bij participatief werk kan gebruik worden gemaakt van kaarten om deze ruimtelijke dimensies te bespreken en mogelijke ontwikkelingen in kaartbeelden te visualiseren [48]. Op deze slide ziet u hoe de stakeholders verwachten dat het kaartbeeld zal veranderen als gevolg van verschillende toekomstige ontwikkelingen in het gebied. Het is ook mogelijk om meer geavanceerde technieken te



Visualisatie van het huidig landschap en drie scenario's in Portugal [47]

gebruiken: fotorealistische visualisaties van de veranderingen in het landschap onder de verschillende scenario's. De foto's laten respectievelijk het huidige landschap zien, de ontwikkeling van het landschap indien de landbouw grotendeels verdwijnt en een tweetal alternatieven van gewenste ontwikkelingen zoals geschetst door de lokale bevolking. In het eerste alternatief speelt toerisme een belangrijke rol en leeft de economie op, het dorp breidt zelfs wat uit doordat mensen er recreatiewoningen bouwen. In het tweede alternatief speelt de landbouw weer een belangrijke rol. In dit multifunctionele landschap drijft de rurale economie op toerisme dat aangetrokken wordt door het traditionele landschap en de productie van regionale producten. Het gebruik van dergelijke visualisaties levert nieuwe input in discussies met de belanghebbenden. Door de visualisaties wordt duidelijk wat de visies betekenen en wat de tradeoffs zijn. Tevens zijn de visualisaties het begin van een discussie of een dergelijke ontwikkeling wel realistisch is.

Mijn collega Ron Janssen gebruikt binnen de afdeling nog veel geavanceerdere technieken om dergelijke discussie met belanghebbenden te ondersteunen, een zogenaamde 'touch-table' [49]. Hierop kunnen interactief plannen worden getekend. Tegelijkertijd kan een koppeling met een simulatiemodel ervoor zorgen dat de plannen direct doorgerekend worden en de gevolgen op het scherm worden weergegeven. Wanneer de gevolgen als negatief worden ervaren kan direct een alternatief plan worden gemaakt. Vanuit wetenschappelijk perspectief analyseren wij hoe we het best dergelijke interactieve processen kunnen vormgeven om zo wetenschappelijke kennis een optimale rol te geven binnen de interactie met de belanghebbenden.

Dergelijke 'bottom-up' methodes hebben grote voordelen: ze nemen de belanghebbenden serieus, hebben aandacht voor besluitvorming en de processen die aan de basis liggen van grootschaliger veranderingen. Maar tegelijkertijd zijn deze analyses zeer moeilijk uit te voeren voor grote gebieden: heel veel data en informatie is nodig die vaak niet voor grote gebieden beschikbaar is. Het verbinden van individueel gedrag met de ruimtelijke context is lastig: de resulterende landgebruikspatronen zijn het gevolg van de interactie van duizenden tot miljoenen mensen die elk een klein stukje grond beheren.

Het moge duidelijk zijn: allebei de onderzoeksbenaderingen, bottom-up en top-down, hebben hun eigen sterke en zwakke punten. Daarom kiezen wij in de afdeling ook niet voor één paradigma. Afhankelijk van de vraagstelling kiezen wij de benadering die daar het beste bij past en soms proberen we eenzelfde vraagstuk vanuit beide richtingen te benaderen om zo de meerwaarde van verschillende methoden te gebruiken. Het begrijpen van de invloed van de mondiale context op regionale processen is minstens zo belangrijk als het analyseren van lokale aanpassingen aan grootschalige ontwikkelingen en wat die aanpassingen betekenen voor landschap en ecosysteemdiensten.

### **Spatial Analysis and Decision Support: SPACE**

Dit brengt mij bij de afdeling Spatial Analysis and Decision Support, kortweg SPACE, van het Instituut voor Milieuvraagstukken, waar ik sinds een jaar het hoofd van mag zijn. Veel van de voorbeelden van onderzoek die de revue zijn gebaseerd heb ik geleend uit het onderzoek dat in de afdeling wordt gedaan. We doen nog veel meer en jammer genoeg is het niet mogelijk hier





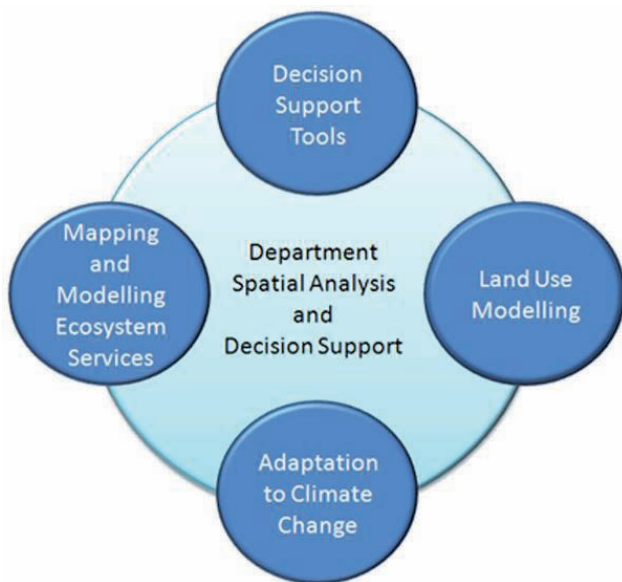
een volledig overzicht van al het onderzoek te laten zien. Een eerste indruk van de diversiteit aan methodes en thema's die binnen de afdeling aan bod komen kan de indruk wekken dat het een allegaartje is: van algengroei tot recreatie; van overstromingsrisico's tot high-tech workshops over ruimtelijke planvorming. Toch zit er een logische lijn in het werk van de afdeling. Wij richten ons op de hele keten van ruimtelijk milieuonderzoek die zich uitstrekt van het observeren van ruimtelijke patronen door middel van satellietbeelden tot het ondersteunen van belanghebbenden en beleidsmakers. Wij ontwikkelen betere methodes om ruimtelijke patronen te observeren en te karteren. We maken modellen om scenario's van toekomstige veranderingen te kunnen voorspellen: alleen de huidige situatie observeren is niet voldoende. Modellen kunnen helpen om tijdig potentiële milieuproblemen te zien aankomen en te bepalen hoe onze huidige acties een mogelijke tradeoff hebben op de toekomstige provisie van ecosysteemdiensten. We zoeken ook naar oplossingen: hoe kunnen wij ons tijdig aanpassen aan klimaatverandering? Richten wij ons land anders in of verzekeren wij ons tegen overstromingsrisico's? Binnen ons onderzoek naar adaptatie kijken we vooral naar hoe we ons kunnen wapenen tegen meer, of minder water. In Nederland en deltagebieden wereldwijd kijken we naar overstromingsrisico's, in andere regio's kijken we naar aanpassingen aan toenemende droogte, zoals het hier getoonde zanddammetje dat bij regen het water vasthoudt.

Tot slot onderzoeken wij hoe we ruimtelijke informatie kunnen gebruiken om beslissingsprocessen te ondersteunen om zo de wetenschappelijke inzichten efficiënt onder de aandacht te brengen. Dit is niet altijd een slotfase van het onderzoek: goede interactie met belanghebbenden start al bij het begin van het onderzoek!

Al dit onderzoek heeft een nadrukkelijk ruimtelijk perspectief: Wat gebeurt waar? Waar het gebeurt, bepaalt wie waar profiteert of schade ondervindt. Welk proces op welke locatie invloed heeft, kan inzicht geven welke oplossing waar het meest efficiënt is. En natuurlijk, hoewel het presenteren en besluiten op basis van één getal vaak aantrekkelijk is, blijft het van belang beleidsmakers en andere belanghebbenden te overtuigen waarom een ruimtelijk perspectief zo belangrijk is. Daarmee is de missie van de afdeling geschetst: we onderzoeken de ruimtelijke dimensie van milieuvraagstukken. Ruimte als oorzaak, gevolg en oplossing van milieuproblematiek.

### **Nieuw leven voor de geografie!**

Mijn fascinatie voor de geografie is niet nieuw: als kind kon ik al eindeloos landkaarten en luchtfoto's bestuderen. Vanuit de lucht worden de fascinerende patronen van ons aardoppervlak zichtbaar. Elk patroon heeft zijn eigen verhaal. Soms ontstaan door een lange historie van natuurlijke processen, soms het resultaat van een intrigerend samenspel van de mens met zijn natuurlijke omgeving. Naar beneden kijkend uit een vliegtuigraampje is de enorme invloed van de mens duidelijk. Soms is de diversiteit van de natuurlijke omgeving hierdoor verder benadrukt, in andere gevallen is de natuurlijke diversiteit geminimaliseerd doordat overal overheen een dek van asfalt of bedrijventerreinen is gelegd. Deze ruimtelijke patronen maken ook duidelijk dat wij keuzes kunnen maken over de toekomst. Deze keuzes zijn niet altijd simpel of tussen goed en kwaad: tradeoffs door ruimte en tijd zijn veelal complex en verschillende processen zijn onderling verbonden. We hebben bijvoorbeeld eerder al gezien dat



het verlaten van marginale landbouwgronden en de intensivering op andere plekken innig met elkaar verbonden zijn. Ruimtelijke verweving van functies of het scheiden van functionaliteiten zijn opties en de locatie bepaalt welke optie het meest kansrijk is. Keuzes die wij maken, bijvoorbeeld in onze mobiliteit en ons consumptiepatroon, hebben gevolgen hier, maar ook elders of later. Veranderingen elders kunnen echter, op termijn, ook weer een terugkoppeling hebben op onze omgeving. Indirect is uw biefstuk misschien wel verbonden met een groter overstromingsrisico. Dat is fascinerend en dergelijke processen bieden de wetenschap een enorme uitdaging.

In deze context is het de rol van de wetenschap om de tradeoffs zichtbaar te maken, te kwantificeren en bewustzijn te genereren. Participatieve technieken en scenario-studies zijn daarbij belangrijk. Vanuit scenario's werken aan een meer visionaire toekomst, waarbij ruimtelijke en temporele tradeoffs een belangrijke rol spelen in de keuzes hier en nu. Een dergelijke visionaire benadering staat in schril contrast met het huidige kortetermijn populisme dat regeert. Visionair denken lijkt te zijn gereduceerd tot een intellectuele hersenoefening zonder daadkracht. De wetenschap is onthand en wordt nog net niet gezien als een linkse hobby. Toch is het juist de taak van de wetenschap om de nuance terug te brengen in de discussie. De achilleshiel is hierbij de noodzaak om simpele boodschappen te brengen over een complexe realiteit. Ruimtelijke en temporele diversiteit zullen er altijd voor zorgen dat het algemene patroon ergens niet opgaat. Zo wordt de eerste strenge winterdag in Europa een argument om klimaatverandering te ontkennen in het mondiaal warmste jaar ooit. In de tijd van Google Earth en tomtom, waarin iedereen elk moment van de dag kaarten tot zijn beschikbaar heeft, moet het mogelijk zijn de nuance en context via ruimtelijke informatie te communiceren. De geografie kan nieuw leven krijgen door een groter algemeen bewustzijn van het belang van ruimtelijke diversiteit voor de mondiale omgeving. SPACE matters is de oude legitimatie van de geografie. SPACE matters niet alleen voor ons begrip van de leefomgeving, maar SPACE matters ook voor een betere ontwikkeling van het bewustzijn van ons handelen. Ik hoop de komende jaren samen met de afdeling op deze wijze een stukje aan de beschaving bij te dragen.

## **Dankwoord**

Hiermee ben ik aan het einde gekomen van mijn betoog. Het moge duidelijk zijn dat wat ik heb verteld niet allen mijn eigen werk is. Ik heb voorbeelden laten zien van onderzoek van veel verschillende mensen waarmee ik met veel plezier heb mogen samenwerken. Nabije en verre collega's, PhD studenten en professoren, geografen, ecologen en economen, een hele diverse groep. Ik hou van deze diversiteit en ben iedereen met wie ik heb samengewerkt dankbaar daarvoor: ik heb er veel van geleerd en het was vaak ook gewoon leuk. Ik hoop in de komende jaren nog veel nieuwe samenwerkingen aan te gaan, binnen het Instituut voor Milieuvraagstukken maar ook daarbuiten. Ik zou graag iedereen willen bedanken voor zijn of haar steun, ik kies er echter voor om slechts een paar mensen te noemen. Allereerst wil ik het College van Bestuur van de Vrije Universiteit en de Faculteit Aard- en Levenswetenschappen bedanken voor het mogelijk maken van deze hoogleraarpositie. Frans Berkhout en de overige



leden van de directie van het Instituut voor Milieuvraagstukken wil ik bedanken voor het gestelde vertrouwen, en in het bijzonder wil ik de afdeling SPACE, de andere IVM collega-onderzoekers, en ondersteuning bedanken voor de warme ontvangst en de prettige samenwerking tot nu toe. Het IVM is een fijne plek om te werken en het is uniek om deel te zijn van een instituut dat al 40 jaar een pionier is in goed milieuonderzoek, met grote maatschappelijke betrokkenheid, en tegelijk capabel is om het onderzoek geheel te financieren vanuit externe opdrachten. Ik sta hier vandaag niet alleen op eigen kracht. Mijn omgeving heeft mij heel veel ondersteuning gegeven. Ik noem daarbij specifiek mijn promotoren Johan Bouma, Louise Fresco en Tom Veldkamp. Ik heb op de schouders van grote namen mogen staan! En tot slot: het leven is niet slechts werk, al zijn sommige aspecten van werk ook tijdens de vakantie erg verslavend! Om elke keer weer te beseffen dat er meer is, is mijn persoonlijke omgeving heel belangrijk. Ik dank mijn ouders hiervoor en bovenal mijn drie 'meisjes': mijn vrouw Geertje en mijn dochters Esther en Anna. Jullie maken dat thuiskomen elke dag een feest is!

Ik heb gezegd.



## Referenties

1. Von Thünen J.H. (1966). *Der Isolierte Staat in Beziehung der Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hall P, ed. (Oxford: Pergamon).
2. Alonso W. (1964). *Location and land use*. (Cambridge, Mass.: Harvard University Press).
3. Chomitz K.M. and Gray D.A. (1996). Roads, Land Use, and Deforestation: A spatial model applied to Belize. *The World Bank Economic Review* 10: 487-512.
4. Walker R. (2004). Theorizing land-cover and land-use change: The case of tropical deforestation. *International Regional Science Review* 27: 247-270.
5. Verburg P.H., Overmars K.P., and Witte N. (2004). Accessibility and land use patterns at the forest fringe in the Northeastern part of the Philippines. *The Geographical Journal* 170: 238-255.
6. Ellis E.C., Klein Goldewijk K., Siebert S., Lightman D., and Ramankutty N. (2010). Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000. *Global Ecology and Biogeography* 19: 589-606.
7. Willemsen L., Hein L., and Verburg P.H. (2010). Evaluating the impact of regional development policies on future landscape services. *Ecological Economics* 69: 2244-2254.
8. Hein L., van Koppen K., de Groot R.S., and van Ierland E.C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 57: 209-228.
9. Plummer M.L. (2009). Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7: 38-45.
10. Fisher B., Turner K., Zylstra M., Brouwer R., Groot R.d., Farber S., Ferraro P., Green R., Hadley D., Harlow J. et al. (2008). Ecosystem services and economic theory: integration for policy-relevant research. *Ecological Applications* 18: 2050-2067.
11. Ward P., Renssen H., Aerts J., and Verburg P. (2011). Sensitivity of discharge and flood frequency to twenty-first century and late Holocene changes in climate and land use (River Meuse, northwest Europe). *Climatic Change* <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9926-2>.
12. de Moel H., Aerts J.C.J.H., and Koomen E. (2011). Development of flood exposure in the Netherlands during the 20th and 21st century. *Global Environmental Change* <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.12.005>.
13. Bouwer L.M., Bubeck P., and Aerts J.C.J.H. (2010). Changes in future flood risk due to climate and development in a Dutch polder area. *Global Environmental Change* 20: 463-471.
14. Erb K.H., Krausmann F., Lucht W., and Haberl H. (2009). Embodied HANPP: Mapping the spatial disconnect between global biomass production and consumption. *Ecological Economics* 69: 328-334.

15. Verburg P., Eickhout B., and van Meijl H. (2008). A multi-scale, multi-model approach for analyzing the future dynamics of European land use. *The Annals of Regional Science* 42: 57-77.
16. Banse M., van Meijl H., Tabeau A., Woltjer G., Hellmann F., and Verburg P.H. (2011). Impact of EU biofuel policies on world agricultural production and land use. *Biomass and Bioenergy* <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.09.001>.
17. Verburg P. and Overmars K. (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landsc Ecol* 24: 1167-1181.
18. Eggers J., Trölsch K., Falcucci A., Maiorano L., Verburg P.H., Framstad E., Louette G., Maes D., Nagy S., Ozinga W. et al. (2009). Is biofuel policy harming biodiversity in Europe? *GCB Bioenergy* 1: 18-34.
19. Peet J.R. (1969). The Spatial Expansion of Commercial Agriculture in the Nineteenth Century: A Von Thunen Interpretation. *Economic Geography* 45: 283-301.
20. Mather A.S. and Needle C.L. (1998). The forest transition: a theoretical basis. *Area* 30: 117-124.
21. Rudel T.K., Coomes O.T., Moran E., Achard F., Angelsen A., Xu J., and Lambin E. (2005). Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change Part A* 15: 23-31.
22. Groot J.C.J., Rossing W.A.H., Tichit M., Turpin N., Jellema A., Baudry J., Verburg P.H., Doyen L., and van de Ven G.W.J. (2009). On the contribution of modelling to multifunctional agriculture: Learning from comparisons. *Journal of Environmental Management* 90: S147-S160.
23. Wilson G.A. (2008). From 'weak' to 'strong' multifunctionality: Conceptualising farm-level multifunctional transitional pathways. *Journal of Rural Studies* 24: 367-383.
24. Kleijn D., Kohler F., Báldi A., Batáry P., Concepción E.D., Clough Y., Díaz M., Gabriel D., Holzschuh A., Knop E. et al. (2009). On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276: 903-909.
25. Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V., van der Linden S., Perzanowski K., and Kruhlov I. (2008). Cross-border Comparison of Post-socialist Farmland Abandonment in the Carpathians. *Ecosystems* 11: 614-628.
26. Kuemmerle T., Perzanowski K., Chaskovskyy O., Ostapowicz K., Halada L., Bashta A.T., Kruhlov I., Hostert P., Waller D.M., and Radeloff V.C. (2010). European Bison habitat in the Carpathian Mountains. *Biological Conservation* 143: 908-916.
27. Verburg P.H., Van Bodegom P.M., Denier van der Gon H.A.C., Bergsma A.R., and Van Breemen N. (2006). Upscaling regional emissions of greenhouse gases from rice cultivation: methods and sources of uncertainty. *Plant Ecol* 182: 90-106.



28. Temme A.J.A.M. and Verburg P.H. (2011). Mapping and modelling of changes in agricultural intensity in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 46-56.
29. Verburg P.H., Neumann K., and Nol L. (2011). Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global Change Biology* 17: 974-989.
30. Verburg P. (2006). Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landsc Ecol* 21: 1171-1183.
31. Vermaat J.E., Quatters-Gollop A., Eleveld M.A., and Gilbert A.J. (2008). Past, present and future nutrient loads of the North Sea: Causes and consequences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80: 53-59.
32. Grainger A. (2009). Measuring the planet to fill terrestrial data gaps. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 20557-20558.
33. Nol L., Verburg P.H., Heuvelink G.B.M., and Molenaar K. (2008). Effect of land cover data on N2O inventory in fen meadows. *J. Environ. Qual.* 37: 1209-1219.
34. Verburg P.H., Schulp C.J.E., Witte N., and Veldkamp A. (2006). Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114: 39-56.
35. Meijl H.v., van Rheenen T., Tabeau A., and Eickhout B. (2006). The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114: 21-38.
36. Strengers B., Leemans R., Eickhout B., De Vries B., and Bouwman A.F. (2004). The land-use projections and resulting emissions in the IPCC SRES scenarios as simulated by the IMAGE 2.2 model. *GeoJournal* 61: 381-393.
37. Verburg P., van Berkel D., van Doorn A., van Eupen M., and van den Heiligenberg H. (2010). Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. *Landsc Ecol* 25: 217-232.
38. van Berkel D.B. and Verburg P.H. (2011). Sensitising rural policy: Assessing spatial variation in rural development options for Europe. *Land Use Policy* 28: 447-638.
39. Hibbard K., Janetos A., van Vuuren D.P., Pongratz J., Rose S.K., Betts R., Herold M., and Feddema J.J. (2010). Research priorities in land use and land-cover change for the Earth system and integrated assessment modelling. *Int. J. Climatol.* 30: 2118-2128.
40. Verburg P.H., van de Steeg J., Veldkamp A., and Willemsen L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *J Environ Manag* 90: 1327-1335.

41. Portmann F.T., Siebert S., and Döll P. (2010). MIRCA2000;Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling. *Global Biogeochem. Cycles* 24: GB1011.
42. Neumann K., Stehfest E., Verburg P.H., Siebert S., Müller C., and Veldkamp A. (2011). Exploring global irrigation patterns: A multilevel modeling approach. in review.
43. Valbuena D., Verburg P.H., Bregt A.K., and Ligtenberg A. (2010). An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. *Landscape Ecology* 25: 185-199.
44. Matthews R., Gilbert N., Roach A., Polhill J., and Gotts N. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Landsc Ecol* 22: 1447-1459.
45. Valbuena D., Verburg P.H., Veldkamp A., Bregt A.K., and Ligtenberg A. (2010). Effects of farmers' decisions on the landscape structure of a Dutch rural region: An agent-based approach. *Landscape and Urban Planning* 97: 98-110.
46. Valbuena D., Verburg P.H., and Bregt A.K. (2008). A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128: 27-36.
47. van Berkel D.B., Verburg P.H., Carvalho Ribeiro S., and Lovett A. (2011). Identifying assets and constraints for rural development with qualitative scenarios: A case study of Castro Laboreiro, Portugal. in review.
48. Dockerty T., Lovett A., Appleton K., Bone A., and Sünnerberg G. (2006). Developing scenarios and visualisations to illustrate potential policy and climatic influences on future agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114: 103-120.
49. Janssen R. and Stewart T.J. (2009). Making progress towards effective spatial decision support: a response from Janssen and Stewart. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36: 8-11.