

**Mondiale landgebruiksmodellering:
verbanden, causale ketens en werkelijke integratie**

Door Prof.dr. Rik Leemans



WAGENINGEN UNIVERSITEIT

Mondiale landgebruiksmodellering: verbanden, causale ketens en werkelijke integratie

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

De aarde begint vol te raken. Bijna een kwart van het landoppervlak is in cultuur gebracht en we gebruiken meer dan de helft van alle biologische productiviteit. De druk op de resterende delen wordt steeds groter. Met satellietbeelden kunnen we deze dominante invloed op het landoppervlak duidelijk zien. Duurzame ontwikkeling stelt voorwaarden aan de manier waarop wij het aardoppervlak gebruiken en dat is voldoende reden om daar op een wetenschappelijke manier naar te kijken.

Wetenschappelijk onderzoek laat zien dat land en landgebruik belangrijke onderdelen zijn van stofkringlopen en het klimaatsysteem. Langzamerhand begint nu het besef door te dringen dat land en landgebruik een centrale rol spelen in complexe dynamiek van de gehele Aarde. Land en landgebruik staan niet alleen aan begin (emissies) of eind (effecten) van de keten, maar vormen een integraal onderdeel van het systeem. Land en landgebruik worden niet alleen beïnvloed door, maar beïnvloeden zelf ook belangrijke processen. Zo is recentelijk gesuggereerd dat de kleine ijstijd in de late middeleeuwen is veroorzaakt door ontbossing in China en Europa.

Keuzes van een individu, een groep of een land geven richting aan het huidige landgebruik en kunnen voor lange tijd het aanzien van het landschap bepalen. Zo had het politieke besluit om het Braziliaanse wegnnet uit te breiden tot

gevolg dat kolonisten zich in de tot dan toe onontsloten gebieden konden vestigen, met de welbekende ontbossingspatronen tot gevolg. Toen later de tot dan toe landloze burgers zich ook eigenaar van een ontbost stuk land mochten noemen, kwamen migratiestromen op gang, waardoor ontbossing exponentieel toenam.

Deze voorbeelden geven aan dat landgebruik niet statisch, maar dynamisch is; dat land en landgebruik complexe interacties hebben met de lithosfeer (bodem), atmosfeer (lucht), de hydrosfeer (water) en het klimaat; en dat veranderingen in landgebruik niet alleen bepaald worden door biofysische factoren, maar ook door de sociaal-economische en politieke context. Landgebruik ontwikkelt zich nu in een tijd met snelle maatschappelijke en milieuveranderingen, zoals globalisering & biotechnologie en verhoogde CO₂-concentraties & klimaatverandering. Al deze factoren behoren tot "global change". Begrijpend en verklarend landgebruikonderzoek wordt door deze dynamiek en complexiteit een grote uitdaging.

In deze rede wil ik deze uitdaging verder uitwerken. Mijn doel is om mondiale modellen verder te ontwikkelen door gebruik te maken van wetmatigheden en generalisaties. Dit alles om het *hoe, waar, wanneer* en *waarom* van landgebruiksveranderingen en de effecten ervan beter te kunnen begrijpen en, waar mogelijk, te kunnen voorzien. Maar allereerst zullen enkele voor dit onderzoek belangrijke begrippen worden gedefinieerd.

Het begrippenkader

Wat is land, bedekking van land en landgebruik?

De Food & Agriculture Organisation van de Verenigde Naties (FAO) geeft definities van land, bedekking van land en landgebruik. Land is het begrensde gebied aan het aardoppervlak, het terrestrische gedeelte, dat alle aspecten van leven net op en onder dit oppervlak bevat. Tot het land behoren dus niet alleen bodem- en terreinvormen, oppervlaktewateren en planten- en dierenpopulaties, maar ook de klimatologische grenslaag tot de vrije atmosfeer, en alle akkers, weilanden en nederzettingen. Land is de basis voor producten, zoals voedsel en brandstof, en diensten, zoals koolstofvastlegging en waterreiniging. Wij zijn nog steeds in grote mate afhankelijk van land.

Land is meestal bedekt. De term "bedekking van land" (land cover in het Engels) refereert hieraan en omvat de natuurlijke of aangeplante vegetatie en alle menselijke infrastructuur, zoals huizen en wegen. Deze bedekking heeft een herkenbare ruimtelijke structuur, bestaat uit een specifieke soortensamenstelling en heeft een karakteristieke fenologie gedurende de seizoenen. Ook ijs-, rots-, zout- en zandvlaktes zijn bedekkingen. Wij nemen bedekking waar en beschrijven haar in eenduidige biologische en fysische termen.

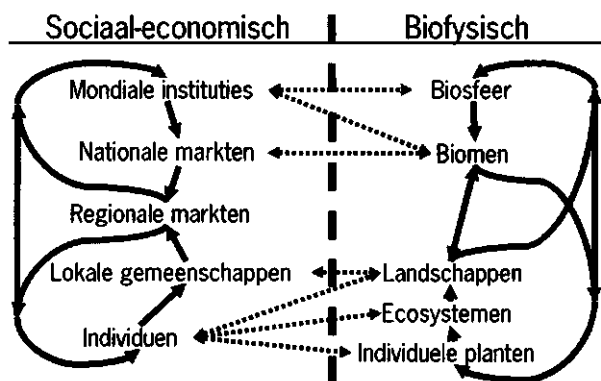
In de global-change literatuur is bedekking vaak synoniem voor vegetaties, ecosystemen of landschappen¹. Dit leidt tot spraakverwarringen. Vegetatie omvat alleen het plantendek en is daarom slechts een onderdeel van de totale bedekking. Een ecosysteem bestaat uit biotische en abiotische componenten,

maar ook omvat ook de interacties daartussen. Hierdoor is een ecosysteem een dynamisch geheel, terwijl bedekking een statisch begrip is. Een landschap is een heterogene verzameling van verschillende eenheden en wordt gebruikt om de ruimtelijke interacties te beschrijven.

Landgebruik is moeilijker eenduidig te definiëren. In de literatuur zijn dan ook vele definities voorhanden, variërend van aan landbouw activiteiten tot de expressie van menselijk handelen op bedekking. De FAO (1994) definieert landgebruik als de aan land gerelateerde menselijke activiteiten die voorzien in grondstoffen of die de aard van het land beïnvloeden. Landgebruik omvat dus alle activiteiten die bedekking veranderen. Deze activiteiten worden uitgevoerd met een bepaald doel, zoals voedselproductie, houtproductie of natuurbescherming. Het doel of de doelen bepalen dus de handelingen en de effecten ervan. Om het doel te bereiken zullen verschillende handelingen moeten worden verricht. Voor een oogst moet er geploegd, gezaaid, gewied en geoogst worden.

Turner *et al.* (1990) en ook het IGBP/IHDP onderzoeksprogramma "Land-use and land-cover change" (LUCC) definieert landgebruik vanuit de doelstelling. Hierdoor wordt een sterkere integratie bewerkstelligd tussen de natuur- en maatschappijwetenschappen en wordt ook onderkend dat landgebruik niet alleen bepaald wordt door de mogelijkheden van land, maar ook door de historische en maatschappelijke context: "Land use involves both the manner in which the biophysical attributes of the land are manipulated and the intent underlying that manipulation" (Turner *et al.* 1995). Deze definitie zorgt ervoor dat landgebruik en

land in één kader kan worden beschreven. Aan de biofysische dimensies wordt een sociaal-economische dimensie toegevoegd (Figuur 1). LUCC erkent dus dat land en klimaat lokaal randvoorwaarden stellen voor landgebruik, maar dat landgebruik tegelijkertijd een sterke invloed heeft op de bedekking van land.



Figuur 1. Verschillende dimensies, schaalniveau's en interacties in land en landgebruik.

Het IPCC-rapport "Land use, land use change and forestry"² bespreekt de gevolgen van het gebruik van verschillende definities van landgebruik, omdat het Kyoto-protocol de mogelijkheid geeft om CO₂ vast te leggen door herbebossing, waardoor de andere uitstoot van CO₂ minder snel gereduceerd hoeft te worden. Het rapport evalueert de vraag "Wat is een bos?". Nieuwe aanplant na kaalkap is geen nieuw bos bij een landgebruikdefinitie. Het perceel blijft geclassificeerd als bos, omdat de functie (bosbouw) wordt gecontinueerd. Met een bedekkingsdefinitie is dit anders.

Zodra de bomen gekapt zijn, is het bos weg en wordt het weer bos als het kroondek, bijvoorbeeld, 60%³ van het grondoppervlak bedekt. Het IPCC-rapport behandelt uitgebreid de gevolgen voor CO₂-vastlegging van verschillende definities en komt, net zoals ik, tot de conclusie dat de veelheid aan gehanteerde definities leidt tot onoverkomelijke spraakverwarringen.

Waarom is onderzoek naar landgebruik multidisciplinair?

De veelheid aan definities en de complexiteit van veranderingen in landgebruik maakt een samenhangende beschrijving van de dynamiek van land en landgebruik nagenoeg onmogelijk. Van oudsher heeft onderzoek zich dan ook gericht op het analyseren van brokstukken ervan. In de loop van de tijd heeft elke discipline zich een karakteristiek brokstuk toegeëigend en vaak verder verbrokkeld.

Als men de wetenschappelijke literatuur in ogenschouw neemt, dan valt op dat vele disciplines over landgebruik publiceren. Mather stelde in 1986 al dat "Landgebruik is in het belang van vele disciplines, maar het domein van geen"⁴. Dit geldt nog steeds. Een breed geaccepteerd begrippen kader en onderzoeksmethodiek voor landgebruikonderzoek zijn er helaas niet, waardoor een brede synthese van de inzichten rond de relaties tussen land, bedekking, landgebruik en veranderingen daarin, vooralsnog nauwelijks van de grond komt.

Verscheidenheid speelt hierbij een grote rol. De mogelijke keuze van vele verschillende gewassen, koppelingen met lokale, regionale en mondiale markten, de variabiliteit van

klimaat en weer, de beperkingen van bodems, etc. dragen bij aan een grote diversiteit aan landgebruiksystemen wereldwijd. Voor een kwantitatieve, dynamische beschrijving van land en landgebruik zal al deze diversiteit bij elkaar moeten worden gebracht. Inzichten vanuit, bijvoorbeeld ecologie, teeltkunde, bodemkunde, geografie en economie, moeten in een samenhangend kader worden ingebed, waarbij aandacht wordt besteed aan de biofysische, socio-economische, maatschappelijke en culturele dimensies en de relevante ruimten- en tijdschalen.

Helaas wordt dit nog nauwelijks gedaan. Het opzetten van zo'n kader vergt vanzelfsprekend een multidisciplinaire wetenschappelijke aanpak. Maar om de onderzoekstraditie van elke relevante discipline in haar waarde te laten, zullen nieuwe wegen gezocht moeten worden om de meerwaarde ervan te kunnen oogsten. Naast een open en leergierige attitude van individuele onderzoekers vergt dit ook een instrumentarium waarin eenieder zijn eigen inbreng in kan hebben. Het meest succesvolle multidisciplinaire onderzoek is daarom ook ontstaan rond onderzoek naar maatschappelijke problemen. Het kader vormt meestal een model, waarin de verschillende disciplinaire inzichten op transparante wijze opgenomen worden en spraakverwarringen worden voorkomen.

Wat zijn modellen?

Een model is een vereenvoudigde representatie van een systeem: een maquette of een beeld. De motivatie voor modelontwikkeling is om de essentie van het te bestuderen systeem te begrijpen door overbodige aspecten weg te laten.

Wat essentieel is en wat overbodig hangt voornamelijk van de uiteindelijke doelstelling af. Het resultaat is altijd een 'model' waarin de werkelijkheid wordt beschreven met een karakteristiek realiteitsniveau.

Het toepassingsgebied van een model is afhankelijk van de doelstelling. Zo is het landgebruiksmodel in IMAGE ontwikkeld om toekomstige, aan landgebruik gerelateerde emissies te schatten (Alcamo et al. 1998). Dit aspect is gede- gen getest en gevalideerd en de emissie-bevindingen zijn robuust. Het model is echter minder geschikt voor vraag- stukken als voedselzekerheid. Hierbij zijn andere aspecten (welvaart, handel en water) van belang, die in IMAGE slechts rudimentair aanwezig zijn. Helaas worden in inter- pretaties van modelresultaten door derden vaak conclusies getrokken die ver buiten het beoogde toepassingsgebied lig- gen. Deze conclusies zijn niet persé fout (of goed), maar zijn eenvoudigweg niet onderbouwd.

Het domein van veel landgebruiksmodellen ligt op het grensvlak van wetenschap en beleid. Hierdoor is het belang- rijk dat het model wetenschappelijk geaccepteerd is. Hierdoor wordt gegarandeerd dat het toepassingsgebied van het model objectief beschreven is en dat de resultaten verifi- eerbaar zijn. Beleidstoepassingen hebben echter meestal een ander karakter: minder systeembeschrijvend en verklarend, maar "gericht op de toekomst". Deze benadering wordt al enkele eeuwen gebruikt (Tabel 1). Vaak worden deze scena- rio's ontwikkeld in nauwe samenwerking met beleidsmakers, zoals bijvoorbeeld de gestandaardiseerde referentie emissie scenario's (SRES) van IPCC (Nakicenovic et al. 2000).

Het ontwikkelen en gebruik van scenario's is een succesvolle toepassing van modellen. De waarde van scenario's ligt vooral in:

- Het expliciet nadenken over mogelijke toekomstige (wenselijke en niet-wenselijke) situaties en de wegen om daar te komen of weg te blijven;
- Het aangeven van de gevolgen van beleidsopties in een veranderende omgeving.

Scenario studies worden vooral gebruikt voor het analyseren van mogelijk gedrag van complexe dynamische systemen. Een scenario staat echter nooit alleen. Meestal worden meerdere scenario's uitgewerkt. Een scenario is echter geen voorspelling, waaraan altijd een specifieke risico is gekoppeld. Scenario-analyse is koffiedik kijken: de kwaliteit van de koffie (uitgangssituatie), de temperatuur en samenstelling van het water (aannamen) en het filter (het model) bepalen het resultaat. Dit resultaat is reproduceerbaar, maar niet altijd drinkbaar. (Hiermee wil ik overigens niet aangeven dat Europese modellen beter zijn dan Amerikaanse, wat voor koffie wel geldt.)

Het nut van scenario's voor land en landgebruik is een berekende aftasting van mogelijkheden. Hiermee worden de consequenties van verschillende keuzen inzichtelijk gemaakt. De studie van de Wetenschappelijke raad voor het Regeringsbeleid (WRR 1992) is een goed voorbeeld. Deze studie geeft de randvoorwaarden van technische ontwikkelingen tot 2015 voor vier scenario's (vrijhandel, regionale ontwikkeling, natuur en landschap, milieu). In alle scenario's is minder landbouwareaal nodig en is er minder werkgelegenheid in de landbouw dan thans. Deze studie gaf aan dat het EU-landbouwbeleid onvoldoende soulaas bood voor het

productie-overschot, omdat er te weinig aandacht is voor het te grote landbouwareaal.

Het gedrag van complexe systemen zal echter nooit volledig begrepen worden en scenariostudies gaan dus altijd gepaard met grote onzekerheden. De titel van de OECD studie "Mastering the probable and managing the unpredictable" geeft de beperkingen van deze benadering krachtig weer.

Tabel 1. Voorbeelden van scenariostudies door de eeuwen heen

Auteur	Jaar	Title
Malthus	1798	Essay on the Principle of population
George	1879	Progress and Poverty
Boserup	1965	The conditions of Agricultural Growth
The Club of Rome	1972	Limits to the Growth
OECD	1979	INTERFUTURES: Mastering the probable and managing the unpredictable
Berendt <i>et al.</i>	1980	Global 2000 report to the President
Brundtland Commission	1987	Our Common Future
Wetenschappelijke raad voor het regeringsbeleid	1992	Grond voor Keuzes
FAO	1995	Agriculture towards 2010
UNEP	1999	Global Environmental Outlook
IPCC	2000	SRES

Een overzicht van landgebruiksmodellen

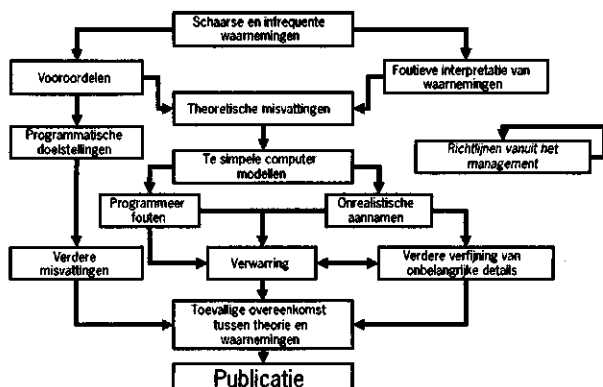
De basale vragen over landgebruiksverandering die modellen moeten beantwoorden zijn:

1. *Hoe?*
2. *Waar?*

3. Wanneer?

4. Waarom?

Deze wetenschappelijke vragen kunnen beantwoord worden door observaties en analyse van landgebruik in het verleden en heden of door modelsimulaties voor het verleden, heden en de toekomst. De twee laatste vragen kunnen slechts beantwoord worden als gegevens uit de eerste twee vragen geïnterpreteerd zijn. Deze interpretatie draagt bij aan het conceptualiseren, ontwikkelen en valideren van modellen (Figuur 2). Toepassingen richten zich vooral op de vragen "Hoe zal landgebruik veranderen?" en "Wat zijn de consequenties van deze veranderingen?"



Figuur 2. Onvolkomenheden bij de ontwikkeling van een model (vrij naar Solomon 1987).

Belangrijke aspecten die gesimuleerd moeten worden zijn conversie en modificatie van bedekking. Conversie treedt op als verandering in landgebruik leidt tot een andere bedek-

kingsklasse. Ontbossing is een duidelijk voorbeeld van conversie: bos wordt grasland. Modificatie is een verandering in landgebruik die de bedekking slechts gedeeltelijk verandert. Het toepassen van mest om de productiviteit te verhogen is hiervan een voorbeeld. Intensivering, extensivering en degradatie vallen hier ook onder. Alle landgebruiksmodellen simuleren conversie; slechts enkele modellen simuleren modificatie.

Modellen kunnen natuurlijk niet zonder de relevante datasets voor initialisatie en validatie. Het bespreken van dataverzameling, datakwaliteit en databeschikbaarheid gaat echter te ver voor deze rede. Methodologisch beperk ik me tot het bespreken van het verschil tussen empirische modellen die worden afgeleid van data en dynamische modellen, waarbij inzicht in de processen centraal staat. Deze opdeling dekt natuurlijk niet alle modeltypen, maar is effectief als mogelijkheden en beperkingen besproken worden. Daarnaast worden ruimtelijke en integrale modellen besproken.

Empirische modellen

Gezien de complexiteit van de onderliggende processen is het praktisch om deze processen geaggregeerd en willekeurig te behandelen om veranderingen in landgebruik te simuleren. In Markov modellen wordt een gebied beschreven als een verzameling klassen, ieder met een bepaald landgebruik. De kans dat een klasse verandert in een andere klasse wordt beschreven in een matrix. Deze kansen worden bepaald uit waargenomen veranderingen en vormen de basis voor toekomstige veranderingen. Markov modellen geven direct aan wanneer en hoe een gebied verandert, maar niet waar. De kansen zijn meestal statisch, maar veranderen soms als func-

tie van biologische, klimatologische en socio-economische factoren. Markov modellen beschrijven louter conversieprocessen voor beperkte gebieden waar veel waarnemingen beschikbaar zijn.

Een andere benadering is om landgebruiksverandering te beschrijven als een groeiproces, waarbij de conversiesnelheid afhankelijk is van, bijvoorbeeld, de hoeveelheid ontbost gebied of de migratie naar het gebied. Een logistische functie beschrijft zulke processen (bijv. Esser 1989). In deze modellen wordt landgebruiksverandering gerelateerd aan één of enkele variabelen (populatie-dichtheid of andere socio-economische aspecten). Toekomstige situaties worden berekend op basis van projecties in die variabel(en). Weer worden alleen conversieprocessen gesimuleerd. Een logistisch model geeft aan wanneer welke verandering optreedt, maar niet het waar en waarom.

Regressiemodellen geven verbanden tussen onafhankelijke factoren en waargenomen veranderingen. Mondiaal worden populatie en welvaartsniveau als belangrijke factoren gezien. Regionaal zijn vooral de grootte van de rurale bevolking, eigendomstructuren en bereikbaarheid belangrijk. Het Wageningense landgebruiksmodel CLUE (Veldkamp and Fresco 1996; de Koning *et al.* 2000; Kok 2001) maakt op een innovatieve wijze gebruik van regressies om het belang van allerlei factoren op verschillende schaalniveaus te bepalen. De verkregen verbanden worden gebruikt om scenario's te ontwikkelen, omdat dit soort modellen de "wanneer" vraag behandelen. Deze modellen kunnen zowel conversie als modificatie simuleren. Helaas worden de verbanden worden vaak gepresenteerd als verklaringen, terwijl het slechts

statistische correlaties zijn. De analyses zijn slechts geldig voor de regio en de periode waarvoor de regressie is gedaan. Buiten dit domein zijn de gevonden relaties slechts extrapolaties en dus minder betrouwbaar.

Dynamische procesmodellen

Landgebruikspatronen veranderen in ruimte en tijd onder invloed van biofysische en sociaal-economische factoren. Dynamische proces modellen simuleren deze complexiteit door de onderliggende processen van de verschillende systeemcomponenten en hun interacties te beschrijven. De oorzaak-gevolg mechanismen worden daarin nadrukkelijk verwerkt. Hierdoor worden toekomstige trends beter gesimuleerd dan extrapolaties met empirische modellen. Waar extrapolaties lineair zijn, kunnen procesmodellen ook niet-lineair gedrag weergeven. Dynamische proces modellen zijn ontwikkeld voor vele verschillende landgebruiksystemen, variërend van gewassen op specifieke locaties tot specifieke regionale landgebruiksystemen en geven (gedeeltelijk) antwoord op de "hoe?", "wanneer?" en "waarom?" vragen en soms op de "waar?" vraag. Ze kunnen zowel conversie als modificatieprocessen simuleren. Procesmodellen zijn uitermate geschikt voor toekomstverkenningen: ze hebben een zeker voorspellend vermogen.

Ruimtelijke modellen

Ruimtelijke modellen simuleren veranderingen in ruimtelijke patronen. In eerste instantie waren deze modellen uitbreidingen van empirische modellen, die het ruimtelijk patroon, zoals fragmentatie, als additionele factor analyse-

ren. Data uit satellietbeelden staan vaak centraal in deze analyses. Al deze modellen richten zich op de "Hoe?" en "Waar?" vragen en op conversie processen.

Momenteel wordt ook veel gebruik gemaakt van geografische informatie systemen (GIS). Hierdoor is het ontwikkelen van ruimtelijke versies van dynamische proces modellen makkelijker geworden. Hierin wordt gepoogd om de ruimtelijke veranderingen als dynamische processen te beschrijven. Interacties tussen nabijgelegen gebieden kunnen expliciet worden meegenomen, zoals wordt gedaan in de landschapsmodellen van White *et al.* (1997). Hierdoor komen alle aspecten van landgebruiksveranderingen aan bod.

Integrale modellen

De empirische en procesmodellen, al dan niet ruimtelijk, worden vooral gebruikt voor natuurwetenschappelijke toepassingen. Gewasopbrengsten, bijvoorbeeld, worden ruimtelijke gesimuleerd als functie van vele factoren. Sociaal-economische variabelen zijn hierbij slechts scenarioinvoer. Maatschappijwetenschappen gebruiken ook modellen, maar die worden op een andere manier gebruikt. Economische modellen, bijvoorbeeld, optimaliseren een bepaald nut. Gewasopbrengsten zijn hier slechts één factor in complexe productiefuncties. Veranderingen in land en landgebruik kunnen echter alleen goed beschreven worden als al deze factoren gelijktijdig gesimuleerd worden. Dit vraagt om een vergaande integratie (vgl. figuur 1), wat in integrale modellen wordt getracht. In principe kunnen deze modellen een antwoord geven op alle vier vragen, zowel conversie als modificatieprocessen simuleren en het systeem vanuit verschillende perspectieven bekijken.

De meeste integrale modellen zijn combinaties van empirische en procesmodellen. Zo wordt de vraag naar voedsel in IMAGE vooral gedreven door populatiegrootte, welvaartsniveau en enkele andere regionale aspecten. Deze benadering is overgenomen van regressiemodellen. Aan deze vraag wordt vervolgens voldaan door lokale gewasopbrengsten te berekenen met ruimtelijke procesmodellen. Beslisregels zorgen dat de meest productieve locaties dicht bij bestaande landbouwgebieden en bij infrastructuur als eerste worden gebruikt om landbouwgronden uit te breiden. De resultaten van zo'n model belichten dan ook zeer veel aspecten van land, bedekking en landgebruik in ruimte en tijd.

Hiaten in de huidige modellering

De huidige generatie integrale modellen zijn vaak volgens de "Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)" structuur opgezet. Momenteel worden enkele beperkingen van deze causale-keten benadering duidelijk. Ten eerste, de maatschappelijke dimensie wordt stevast geadresseerd aan het begin en eind van de keten en de bio-fysische dimensie in het midden. Was een landgebruikstelsel maar zo simpel! In werkelijkheid is het systeem geen keten, maar een ketting met koppelingen tussen alle schakels. Ten tweede, belangrijke interacties tussen systeemcomponenten (schakels) worden onvoldoende gesimuleerd, omdat de structuur dat nauwelijks toelaat. Ten derde, DPSIR-modellen pogen het hele systeem als een gesloten geheel te beschrijven (bijvoorbeeld TARGETS: Rotmans and de Vries 1997). Hierdoor vermindert de bruikbaarheid voor de evaluatie van beleidsopties. Tenslotte, het is niet altijd duidelijk of een variabele een karakteristieke "Driver", "Pressure",

“State”, “Impacts” of “Response” variabele is. Dit hangt in hoge mate af van het perspectief waarmee naar een systeem wordt gekeken. Het DPSIR-systeem is daarom vooral geëigend voor visualisatie van resultaten. Concluderend: een benadering die een gedegen beschrijving mogelijk maakt van procesmatige, ruimtelijke en temporele interacties, is gewenst. Ik zal hier aanstonds verder op ingaan.

Integrale modellen moeten een goede balans hebben tussen de sociaal-economische, maatschappelijke en biofysische componenten. Aan deze balans wordt vooralsnog te weinig aandacht besteed. Dit is een gedeeltelijk gevolg van het traditionele toepassingsgebied: scenario-ontwikkeling. Om het tijdpad van een scenario goed te kunnen definiëren worden vele veronderstellingen gemaakt. Sommige moeten expliciet worden gedefinieerd voor elke simulatie, maar vele zijn (niet altijd even inzichtelijk) opgenomen in de modelstructuur. Meestal worden sociaal-economische variabelen als exogene, binnen het model, variabelen gedefinieerd, terwijl de biofysische processen endogeen, binnen het model, worden gesimuleerd. Deze onbalans draagt bij tot een steeds sterker wordende kritiek op de huidige generatie integrale modellen, zoals onlangs apert is verwoord door scenario-guru Paul Raskin (2001): Scenario's hebben meestal een geleidelijk verloop, dat erg deterministisch van aard is. Paul betoogd daarom terecht dat met name de vaak niet-lineaire interacties die volgen uit o.a. menselijk gedrag en (snelle) veranderingen daarin degelijk in de scenario's moet worden ingebed.

Invulling van de leerstoel

Na dit noodzakelijke overzicht van definities en modellen wil ik ingaan op mijn visie omtrent de invulling van de leeropdracht "Mondiale Integrale landgebruiksmodellering". De eerste discussies rond de invulling van deze leeropdracht richten zich vooral op de wetenschappelijke verbetering en verfijning van landgebruik in IMAGE, waaraan we op het RIVM de laatste 10 jaar hebben gewerkt. Toen was dat opportuun, maar nu wil ik de bakens ietwat verzetten. Het huidige IMAGE model is namelijk van voldoende kwaliteit om voor verschillende assessments te worden gebruikt. De ontwikkeling van de SRES scenario's is hier een goed voorbeeld van. Het onderzoeksplan van IMAGE voorziet nog in enkele verbeteringen (koolstofvastlegging, energie-efficiëntie, land-klimaat interacties en onzekerheidsanalyses), maar het onderzoek blijft in het keurslijf van de DPSIR-structuur zitten. In Wageningen wil ik dit keurslijf afwerpen en samen met mijn collega's hier nieuwe wegen in te slaan, die aansluiten bij de lange modelleringstraditie binnen de leerstoelgroep "Plantaardige Productiesystemen".

Een beter begrip van de dynamiek van land en landgebruik is het belangrijkste uitgangspunt voor de concretisering van mijn leeropdracht. Mijn recente ervaringen bij het synthetiseren van klimaat-effectenstudies in het kader van IPCC, mijn betrokkenheid bij de onderzoeksprogramma's IGBP en IHDP en de onlangs gestarte Millennium Ecosystem Assessment⁵ heeft me overtuigd dat kwantificering van de ecologische kwetsbaarheid hierbij een belangrijke toepassing is. Het bepalen van kwetsbaarheid is een eerste stap in evaluaties van duurzaam landgebruik. Het centraal stellen van de kwetsbaarheid van land voor global change geeft de mogelijkheid om veranderingen vanuit het systeem zelf te benaderen en niet als schakel in een causale keten.

Kwetsbaarheid bestaat uit drie elementen: **blootstelling**, **gevoeligheid** en **adaptatie**. Het eenvoudige voorbeeld in Tabel 2 laat het belang van adaptatie zien voor een goede evaluatie van kwetsbaarheid. Adaptatievermogen is echter nauwelijks in modellen opgenomen.

Adaptatiemogelijkheden zijn legio. In de landbouw kan de planning worden aangepast, kunnen extra hulpmiddelen worden ingezet of er kunnen andere variëteiten van een gewas gekozen worden. Veel adaptatie gebeurt automatisch, maar soms vergt adaptatie grotere investeringen. In de literatuur wordt dit aangeduid als *passieve*, respectievelijk *actieve* adaptatie.

Tabel 2: Verschil in kwetsbaarheid ten opzicht van zee-
veaustijging van drie verschillende landen

	Zwitserland	Nederland	Bangladesh
Blootstelling	Afwezig	Sterk	Sterk
Gevoeligheid	Groot (veel infrastructuur in de laagst gelegen gebieden)	Matig (dijken en duinen reeds aanwezig; goed waarschuwingsnetwerk)	Groot (geen noemenswaardige kustverdediging)
Adaptatie of aanpassings- vermogen	Nihil (geen ervaring met zeewaterkeringen)	Goed (technische knowhow en financiële middelen beschikbaar)	Slecht (nauwelijks financiële middelen)
Kwetsbaarheid	Nihil	Klein	Groot

Nadruk op kwetsbaarheid in het land- en landgebruiks-
onderzoek vergt een andere structuur dan DPSIR. Het
bepalen van de gevoeligheid van het systeem staat hierbij
centraal. Hiervoor zijn weliswaar integrale modellen nodig,
maar geen allesomvattende modellen die de gehele causale

keten beschrijven. Kwetsbaarheidsmodellen worden ontwikkeld voor beperkte, goed afgebakende systemen met duidelijke randvoorwaarden. Zo'n model maakt de complexiteit beter behapbaar. Van belang is dat de gevoeligheid voor veranderingen in verschillende factoren simultaan worden gesimuleerd. De gevoeligheid (inclusief passieve adaptatie) van het systeem voor al deze verschillende factoren moet dus samenhangend beschreven worden. Deze gevoeligheid kan zich uiten op verschillende manieren: geleidelijke en plotselinge veranderingen, direct of pas na lange tijd, of omkeerbaar of onomkeerbaar. Ook het verdwijnen van een bepaalde functie, component of soort kan. Samenvattend, het kwetsbaarheidsmodel simuleert op een solide wijze het gedrag van het beïnvloede systeem .

Daarna wordt de blootstelling bepaald. Dit kan gebeuren met traditionele scenario's. Liever zou ik een meer probabilistische benadering kiezen, waarmee tezamen met gevoeligheid ook de optredende risico's bepaald kunnen worden. Tenslotte kan de werkelijke kwetsbaarheid bepaald worden aan de hand van een evaluatie van mogelijke actieve adaptatiemogelijkheden. De effectiviteit van één of meerdere adaptatiemogelijkheden kan eventueel worden geanalyseerd via een scenario-analyse.

In principe is deze benadering schaal onafhankelijk: de gekozen schaal hangt af van het te bestuderen systeem en het type blootstelling. Naar mijn oordeel is deze benadering beter geschikt voor toekomstverkenningen dan de traditionele scenario benadering, omdat, bijvoorbeeld, beleidsmogelijkheden om de blootstelling te verminderden, de gevoeligheid te veranderen, of het adaptatievermogen te vergroten en de effecten ervan beter geanalyseerd kunnen worden.

In het afgelopen jaar is deze benadering geconcretiseerd in het Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis & Modelling (ATEAM) project, dat door de EU wordt gefinancierd en samen met elf andere instituten wordt uitgevoerd. Binnenkort zullen enkele additionele onderzoekers op dit project in Wageningen worden aangesteld. Het project omvat verschillende inhoudelijke aspecten van mijn leeropdracht. Dit is de reden dat ik er wat langer bij stil wil staan.

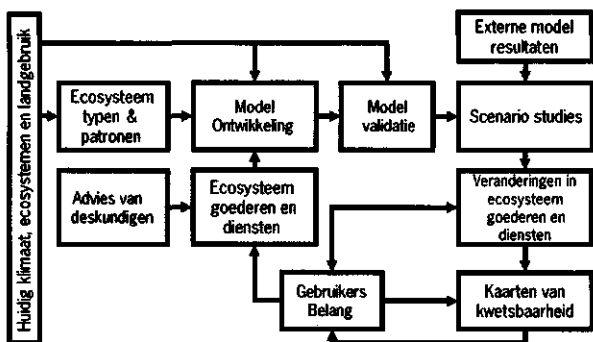
Natuurlijke en agrarische ecosystemen en biodiversiteit in de EU-landen, Noorwegen en Zwitserland staan centraal in ATEAM. Extra aandacht wordt besteed aan ecosystemen in natte, koude en berggebieden, omdat eerder onderzoek heeft aangetoond dat deze systemen het meest gevoelig zijn. Het uiteindelijke doel is om de kwetsbaarheid van al deze systemen voor global change te kwantificeren. Dit wordt gedaan door een gezamenlijke structuur te ontwikkelen waarin verschillende ecosysteem-, biodiversiteit-, en landgebruiksmodellen integraal en dynamisch gebruik kunnen maken van dezelfde ruimtelijke data en scenario's.

Omdat ecosystemen een groot aantal essentiële producten en diensten leveren voor de maatschappij, is gekozen om dit aspect centraal te zetten. Deze producten en diensten omvatten voedsel, hout, water, biodiversiteit, koolstofvastlegging, recreatie en natuurbescherming, en zijn belangrijk voor duurzaam gebruik van ecosystemen. Ze vormen de noodzakelijke koppeling tussen ecosystemen, landgebruik en maatschappelijke behoeften. Het project geeft een kwalitatief antwoord op de volgende vragen:

- Welke regio's zijn kwetsbaar voor global-change?
- Wat zijn de neveneffecten van landgebruikscenario's voor biodiversiteit en ecosystemen?

- Welke robuuste opties zijn beschikbaar voor de bescherming van biodiversiteit en een duurzaam gebruik van ecosystemen?

Figuur 3 illustreert de structuur van het ATEAM project. Er zal gebruik gemaakt worden van bestaande modellen en databases die specifieke aspecten van landgebruik en ecosystemen simuleren. Deze modellen worden verder ontwikkeld en geschikt gemaakt om goederen en diensten van ecosystemen en veranderingen erin op een dynamische, ruimtelijke wijze te simuleren. De modellen worden uitgebreid getest. Daarnaast worden indicatoren ontwikkeld die de veranderingen helder moeten beschrijven. Deze indicatoren worden ontwikkeld in samenspraak met mogelijke gebruikers (bosbouwers, natuurbeschermers, beleidsmakers, etc.), zodat praktische toepassingen gegarandeerd worden. Scenario's voor veranderende omgevingsfactoren en aanpassingsmogelijkheden worden gebruikt om kwetsbaarheidskaarten te maken.



Figuur 3. Structuur van het ATEAM project

Het ATEAM project zal gewasmanagement, stofkri-
lopen, dynamiek van ecosystemen en biodiversiteit inte-
graal bestuderen. Daarnaast wordt gepoogd om niet alleen
de gevolgen van een langzaam veranderend klimaat te bepa-
len, maar ook van veranderingen in de klimaatvariabiliteit.
Ik geloof stellig dat dit onderzoek bijdraagt aan een verdere
kwantificering van het begrip kwetsbaarheid, vanuit een
werkelijke integrale benadering en zal leiden tot een aantal
breed geciteerde artikelen, terwijl de resultaten zeker
gebruikt zullen worden in verschillende beleids-gremia en
assessments. Ik ben vereert om dit innovatieve project
binnen deze universiteit uit te kunnen voeren. Ik hoop dat
er nog vele zullen volgen.

Dankwoord

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Aan het slot gekomen van deze oratie wil ik nog enkele per-
soonlijke woorden spreken.

Velen hebben een belangrijke rol gespeeld in mijn persoon-
lijke leven en wetenschappelijke loopbaan:

Hooggeleerde Dr. van der Maarel nodigde mij indertijd uit
om de dynamiek van Zweedse oerbossen te bestuderen.
Eddy, je hebt me gestimuleerd om veldwerk te combineren
met modellering. Hiermee heb je een solide basis gelegd
voor mijn latere wetenschappelijke werk.

Hooggeleerde Dr. Prentice heeft me tijdens mijn promotie
ingewijd in modellering en Dr. Solomon in het global-
change onderzoek. Colin en Al, jullie wetenschappelijke

integriteit, diepgang en voortvarendheid is voor mij nog steeds een voorbeeld. Ik ben ervan overtuigd dat deze aanstelling bijdraagt aan een versterkte samenwerking, waarbij onze onderzoekslijnen weer dichter bij elkaar zullen komen.

Gedurende de laatste jaren heb ik met vele collega's in binnen en buitenland gewerkt aan het IMAGE model. Het IMAGE-team durfde het aan om 10 jaar geleden ongebaande wegen in te slaan met de ontwikkeling van een ruimtelijk integraal assessment model. Via discussies over modelontwikkeling en toepassingen, gezamenlijke publicaties en presentaties hebben alle onderzoekers in dit team bijgedragen aan de opbouw van een brede expertise op het gebied van mondiale landgebruiksmodellering, die ik nu met deze leeropdracht weer verder zal uitdragen.

Ik ben dank verschuldigd aan Hooggeleerde van Egmond en Ir. Langeweg van het RIVM. Klaas en Fred, jullie hebben mij sterk gestimuleerd om met Wageningen UR samen te werken, wat later resulteerde in de instelling van deze leerstoel.

Ik dank het college van Bestuur voor het vertrouwen dat ze in mij heeft uitgesproken door middel van deze benoeming. Ik waardeer de steun van hooggeleerden Fresco, Rabbinge, Kropf en Jacobsen tijdens het proces, dat hier toe leidde. Louise, jouw enthousiasme hangt nog steeds in het gebouw aan de Haarweg. Ik hoop dat ik in eenzelfde spirit het landgebruiksonderzoek daar van dan kan stimuleren. Rudy, Martin en Evert, ik zal mijn uiterste best doen om een gedegen bijdrage in het onderwijs en onderzoek van het

departement en de onderzoekschool tot stand te brengen.

Tevens wil ik Dr. Kabat en Dr. van de Geijn bedanken. Pavel en Siebe, jullie nodigden me uit om als buitenstaander lid te worden van de programmaraad van het CCB. Ik hoop nu een veel centralere rol te spelen bij het integreren van het Global-change onderzoek binnen Wageningen-UR en van hieruit solide bruggen te bouwen naar het CKO en RIVM.

De leerstoelgroep "plantaardige productiesystemen" is een kleine groep, met een enthousiaste staf die onderzoek en onderwijs integreert. Ik verheug me om in de komende jaren met deze groep landgebruiksonderzoek uit te voeren, om hier studenten voor te interesseren, en vooral ook actief in te laten participeren.

Ma, je hebt me op de wereld gezet en, samen met Pa, geleerd om zelf een koers uit te zetten en beslissingen te nemen, maar tegelijkertijd het leven van alledag in een breder perspectief te plaatsen en oog te hebben voor anderen. Deze benoeming is één van de vruchten van jullie opvoeding.

Lieve Carien, toen ik je 15 jaar geleden weer ontmoette wist je niet dat ik me zou specialiseren in het mondiale onderzoek. Een bosecoloog was al goed genoeg voor jou. Nu hebben we een klein bos rond ons thuis en is mijn werkgebied de hele wereld. Zonder jou was het allemaal nooit zo ver gekomen.

Liefste Eva en Joris, het werk wat ik hier ga doen kan bijdragen aan de noodzakelijke bewustwording dat we voorzichtig met het land en alle planten en dieren moeten zijn.

Ik hoop dat jullie en alle andere kinderen hier dan ook de vruchten van kunnen plukken.

Ik dank u voor uw aanwezigheid en uw aandacht

Ik heb gezegd.

Literatuur

Alcamo, J., R. Leemans and E. Kreileman, 1998. Global change scenarios of the 21st century. Results from the IMAGE 2.1 model. Pergamon & Elseviers Science, London.

de Koning, G.H.J., A. Veldkamp, K. Kok, N. de Ridder, L.O. Fresco and J. Schoorl, 2000. Multi-scale land use modelling with the CLUE modelling framework. NRP_report nr. 410 200 053. Bilthoven.

Esser, G., 1989. Global land-use changes from 1860 to 1980 and future projections to 2500. *Ecological Modelling*, 44, 307-316.

FAO, 1994. Guidelines for land-use planning. Development series 1. Rome.

Kok, K., 2001. Scaling the land use system: A modelling approach with case studies for Central America. PhD-Thesis. Wageningen University, Wageningen.

Mather, A.S., 1986. Land use. Longman, London.

- Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T.Y. Jung, T. Kram, E. Emilio la Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H.H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooyen, N. Victor and Z. Dadi, 2000. Special Report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.
- Raskin, P., 2001. Book review: Global change scenarios of the 21st century. Results from the IMAGE 2.1 model. *Climatic Change*, 48, 649-651.
- Rotmans, J. and B. de Vries (eds), 1997. Perspectives on global change: the TARGETS approach. Cambridge University Press, Cambridge.
- Solomon, A.M., 1987. Use of stand models at varying spatial scales to simulate forest responses to environmental changes. In Proceedings of the New England growth and yield workshop. (eds. R.S. Seymour and W.B. Leak), College of Forest Resources, University of Maine, Orono, Maine. pp. 47-58.
- Turner, B.L., II, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Mathews and W.B. Meyer (eds), 1990. *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Turner, B.L., D.L. Skole, S. Sanderson, G. Fischer, L. Fresco and R. Leemans, 1995. *Land Use and*

Land-cover Change: Science/Research Plan.
IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7.
Stockholm.

- Veldkamp, A. and L.O. Fresco, 1996. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecol. Mod.*, 85, 253-270.
- White, R., G. Engelen and I. Uljee, 1997. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environmental Planning & Design*, 24, 323-343.
- WRR, 1992. Grond voor keuzen. Vier perspectieven voor de landelijke gebieden in de Europese Gemeenschap. Rapporten aan de Regering 34. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringbeleid (WRR), Den Haag.

¹ Op een gedetailleerde schaal zijn de definities functioneel en duidelijk, terwijl op de grovere schalen van het global-change onderzoek de grenzen vervagen.

² IPCC is het intergouvernementele panel voor klimaatverandering, dat periodiek wetenschappelijke informatie evalueert met betrekking tot klimaatverandering ter ondersteuning van de discussies omtrent klimaatbeleid in het kader van de internationale klimaatconventie.

³ In de literatuur varieert dit percentage van 20% voor de aride gebieden in de tropen tot 80% voor de loofbossen in de gematigde gebieden.

⁴ Land use is the concern of many disciplines and the preserve of none.

⁵ De opzet en resultaten van de assessments en internationale onderzoeksprogramma's zijn beschikbaar via internet: www.ipcc.ch; www.ma-secretariat.org; www.wcrp.ch, www.igbp.kva.se en www.ihdp.org.