

Dr. J.T.A. Verhoeven

Natte natuur in een schoon landschap

de ecologische functies van wetlands



Universiteit Utrecht

ORATIE

Natte natuur in een schoon landschap

de ecologische functies van wetlands

Oratie uitgesproken door Dr. J.T.A. Verhoeven
in de Aula van de Universiteit Utrecht,
op 10 juni 2002

**Mijnheer de Rector Magnificus,
Mijnheer de Voorzitter van het College van Bestuur,
Dames en Heren,**

INLEIDING

Waterstanden zijn in ons land altijd van groot belang geweest. Lange tijd werden zij dagelijks via de radio omgeroepen. Tegenwoordig zijn zij op elk moment van de dag via het internet beschikbaar. Vandaag lopen zij als een rode draad door mijn verhaal. Onmiskenbaar begint duidelijk te worden wat in de wetenschap al enkele tientallen jaren is onderkend: het klimaat op onze planeet is bezig drastisch te veranderen. Het ene na het andere warmterecord wordt gebroken, gletsjers smelten af en overal op aarde zijn er vaker zowel zeer natte als zeer droge perioden. Berichten over overstromingen met een ontwrichtende invloed op menselijke activiteiten langs de rivieren van de wereld beginnen gemeengoed te worden. Ook in ons eigen land beginnen deze veranderingen zich af te tekenen. Hoge waterstanden in de grote rivieren hebben in de negentiger jaren in Midden-Nederland bijna tot een ramp geleid. Dit heeft ons Nederlanders weer diep doordrongen van de kwetsbaarheid van ons bestaan achter de dijk. In onze dagelijkse beslommeringen vergeten we maar al te gemakkelijk dat de helft van ons grondgebied meters onder zeeniveau ligt.

De bijna-ramp in 1995 leidde onmiddellijk tot een ‘deltaplan voor onze rivierdijken’. Dijkverhogingen zijn versneld uitgevoerd en de bewoners van het achterland kunnen weer opgelucht ademen. Maar is dat wel zo? Hogere rivierstanden en inklinkende polderlanden hebben ondanks de sterke, hoge



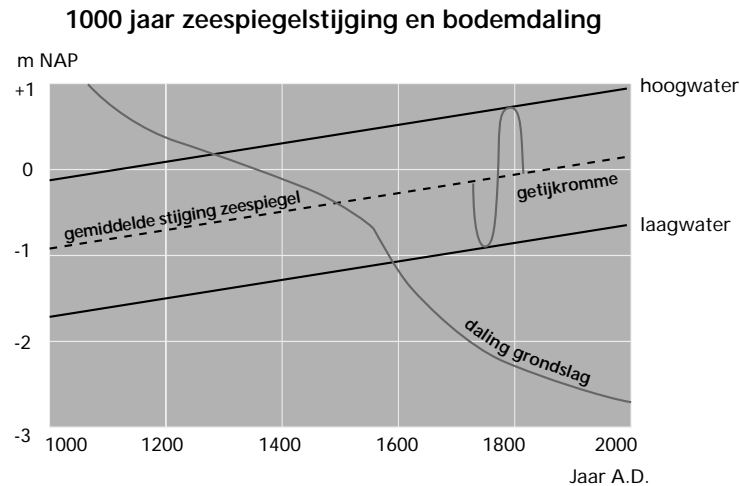
figuur 1 St. Elisabethsvloed. Schilderij van een onbekende meester (eind 15e eeuw) Rijksmuseum, Amsterdam.

dijken een nadeel: als er een dijk bezwijkt komt er ook een muur van water binnen die tot een metersdiepe, zeer gevaarlijke en allesverwoestende overstroming leidt. In onze rijke historie hebben we dergelijke rampen eerder gekend, b.v. in de Grootte Waard tussen Dordrecht en Geertruidenberg, waar grote gebieden waren ingepolderd op gevaarlijke plekken in het zoetwatergetijdengebied. Meer dan 50 dorpen werden verwoest en 10.000 mensen kwamen om in 1421 bij de St. Elisabethsvloed. De tot dan toe economisch goed florerende polder lag in een zeer kwetsbaar gebied en de politieke twisten in die tijd leidden tot achterstallig onderhoud aan de dijken. Op dit schilderij van een onbekende 15e eeuwse meester (Fig. 1) ziet u het water tijdens de Elisabethsvloed de polder binnenstromen. Volgens de overlevering hebben de kerktorens van de dorpen nog 100 jaar boven water uitgestoken in de toen ontstane Biesbosch.

Het huidige veranderende klimaat en het veranderende waterbeheer in het stroomgebied van Maas en Rijn maken de situatie er niet veiliger op. Regenwater wordt vrijwel niet meer in het landschap vastgehouden en wordt versneld afgevoerd naar de rivieren, die dan ook fors kunnen opzwellen in hun keurslijf van dijken. Al in 1830, na een grote overstroming van Maas en Waal, waarschuwden sommige Nederlandse ingenieurs voor het gevaar van alsmat hogere dijken. Het bergen van water door het gecontroleerd onder water zetten van vooraf gekozen gebieden werd toen al als een verstandige maatregel bepleit.

WATERBEHEER 21^E EEUW

Sinds enkele jaren begint zich een kentering af te tekenen in het denken van waterbeheerders en beleidsmakers. Het inzicht begint door te breken dat klassieke oplossingen als dijkverhoging en diepere ontwatering van het land in



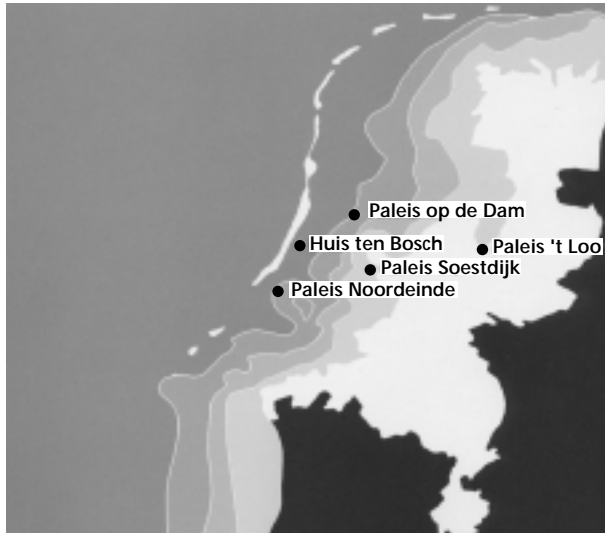
figuur 2 Zeespiegelstijging en bodemdaling. Rapport Commissie waterbeheer 21e eeuw (2000).

de toekomst niet meer zullen werken. Prof. Henk Saeijs, die als bioloog lange tijd een vooraanstaande positie heeft bekleed bij Rijkswaterstaat, heeft niet zo lang geleden betoogd dat het aloude adagium: “pompen of verzuipen” in de huidige tijd niet anders kan luiden dan “pompen en verzuipen”. De zeespiegel stijgt steeds sneller. Het polderland daalt gestaag door de steeds efficiëntere ontwatering die een voortdurende inklinking tot gevolg heeft: een duivelse combinatie. In Fig. 2 ziet u hoe 1000 jaar ontwatering het landoppervlak in West-Nederland van ruim boven zeeniveau tot meters onder zeeniveau heeft gebracht. Voor de mens zijn intrede deed werd de bodem langzaam opgehoogd door veenvorming en sedimentatie en kon zo de zeespiegelstijging gemakkelijk bijhouden. Na het bedijken van de rivieren en het ontwateren van het veen is er juist sprake van sterke bodemdaling.

Het is nu tijd om de bakens te verzetten. Een werkelijk andere benaderingswijze is nodig. De regering heeft een “Commissie Waterbeleid 21e Eeuw” ingesteld die in september 2000 met een rapport is gekomen waarin een heldere analyse wordt gegeven van de problematiek en waarin vergaande voorstellen worden gedaan om de spiraal van hoger water en lager land te doorbreken. De kaartbeelden in het rapport van de commissie over verschillende scenario’s van zeespiegelstijging spreken op koninklijke wijze voor zichzelf (Fig. 3).

Min of meer gelijktijdig is de Europese Unie gekomen met de Kaderrichtlijn Water, die voorschrijft op welke wijze het waterbeheer in de EU-landen vorm moet gaan krijgen. In beide beleidsdocumenten zijn vasthouden van water in het landschap, waterberging in geval van dreiging van calamiteiten en een meer natuurlijk waterpeilbeheer belangrijke uitgangspunten.

De Commissie Luteijn heeft tien dagen geleden een drietal noodoverloopgebieden voor berging van rivierwater aangewezen. Deze dunbevolkte gebieden in Midden- en Oost-Nederland zullen bij zeer hoge rivierstanden



figuur 3 Nederland beneden zeeniveau bij verschillende scenario's van zeespiegelstijging.
Rapport Commissie waterbeheer 21e eeuw (2000).

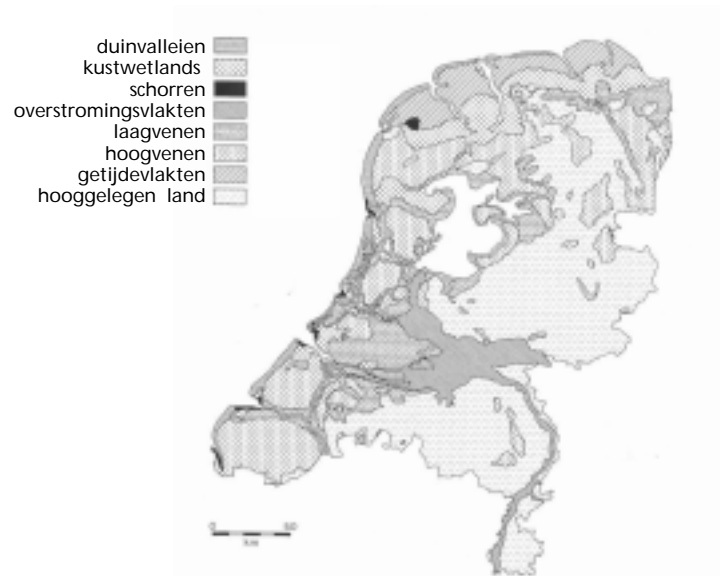
(kans eenmaal in de 1250 jaar) onder water worden gezet. Hoewel een Duitse deelregering heeft aangekondigd om meteen een dijk op de grens te leggen om Nederlandse overstromingen buiten de deur te houden, denk ik toch dat maatregelen in Duitsland de sleutel vormen tot het terugbrengen van het risico op catastrofaal hoge rivierstanden. Dan denk ik nog niet in de eerste plaats aan het creëren van nood-overloopgebieden op Duits grondgebied. Veel belangrijker is het herstellen van de natuurlijke waterhuishouding in het hele stroomgebied van de Rijn, vooral door ingrepen op regionale schaal in het landelijk gebied.

Voor de Nederlandse situatie worden dergelijke ideeën in onze Nota Waterbeheer 21e eeuw aangegeven, en deze beginnen nu sterk door te dringen in het nationale en regionale ruimtelijke beleid. Nota's over vernatting, groene waterberging en verdrogingsbestrijding stapelen zich op, en er zijn vele plannen om zowel overstromingsvlakten als riviermonden weer meer in contact te brengen met rivieren en de zee.

Naar U zult begrijpen vormen deze veranderde beleidsvoornemens voor mij als moerasonderzoeker in hart en nieren een even boeiende als uitdagende ontwikkeling. Op het eerste gezicht verwacht u van mij wellicht een krachtig pleidooi voor het onder water zetten van toch tenminste een groot deel van Nederland. Toch is het maar zeer de vraag of onze natuur- en milieukwaliteit hier zonder meer mee gediend zouden zijn.

Waterrijke gebieden, tegenwoordig met een internationaal gehanteerd woord ook wel wetlands genoemd, zijn zeer karakteristiek voor Nederland. Wij zijn als Nederlanders wereldberoemd geworden om onze zeer effectieve drooglegging van wat eerst het grootste wetland van West-Europa was: de delta van de grote rivieren met de daarbij horende zeer uitgestrekte veengebieden.

Wetlands in Nederland • Situatie in 350 voor Chr.



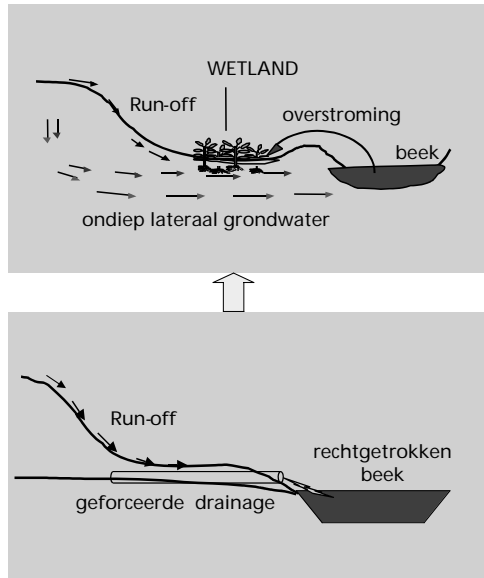
figuur 4 naar Wolff (1993).

De beelden die ik hier laat zien kunnen we dan ook in ons land niet meer aantreffen. Zo effectief zijn wij geworden in het draineren van onze natte gebieden, dat verdroging een van de grootste bedreigingen van onze bestaande, kleine natuurreservaten is geworden. Ons landschap is een uitgeknepen spons geworden: al het water dat erop valt wordt snel gedraineerd en afgevoerd naar de rivieren.

HERSTEL VAN DE SPONSWERKING VAN HET LANDSCHAP

Als wij weer willen gaan vernatten, is het zeer belangrijk om een goed perspectief te hebben van het type natuur dat wij willen herstellen en de schaal waarop dit wenselijk en mogelijk is. Wij laten ons daarbij graag inspireren door referentiebeelden van intacte landschappen. Een eerste gedachte is uiteraard: hoe zag het er hier vroeger uit, vóór het begin van de menselijke verstoringen? Een kaartje van Nederland en directe omgeving laat duidelijk de laaggelegen vlakke zien in het mondingsgebied van Schelde, Maas, Rijn, Eems en Elbe. In de tijd van de Romeinen bestond wel driekwart van ons grondgebied uit moerassen, met flinke oppervlakten voor hoogvenen, rivieroverstromingsvlakten, laagvenen en getijdenvlakten (Fig. 4). Dit landschap kon de zeespiegelstijging gemakkelijk bijhouden door veenvorming en afzetting van sedimenten door de rivieren.

Wij hebben van dit zichzelf in stand houdende deltalandschap een drooggemalen, steeds verder wegzakkend, intensief gebruikt landbouwgebied gemaakt met een grote dichtheid van middelgrote steden en een enorme industriële bedrijvigheid. Uiteraard kunnen wij niet terug naar de vroegere situatie. Wij zullen altijd binnen nauw omschreven marges moeten werken. Natuurgebieden zullen altijd in twee betekenissen beperkt blijven: in omvang



figuur 5 Herstel van de sponswerking in het landschap.

en in mate van natuurlijk functioneren. Versterking van onze natuur begint met het beschermen wat we nog hebben, liefst door natuurgebiedjes groter te maken en beter in te bedden in een natuurlijker, schoner milieu.

Ook moeten we ons goed blijven realiseren hoe ons landschap van nature heeft gewerkt en zoveel mogelijk van deze functionaliteit proberen te herstellen. Dit betekent b.v. dat we proberen om bij vernatting veeleer te streven naar blokkeren van de drainage in plaats van het aanvoeren van water van elders (Fig. 5). Het herstellen van de sponswerking van het landschap is goed voor de natuur- en milieukwaliteit van de natte natuurgebieden. Wanneer dit ook verder stroomopwaarts in de stroomgebieden van onze grote rivieren zou gebeuren, zou ook de wateroverlast-problematiek een stuk minder worden. Voor een deel hebben we de zeer hoge rivierstanden te danken aan het versneld afvoeren van al het regenwater uit de gedraineerde landbouwgebieden en stedelijke milieus in de stroomgebieden van Rijn en Maas. Door herstel van de sponswerking in Duitsland en Frankrijk wordt het water veel meer gespreid afgevoerd zodat zeer hoge waterafvoerpieken minder zullen voorkomen. Herstel van oorspronkelijke hydrologische omstandigheden heeft verder ook veel andere voordelen. Herstellen van kwel van grondwater is zeer gunstig voor de botanische diversiteit van onze natte natuur. Kwelwater is anaëroob en rijk aan ijzer- en calcium-ionen, hetgeen ideale omstandigheden creëert voor prachtige dotterbloemhooilanden of trilvenen.

Dit vergt waterhuishoudkundige ingrepen op landschapsschaal of zelfs regionale schaal. Ontwatering ten bate van de landbouwkundige praktijk is echter nog steeds in de meeste gevallen de belangrijkste basis voor het hydrologisch beheer van ons land. Veel natuurbeheerders gebruiken daarom noodgedwongen rivierwater afkomstig uit de Rijn om het waterpeil in natte natuurgebieden hoog te houden. Dat heeft veel ongunstige effecten op de natuur vanwege de

te hoge nutriëntgehaltenes (N en P) en de te hoge gehaltenes aan sulfaat en chloride. In zulke gevallen zou het veel beter zijn om de verdroging in de zomer maar gewoon te laten gebeuren; mits deze lage waterstanden niet te lang aanhouden is verdroging te verkiezen boven aanvoer van gebiedsvreemd water.

Het blokkeren van drainage van landschappen en het toestaan van korte perioden van lagere waterstanden zal uiteraard niet goed te combineren zijn met voortzetting van intensieve landbouw in deze van oorsprong zeer natte gebieden. Daar staat tegenover dat de effecten voor de milieukwaliteit en voor drinkwaterreserves zeer positief zullen zijn. Op de wat langere termijn is het op Europese schaal raadzaam om intensieve landbouw vooral daar te centreren waar geen geforceerde drainage nodig is, en met name de veengebieden in dit opzicht anders te gaan beheren.

Daarnaast moet krachtig gestreefd worden naar het zoveel mogelijk herstellen van de morfologie van beken en rivieren. Rechtgetrokken bochten zouden weer moeten gaan meanderen, overstromingsvlaktes weer in contact gebracht worden met de rivier. Dit zal de verblijftijd van het water in het stroomgebied verhogen en de pieken in de afvoer afvlakken. Dergelijke projecten worden onder de titel "Ruimte voor de Rivier" in veel Nederlandse uiterwaardgebieden al uitgevoerd. Herstel van meanders is voor de Nederlandse grote rivieren eigenlijk niet haalbaar. Dit kan wel verder stroomopwaarts in het gehele stroomgebied, inclusief de Nederlandse laaglandbeken.

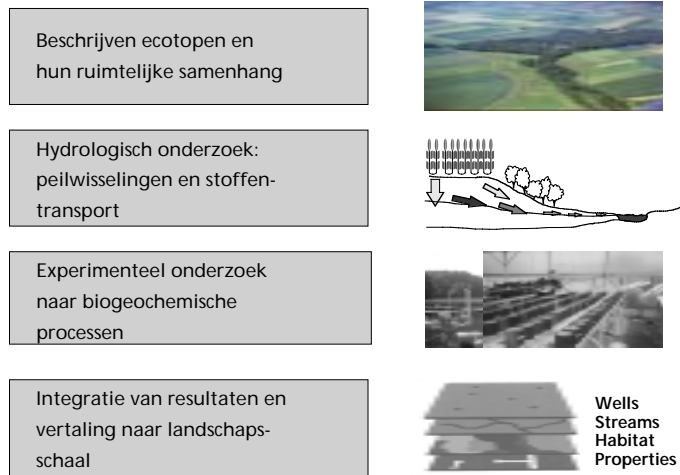
Samenvattend pleit ik ervoor om de trendbreuk voor de spiraal van zeespiegelstijging en maaiveld daling vooral te zoeken in het herstellen van de sponswerking van het landschap: vernatten door drainage te verminderen en niet te bang te zijn voor kortdurende waterstands dalingen in droge zomerperioden. Voor Nederland betekent dit dat de nieuwe natte natuur in

een schoner milieu terecht komt en daarmee een veel grotere natuurwaarde zal hebben. Herstellen van de sponswerking in bovenstroomse gebieden vangt hierbij twee vliegen in een klap: de pieken in de rivierafvoer worden minder hoog en natuur en milieu varen er wel bij, ook in Duitsland en Frankrijk. De dijk op de Nederlands-Duitse grens is dan helemaal niet meer nodig.

DE LANDSCHAPSECOLOGIE ALS DISCIPLINE

De geschetste problematiek met betrekking tot vernatting en natuurherstel vormt een prachtig voorbeeld van een ontwikkeling, waarbij mijn vakgebied, de Landschapsecologie, de benodigde inzichten kan opleveren voor een verantwoorde ruimtelijke planning. De Landschapsecologie is een transdisciplinair vakgebied tussen de Biologie, de Fysische Geografie en de Geochemie. De kern van de landschapsecologie is de samenhang tussen levensgemeenschappen van planten, dieren en micro-organismen en abiotische factoren in een ruimtelijk geheel van ecosystemen. Hierbij gaat het om verschillende belangrijke interacties. De interacties tussen de ecosystemen betreffen de hydrologische verbindingen, die resulteren in stromen van water en daarin aanwezige stoffen en organismen. De abiotische omstandigheden bepalen welke planten en dieren er voorkomen. Omgekeerd hebben de planten en dieren ook grote invloed op de abiotische omstandigheden, er is dus sprake van terugkoppelingen. De grote uitdaging voor de landschapsecoloog is dat hij het effect van al deze interacties tezamen op landschapsschaal moet zien te achterhalen.

Door Professor Zonneveld is 5 jaar geleden ter gelegenheid van het 25-jarig bestaan van de WLO, de vakvereniging voor landschapsecologen, reeds een historisch overzicht over de vroege ontwikkeling van de landschapsecologie

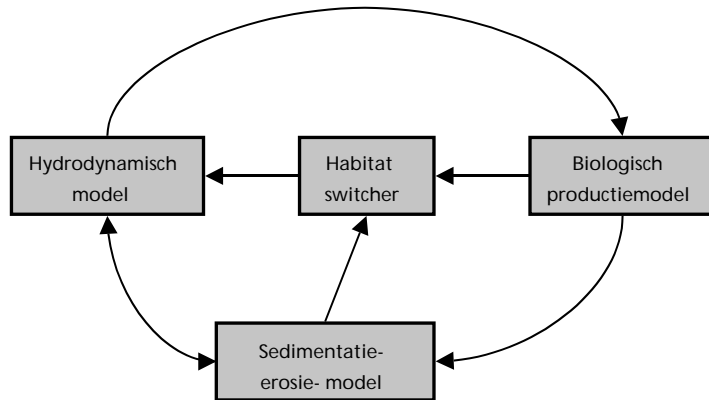


figuur 6 Aanpak van functioneel landschapsecologisch onderzoek.

gegeven. In de afgelopen 40 jaar heeft het vakgebied zich van een bonte mengeling van landschapsarchitecten en beschrijvende, geografisch georiënteerde vegetatie-ecologen ontwikkeld tot een bloeiende en internationaal zeer actieve discipline die vooral het functioneren van landschappen inzichtelijk maakt als een schakel tussen het functioneren van afzonderlijke terrestrische ecosystemen en van het systeem aarde als geheel. De grote doorbraak van de landschapsecologie is naar mijn oordeel te danken aan 3 verschillende wetenschappelijke ontwikkelingen, die ieder ook uit een verschillend wetenschapsgebied voortkomen.

Dit laat zich het best illustreren aan de hand van een schets van de aanpak van functioneel landschapsecologisch onderzoek (Fig. 6). Iedere studie begint met het ruimtelijk in kaart brengen van de verschillende ecotopen in hun landschappelijke samenhang. Technieken uit de Fysische Geografie en de Vegetatiekunde gaan daarbij hand in hand. De volgende stap is het beschrijven van de waterhuishouding van het gebied. Hydrologische studies van oppervlaktewater- en grondwaterstromingen en van de waterchemie zijn daarbij essentieel. Dynamische modellen in hydrologie en biogeochemie zijn de eerste belangrijke ontwikkeling in de doorbraak van de Landschapsecologie. Dergelijke modellen maken het mogelijk om complexe verzamelingen van hydrologische, biologische en chemische processen op systeemniveau te analyseren, zodat het gedrag van het ecosysteem in de tijd beschreven en voorspeld kan worden.

De tweede ontwikkeling komt uit mijn eigen discipline, namelijk de biologie, en bestaat uit het steeds succesvoller uitvoeren van experimenten in het veld en in de kas, proeftuin of laboratorium. De biologie is bij uitstek een experimentele wetenschap, die zeer veel ervaring heeft opgebouwd in het experimenteren met organismen in causaal-analytische vraagstellingen. De

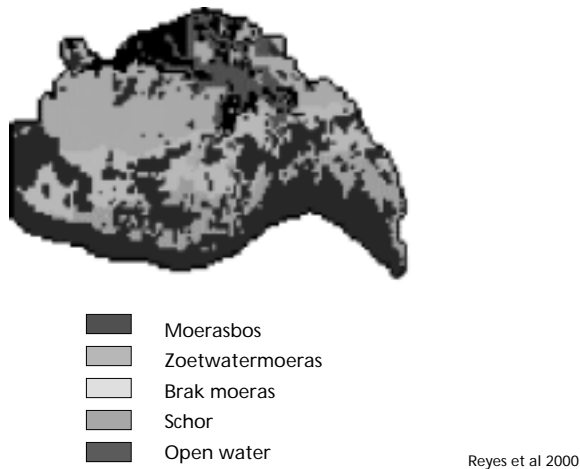


figuur 7 Dynamisch simulatiemodel van landverlies in de Mississippi-delta.
(naar Reyes et al. 2000).

laatste 50 jaar is in de ecologie veel bereikt met het ontwikkelen van nieuwe experimentele technieken in het veld en op micro- en mesocosmosniveau, waarin combinaties van soorten en veelal hele ecosystemen worden nagebootst. De derde ontwikkeling is de bijdrage van de geografie, in de vorm van de Geografische Informatiesystemen. GIS vormen een nog steeds krachtiger wordende set gereedschap voor het integreren van schaalniveaus. Het vergelijken van kaartbeelden en het analyseren van ruimtelijke patronen door middel van de geostatistiek maken het mogelijk om zeer ongelijkvormige informatie op landschapsschaal met elkaar in verband te brengen en op kaart te zetten.

VOORBEELD: LANDVERLIES IN DE MISSISSIPPI-DELTA

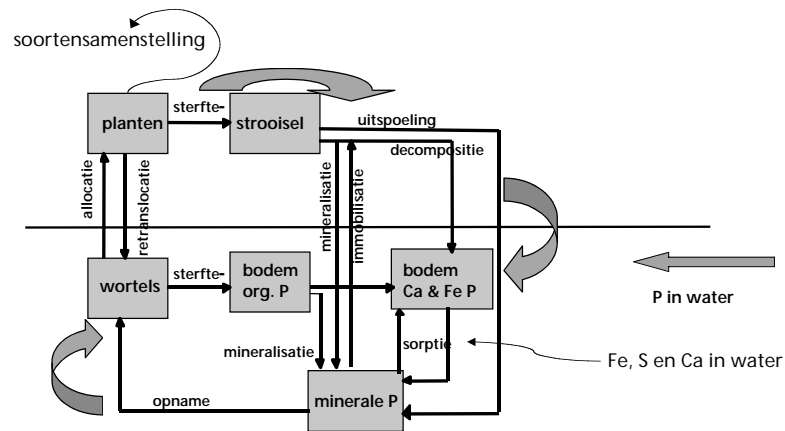
Een goed voorbeeld van een geslaagde landschapsecologische aanpak, dat ook aansluit bij de door mij eerder geschetste problematiek van zeespiegelstijging en bodemdaling is de studie naar landverlies in de Mississippi delta. Het gehele delta-gebied in de Amerikaanse staat Louisiana is ongeveer even groot als Nederland, maar bestaat voor een groot deel nog uit moerasbossen, drijvende laagvenen, schorren en brakwatermoerassen. De belangrijkste menselijke verstoringen zijn het graven van kanalen naar oliewinninginstallaties en de bedijking van de rivierarmen om overstroming van steden en olieinstallaties te voorkomen. De bodemdaling is daar wel een meter per eeuw. Normaliter bracht de rivier bij overstromingen voldoende sediment mee om het land zoveel op te hogen als nodig was om de bodemdaling bij te houden. Nu de rivier echter bedijkt is, komt al het sediment niet meer in de delta, maar in de Golf van Mexico terecht, hetgeen op de luchtfoto duidelijk te zien is. Bodemdaling wordt nu dus niet meer gecompenseerd door sedimentatie en veenvorming en de wetlands van de delta beginnen langzaam onder water te



figuur 8 De situatie in het Terrebonne Basin, Louisiana, in 1988.

verdwijnen. Het gaat daarbij om gigantische oppervlaktes, waardoor grote problemen zullen gaan ontstaan die nu al zichtbaar zijn. Uiteindelijk zullen zonder maatregelen grote oppervlakten in zee verdwijnen.

Het Center for Coastal Ecology van Louisiana State University heeft een landschapsecologisch model gemaakt waarmee deze ontwikkeling beschreven wordt en waarmee de effecten van beheersmaatregelen in scenarioanalyses kunnen worden geëvalueerd. Hiervoor hebben de onderzoekers een zo eenvoudig mogelijk dynamisch simulatiemodel geïmplementeerd in een geografisch informatiesysteem met gridcellen van 1 km². Het is aardig om te vermelden dat Charles Sasser, die aan het biologisch productiemodel heeft meegewerkt, een aantal jaren geleden op dit werk in Utrecht is gepromoveerd. Veder hebben ook twee Utrechtse studenten, Jenneke Visser en Roel Boumans, hieraan een bijdrage geleverd. Zij zijn na hun stage in Amerika gebleven en hebben daar hun wetenschappelijke carrière gemaakt. Het dynamisch simulatiemodel als geheel is eigenlijk een koppeling van drie verschillende submodellen (Fig. 7). Het hydrodynamische model beschrijft alle waterstromen in tijdstappen van uren, terwijl het biologisch productiemodel en het sedimentatiemodel met tijdstappen van dagen werken. De ‘habitat switcher’ bekijkt een keer per jaar of de omstandigheden in het kilometerhok zodanig zijn veranderd dat het type ecosysteem moet veranderen van b.v. zoetwatermoeras in brakwatermoeras, of van schor in open water. De delta is voor dit onderzoek in verschillende hydrologische eenheden ingedeeld, waarvan er twee op bijgaand kaartbeeld zijn aangegeven. Ik neem voor vandaag het Terrebonne Basin als voorbeeld. Dit is een gebied zo groot als de provincies Overijssel, Gelderland en Utrecht samen. In 1988 vormde het Terrebonne Basin een gebied met zeer uitgestrekte wetlands, die van Noord naar Zuid gradiënten vertonen: moerasbossen en zoetwater-wetlands in het noorden, brakwatermoerassen en schorren in het zuiden (Fig. 8). De hoeveelheid open water is



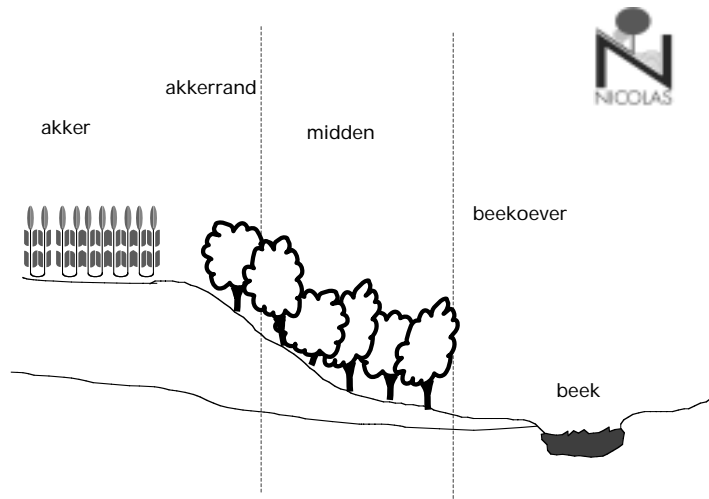
figuur 9 De fosforingsloop in wetlands.

beperkt en bevindt zich voornamelijk in de zoute en brakke zone. De simulatie van het 'niets doen' scenario laat zien dat de hoeveelheid open water steeds groter wordt, en met name na 2000 ook ver gaat doordringen in de zoetwaterzone. Een enorm landverlies treedt op, gepaard gaande met een sterke verzilting van de delta. Andere scenario's zijn doorgerekend waarbij het rivierwater met zijn sedimenten in meer of minder gecontroleerde vorm de delta weer kan gaan overstromen. Ik heb vandaag niet de gelegenheid om hier verder de details van te laten zien. Het landverlies kan echter door een ander waterbeheer goed binnen de perken gehouden worden.

HET ONDERZOEK VAN DE LEERSTOELGROEP LANDSCHAPSECOLOGIE AAN DE UNIVERSITEIT UTRECHT

Na dit voorbeeld uit een ander deel van de wereld keer ik terug naar het onderzoek van de leerstoelgroep landschapsecologie hier aan de Universiteit Utrecht. Dit onderzoek richt zich op de biogeochemische rol van wetlands in het landschap.

Onze groep kijkt daarbij vooral naar de effecten van de instroom van stoffen via waterstroming en via de atmosfeer op de nutriëntenhuishouding van wetlands. Het gaat daarbij om de manier waarop dergelijke inputs de vegetatie- en bodemprocessen beïnvloeden. Wat we uiteindelijk willen weten is, of deze effecten ook gevolgen hebben voor de biodiversiteit in het wetland en op de milieukwaliteit rond het wetland. De keuze voor wetlands als studieobject is gebaseerd op zowel een wetenschappelijke als een maatschappelijke motivatie. Onze wetenschappelijke motivatie komt voort uit het complexe karakter van wetlands als ecosysteem. Door de afwisselingen van droge en natte omstandigheden, zowel in de ruimte als in de tijd, hebben wetlands rijk geschakeerde bodemomstandigheden: sommige plekje zijn zuurstofrijk en

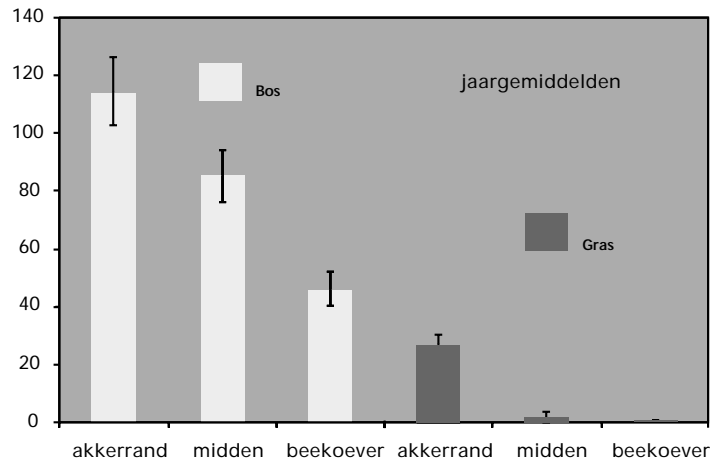


figuur 10 Drie zones in de onderzochte bufferstroken in Twente: de akkerrand, de beekoever en de midden-zone daar tussen in.

andere zuurstofloos. Dit heeft grote gevolgen voor de afbraakprocessen in de moerasbodem. De micro-organismen gaan in plaats van zuurstof achtereenvolgens nitraat, mangaan, ijzer, sulfaat en kooldioxide gebruiken, waarbij allerlei gasvormige eindproducten kunnen ontstaan, o.a. zwavelwaterstof, stikstofgas, lachgas en methaan. De afbraak wordt daarbij wel minder efficiënt, zodat er zich organische stof in de vorm van veen gaat ophopen.

Een wetland-ecosysteem kun je dus opvatten als een complexe biogeochemische fabriek. Een schematisch diagram van de kringloop van nutriënten in een wetland laat zien hoe nutriënten door planten worden opgenomen en vervolgens door microbiële afbraak weer worden gerecycled. Bij de stikstofkringloop leiden bacteriële processen als denitrificatie onder anaërobe condities tot productie van stikstofgas en lachgas. Op het schaalniveau waarop wij werken gaat het om het vinden van de sleutelfactoren die de snelheden van fluxen in het ecosysteem bepalen. Bij de fosforkringloop (Fig. 9) zijn het complexe geochemische interacties met calcium en ijzer die ook sterk de beschikbaarheid van fosfaat bepalen. Een belangrijke uitdaging ligt daarbij in het doorgronden van de gevolgen van al deze biogeochemische processen voor de leefomstandigheden voor planten en dieren in het landschap.

De maatschappelijke motivatie die onze leerstoelgroep drijft is gelegen in het nader wetenschappelijk verkennen van de betekenis die ecologische functies van wetlands kunnen hebben voor de maatschappij, voor u dus. Hierbij gaat het over waardevolle ecosysteemfuncties, zoals natuurwaarden en waterzuiverend vermogen, maar ook over risico's als interne eutrofiëring of nalevering van zware metalen. Deze maatschappelijke motivatie is geheel in lijn met de vertaling naar de ruimtelijke planning, die binnen de landschapsecologie traditioneel hoog op de agenda staat.



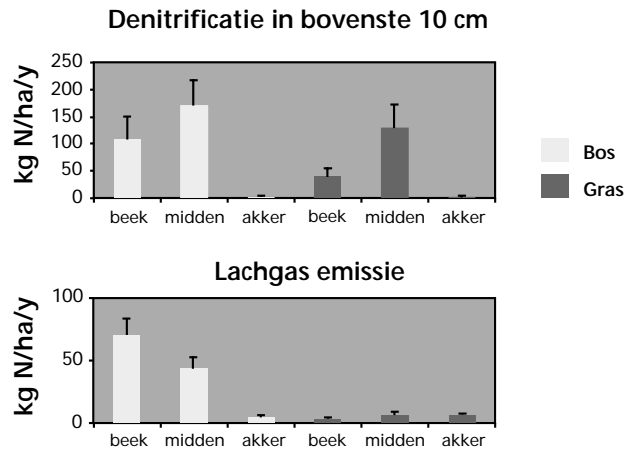
figuur 11 Nitraatgehaltes (mg no₃/l) in bufferstroken in Twente, waarbij een met bos en een met gras begroeide bufferstrook werden vergeleken.

Ik wil nu de huidige onderzoeksprioriteiten in onze groep illustreren aan de hand van de opzet en voorlopige resultaten van enkele representatieve projecten.

Stoffentoeestroom naar wetlands: waterzuivering versus emissie van broeikasgassen

Hierbij gaat het om studies naar de invloeden van instroom van stoffen (b.v. nutriënten, metalen) op de biogeochemie van wetlands. Ik wil in dit verband een aantal verrassende resultaten van ir. Mariet Hefting en dr. Roland Bobbink kort aanduiden. Het gaat hier om een door de EU betaald onderzoek naar het functioneren van twee bufferstroken langs beken in Twente, dichtbij Ootmarssum. Deze bufferstroken worden doorstroomd door zeer nitraatrijk water vanuit de aangrenzende akkers en graslanden. Bij dit onderzoek werden een beboste helling en een met gras begroeide helling tussen een maisakker en een beek met elkaar vergeleken (Fig. 10). In het linkerdeel van Fig. 11 ziet u de nitraatconcentraties in de bos-strook, die extreem hoog zijn vlak naast de akker en flink lager zijn vlak langs de beek. We zien dus dat de bufferzone veel nitraat verwijderde maar niet genoeg: het eruitstromende water bevat nog steeds te veel nitraat. In de gras-zone was de nitraatconcentratie in de akkerrand een stuk lager en was de concentratie aan de beekoever vrijwel nul. Hieruit blijkt dus dat bij de zeer hoge nitraatconcentraties, die overigens in Oost-Nederland helemaal niet zeldzaam zijn, deze bufferzones vaak worden overbelast.

Dat wordt nog duidelijker als ook gekeken wordt naar de lachgasemissies (Fig. 12). Die zijn in het studiegebied gemeten met behulp van fluxkamers die in het veld opgesteld worden en aangesloten worden aan een akoestische infra-rood gas analyzer die in het veld te gebruiken is. De bovenste figuren laten zien dat in de natte delen van beide bufferstroken stikstof uit het water wordt verwijderd door denitrificatie. In de onderste figuren blijkt dat in de boszone een groot



figuur 12 Denitrificatie en lachgasemissie in de bovenste 10 cm van de bufferstroken in Twente.

deel van die stikstof het systeem als lachgas verlaat. Lachgas is een broeikasgas en vernietigt ook de ozonlaag. We zien dus dat in de bosbufferstrook het water wel schoner is geworden (niet schoon genoeg trouwens), maar dat een ander milieuprobleem is ontstaan. Het totale milieurendement is waarschijnlijk negatief in dit geval. Bij een lagere nitraatbelasting zal de hoeveelheid lachgas meer dan evenredig verminderen omdat dan meer nitraat in onschadelijk stikstofgas kan worden omgezet. Dit blijkt ook uit de resultaten voor de grasbufferzone. Als de nitraatconcentraties maar niet extreem hoog zijn, prevaleert dus het milieuvoordeel.

Deze resultaten hebben vergaande consequenties voor het denken over bufferstroken en helofytenfilters voor nitraatverwijdering. In de VS is 4 jaar geleden een bedrag van 100 miljoen dollar beschikbaar gesteld voor het ontwikkelen en herstellen van bufferzones langs akkers en weilanden. Of deze goed zullen werken hangt dus af van de nitraatconcentraties waarmee ze gevoed worden. Nader onderzoek van de gasemissies uit de vele wetlands die overal ter wereld worden ingezet voor waterzuivering is absoluut noodzakelijk om het milieurendement van deze voorzieningen nader te nuanceren en waar mogelijk te optimaliseren. Wetlands maken het water inderdaad behoorlijk veel schoner. Maar als we niet opletten gaat dat ten koste van een bijdrage aan het versterkte broeikas effect. Goede beheerspraktijken voor zuiveringsmoerassen zijn dus van groot belang. Wij zullen dat in de komende jaren ook onderzoeken langs de A1 bij Laren, waar snelwegwater met rietmoerassen wordt gezuiverd.

Herstel van botanische soortenrijkdom: experimenteel onderzoek naar maatregelen op catchment-schaal en bottlenecks voor vestiging van doelsoorten.

Natuurbeheersorganisaties in Nederland staan voor de uitdagende opdracht om de door verzuring en vermessing verstoorde natuur zoveel mogelijk te

herstellen en nieuwe natuur te ontwikkelen op uit productie genomen landbouwgrond. Meestal is het voor het herstel van verzuurde en geëutrofiëerde graslanden en heides nodig om de bovenste bodemlaag af te plaggen, omdat daar grote hoeveelheden nutriënten en protonen zijn geaccumuleerd. De verdwenen soorten, die veelal zeer karakteristiek en tegelijk zeldzaam zijn, moeten zich dan opnieuw vestigen.

Vaak hebben herstelmaatregelen tegenvallende resultaten, ook als de zaden van de karakteristieke doelsoorten wel aanwezig zijn. In zulke gevallen zijn voor kieming en vestiging van dergelijke soortengroepen specifieke standplaatsfactoren nodig, b.v. voor wat betreft vochtgehalte, zuurgraad of waterstandswisselingen.

In het onderzoek van Edu Dorland naar herstel van verzuurde vochtige heideschraallanden is gebleken dat het afplaggen van de bovenste bodemlaag de verzuring van het systeem nog onvoldoende te niet doet. Bekalken van het stroomgebied, met als doelstelling om het toestromende grondwater kalkrijker te maken, wordt als aanvullende maatregel uitgetest. Daarnaast worden experimenten gedaan naar de kiemings- en vestigingsvoorwaarden van doelsoorten in de kas. Voor *Parnassia* is door Dorland gevonden dat op afgeplagde bodems de kieming zeer sterk wordt gestimuleerd door toevoeging van kalk, terwijl toevoeging van cellulose en nitrificerende bacteriën geen effect hadden. Hiermee blijkt dat het bufferend vermogen van de bodem de bottleneck vormt, en niet b.v. de ophoping van ammonium door afwezigheid van nitrificerders.

Peilfluctuaties en nutriënten: grootschalige experimenten met peilwisselingen in laagvenen, uiterwaarden en meren

Een van de meest karakteristieke eigenschappen van wetlands is hun fluctuerende waterpeil. Veel moerassen hebben een hoog waterpeil in de winter en een laag peil in de zomer, en onregelmatige, geleidelijke schommelingen.

Zo niet in grote delen van Nederland. Daar worden de waterstanden in de polders nauwkeurig gereguleerd, zodat veel wetlands een altijd even hoog peil hebben. Vaak is er zelfs een z.g. omgekeerd peilbeheer, met lage waterstanden in de winter en hoge waterstanden in de zomer, hetgeen opperste verbazing wekt bij iedere buitenlandse collega die ik hier rondleid. Het constante waterpeil heeft veel nadelen: stagnatie van het bodemwater en langdurige zuurstofloze condities in de bodem met negatieve gevolgen voor de vegetatie; weinig mogelijkheden voor de ontwikkeling van oeverzones, relatief hoge beschikbaarheid van nutriënten en toxische stoffen in bodem en water. Een ander zeer groot nadeel van dit waterbeheer is dat voor het opzetten van het zomerpeil veelal Rijnwater gebruikt wordt, wat een zeer nivellerende invloed heeft gehad op de botanische soortenrijkdom van wetlands in heel Nederland.

Er zijn momenteel veel plannen bij waterbeheerders om het waterpeil van wetlandgebieden weer veel meer te laten fluctueren en daarbij ook weer een meer natuurlijk peilverloop te hanteren. Hoewel peilwisselingen zo karakteristiek zijn voor wetlands, is er verbazingwekkend weinig systematisch onderzoek gedaan naar de invloed van deze wisselingen op de biogeochemie en vegetatie. De belangrijkste vragen die onze groep gaat onderzoeken betreffen de invloed van afwisselend droge en natte bodemcondities op de fosfaatadsorptie, stikstofmineralisatie, nitrificatie en denitrificatie en daarmee op de soortensamenstelling en functie van de vegetatie. Wij gaan deze problematiek in drie projecten bestuderen, waarin respectievelijk de Nederlandse laagveenwateren, de uiterwaarden en de oevers van grote zoetwatermeren centraal zullen staan. Wij zullen hierbij consortiums vormen met de Katholieke Universiteit Nijmegen, het RIZA, Witteveen en Bos en het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO).

Staat u niet verbaasd als de waterpeilen in Nederland over enkele jaren dus fors meer gaan variëren.

EVALUWET: link naar de ruimtelijke planning

Dan wil ik de onderzoeksprioriteiten afsluiten met het EVALUWET-project, waarin wij een bijdrage leveren aan het opzetten van een expertsysteem voor het vaststellen van ecologische functies van wetlands. Dit project vormt de duidelijkste link tussen ons werk aan wetlands en de ruimtelijke planning op regionaal niveau. EVALUWET is een Europees project gefinancierd onder het 5e EU-kaderprogramma. Als eindproduct gaat het project een wetenschappelijk onderbouwd kennisstelsel leveren, dat beleidsmakers zal kunnen helpen bij het nemen van beslissingen. Wij (uit mijn groep met name Mariken Verhoeven), samen met het IVM Amsterdam, hebben de taak om dit systeem te gaan toepassen bij de ruimtelijke planvorming in Waterland in Noord-Hollands Midden.

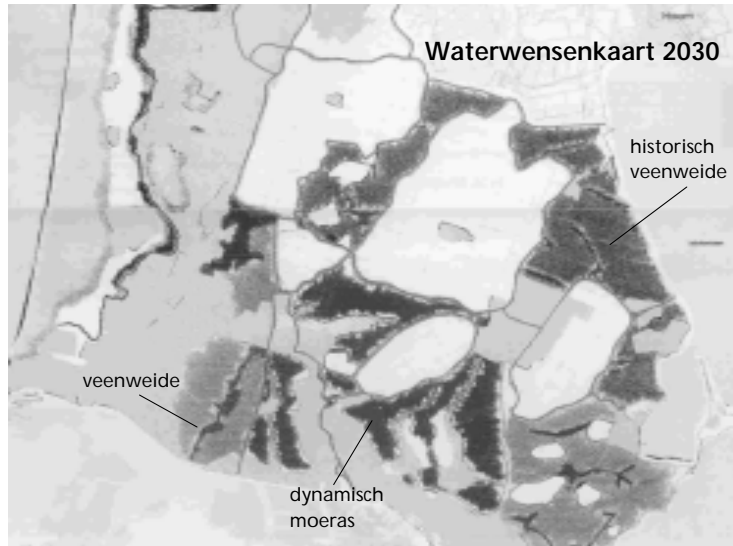
Onder het woord ‘functie’ verstaan we hier een resultante van het ecologisch functioneren van het wetland-ecosysteem, die soms waardevol voor de samenleving kan zijn, soms ook risico’s of gevaren kan opleveren. De ecologische functies van wetlands zijn in het kader van de genoemde Europese studie onderverdeeld in 3 categorieën:

- De hydrologische functies hebben direct te maken met de waterhuishouding. Zo kunnen wetlands een waterbergende functie hebben, wanneer zij deel uitmaken van de overstromingsvlakte van een rivier.
- De biogeochemische functies zijn de resultante van de complexe interacties tussen de bodem, het water en de vegetatie. Per saldo leiden deze processen vaak tot een verbetering van de kwaliteit van het door het wetland heen stromende water.
- De habitat-functies hebben vooral te maken met het oogsten van planten of dieren uit wetlands en met de veelal hoge biodiversiteit, die in de wetlands van de wereld wordt aangetroffen. Ook de kraamkamerfunctie van lagunes en waddegebieden voor de visstand in kustgebieden is onderdeel van deze groep wetland-functies.

EVALUWET werkt met een interactief kennisstelsel waarmee gebruikers op relatief eenvoudige wijze de functies van een wetland-gebied kunnen vaststellen. Het systeem werkt op een computer geeft een evaluatie van een totaal-overzicht van functies op basis van gegevens die door de gebruiker zijn ingevoerd. Dit beslissingsondersteunend model, het WEDSS (Wetland Evaluation Decision Support System), waardeert de wetland-functies met behulp van kaartbeelden in een GIS en vergelijkt deze met andere functies en waarden in het studiegebied.

Ons voorbeeldgebied, Noord-Hollands Midden, kent afwisselingen van oude, zeer natte veenpolders en droogmakerijen als de Schermer en de Wormer. Het gebied heeft zeer grote natuurwaarden in de vorm van weidevogels, en kent zowel natuureservaten als agrarisch natuurbeheer. Het Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier heeft als uitwerking van het waterbeleid 21e eeuw een Waterwensenkaart gemaakt, waarin in grove lijnen mogelijkheden voor een ander grondgebruik worden aangegeven (Fig. 13). Hier wordt b.v. een deel van het veenweidegebied omgevormd tot ‘dynamisch moeras’. De landbouw zou dan hier beëindigd worden en het beheer zou gericht worden op herstel van veenvormende vegetaties. Het is de bedoeling dat met behulp van EVALUWET de gevolgen van dit soort vergaande ideeën kan worden verkend, niet alleen voor de biodiversiteit, maar ook voor waterkwaliteit, broeikas-effect en productiefuncties als sportvisserij en recreatie.

Al dit onderzoek doen wij niet alleen. Juist vanwege het interdisciplinaire karakter van de Landschapsecologie is het belangrijk om intensief met andere groepen en instituten samen te werken. Ik kom straks nog terug op de samenwerkingen binnen de Universiteit Utrecht, maar geef hier vast aan met



figuur 13 Waterwensenkaart 2030 voor een deel van Noord-Holland midden. Op deze kaart zijn de contouren van een aantal nieuwe vormen van landgebruik in de veenweidegebieden geschetst. Uit: IWACO (2000).

welke instituties wij gezamenlijke projecten hebben lopen. Met name de nieuwe samenwerking met ecologisch georiënteerde microbiologie (NIOO-CL) is een interessante toevoeging aan de breedte van ons werk.

HET ONDERWIJS IN DE LANDSCHAPSECOLOGIE

Nu ik het voorafgaande heb laten zien waar mijn wetenschappelijke hart ligt, wil ik enkele woorden zeggen over het universitair onderwijs in de landschapsecologie. Iedereen die mij een beetje kent, weet dat ik een passie heb voor het universitaire onderwijs. Het is een voorrecht om jonge mensen op te leiden naar de grenzen van de kennis en hen te inspireren door enthousiasme voor een prachtig vakgebied over te dragen. Ik vind het buitengewoon boeiend om de ontwikkeling van jonge volwassenen te zien van onbeschreven blad naar jonge professional met een eigen kijk op de zaken en een goede mix van academische en communicatieve vaardigheden.

Het universitair onderwijs in Nederland staat op een hoog peil, ik spreek uit eigen ervaring over de bèta-wetenschappen in Utrecht. Wij gaan ons onderwijs ingrijpend omvormen in de Bachelor-Masterstructuur. Een dergelijke op internationalisering gerichte ingrijpende verandering is zeer toe te juichen, en we moeten er alles aan doen om deze kans meteen aan te grijpen om ons onderwijs in alle opzichten te vernieuwen. Ik hoop wel dat we daarbij niet teveel zullen doorschieten naar de details van het Noord-Amerikaanse model. Naar mijn smaak wordt bij de huidige discussies te weinig rekening gehouden met het grote verschil in niveau van de gemiddelde beginnende student: In de VS heeft de student na de high school heel wat minder intellectuele bagage dan in ons land de VWO-abituriënt. Een brede bachelor is daarom in de VS een goed op de ervaring van de student toegesneden opleiding. Bij ons kan de

student bij aanvang van zijn studie meteen een disciplinaire studie aan. Ik ben er dan ook blij mee dat uiteindelijk ook aan onze universiteit de bachelorsopleidingen in eerste instantie disciplinair georganiseerd zijn. Dat een biologiestudent daarbij straks veel meer keuzes heeft om ook buiten de biologie vakken te volgen en bovendien sterker in academische vaardigheden zal worden geschoold vind ik een groot winstpunt. Laten we echter de inhoudelijke diepgang van ons onderwijs niet opofferen aan een te grote nadruk op algemene vaardigheden.

Het goed vorm geven van de mastersopleiding vind ik voor ons allen de grote uitdaging waarvoor we staan. We hebben nu de kans om juist dat deel van de opleiding waarin de student academisch gevormd wordt door het verrichten van onderzoek of het volgen van stages elders in de maatschappij een zodanige kwaliteit mee te geven dat onze afgestudeerden internationaal uitstekend kunnen concurreren.

De inbedding van mijn leerstoelgroep in Utrecht ligt binnen de faculteit Biologie. Wij hebben nauwe banden met betrekking tot onderzoek en onderwijs met de paleo-ecologie, de ecofysiologie en de plantenecologie. Speciaal het onderzoek naar de paleo-ecologie van geologisch recente milieuveranderingen en naar de ecofysiologische aanpassingen van planten aan overstromingen bieden goede mogelijkheden voor verdere samenwerking. Binnen het studiepad Biogeologie werken we ook samen met diverse groepen uit Aardwetenschappen en Ruimtelijke wetenschappen. Ik maak van deze gelegenheid gebruik om met kracht te pleiten voor de handhaving van de bestuurlijke zelfstandigheid van de biologie, die hier in Utrecht gestalte heeft in de faculteit biologie. Juist in vakgebieden die over de grenzen van de discipline heengaan is de blijvende inbedding van de partners in hun oorspronkelijke discipline van groot belang. Een clusterfaculteit geregeerd door een superdecaan lijkt mij voor de beta-wetenschappen gemakkelijk te kunnen leiden tot periodiek zwaar weer met overstromingsgevaar.

De Landschapsecologie is door mijn benoeming een echt Utrechts zwaartepunt geworden. Niet alleen is er nu aan de faculteit biologie een volwaardige leerstoelgroep actief, waaraan de Werkgemeenschap Landschapsecologisch Onderzoek eerder prof. Whigham als bijzonder hoogleraar benoemde. Ook bij de ruimtelijke wetenschappen wordt binnenkort een bijzonder hoogleraar door de WLO aangesteld. Dit is een nieuwe impuls voor de samenwerking op het gebied van onderzoek en onderwijs in de Landschapsecologie, die vanuit onze groep met de Ruimtelijke Wetenschappen (i.c. Natuurwetenschappelijke Milieukunde) reeds bestaat. Na invulling van de nieuwe leerstoel kan deze samenwerking duidelijker zichtbaar worden. Een eerste voorproefje van wat u te wachten staat is de studiedag over landschapsschalen die a.s. donderdag onder auspiciën van onze universiteit, de WLO en de Smithsonian Institution gehouden zal worden.

SLOTWOORD

Tot slot wil ik nog enkele woorden van dank uitspreken aan personen en instituties die voor mij en mijn activiteiten van groot belang geweest zijn en nog zijn. Allereerst wil ik de rector magnificus, professor Gispén, en de voorzitter van het college van bestuur, de heer Veldhuis, bedanken voor mijn benoeming als hoogleraar aan deze universiteit. Ook dank ik hen voor de steun die zij mij hebben gegeven bij het binnenhalen en organiseren van de grote Internationale Wetland-Conferentie die wij over ruim twee jaar hier in Utrecht gaan houden. Leden van het organisatiecomité, alsmede alle leden van het wetenschappelijk comité voor deze conferentie, ik zie uit naar de verdere organisatie van dit evenement.

Voorts wil ik het bestuursteam en het opleidingsbestuur van de faculteit Biologie van harte bedanken voor hun steun en hun coöperatieve opstelling bij

vele activiteiten. Speciaal zou ik de hoogleraren Hoekstra, Van Loon, Voeselek en Werger willen bedanken voor hun rol bij het versterken van de Landschapsecologie aan onze faculteit. Ik zie uit naar de samenwerking met hen, en met de hoogleraren Lotter, Maas, Smeekens, Van der Zwaan en Van Cappellen en de stafleden uit hun leerstoelgroepen bij het verder vormgeven van het plantenbiologisch en biogeologisch onderzoek en onderwijs aan onze faculteit. Verder bedank ik het beheer en de diensten van de faculteit en het personeel van de Botanische tuinen voor het vele werk ten dienste van onze groep.

Mijn leermeesters, de hoogleraren Den Hartog en Van der Maarel en de helaas vorig jaar overleden Westhoff, wil ik bijzonder bedanken voor de inspiratie die ze mij hebben gegeven. A special word of thanks for prof. Dennis Whigham from the Smithsonian Institution in Washington, a very-long term colleague and friend who has always inspired me in our extensive discussions on our scientific interests and on all other aspects of life. Through our mutual sabbaticals in each others' working environments we have established a collaboration with a great value for our professional activities as well as for our personal lives. I hope you will remain attached to our group for many more years to come. Ook wil ik speciaal nog een woord van dank richten aan de medewerkers van mijn eigen leerstoelgroep. Zonder jullie stond ik hier niet. Ik wil mijn bewondering en dank uitspreken over jullie talent en jullie enorme inzet bij het uitvoeren van de vele taken op het gebied van onderzoek en onderwijs. Boudewijn Beltman en Roland Bobbink, ik dank jullie voor jullie vele jaren van grote inzet en collegialiteit. De analisten Gerrit, Paul en Sandra dank ik voor het cruciale werk dat jullie verrichten. De postdocs en AIO's, Alice, Edu, Harry, Isabel, Karin, Margje, Mariet, Mariken, Martijn, en Maurice, veel dank voor jullie commitment en voor de goede sfeer die jullie meebrengen. Ik zie een zeer actieve periode met veel nieuwe projecten voor ons.

Studenten van deze universiteit, ik heb het werken aan jullie toekomst altijd positief gewaardeerd. Ik hoop dat ik jullie samen met mijn groep kan blijven informeren en enthousiasmeren voor ons boeiende vakgebied.

En dan tenslotte, dank aan mijn moeder, die wegens haar gezondheid helaas vandaag niet bij ons kan zijn. U hebt samen met mijn overleden vader veel bijgedragen aan het vormen van mijn persoonlijkheid. Lieve Marja, jij hebt mij laten zien hoeveel kracht en kleur de liefde geeft aan het leven. Samen met jou heb ik het voorrecht onze zonen Willem, Maarten en Steven te zien opgroeien en zo in nauw contact te staan met de volgende generatie. Jongens, ik hoop dat jullie toekomst er een zal zijn met vrede, voorspoed en niet te hoge waterstanden.

Ik heb gezegd.

GERAADPLEEGDE BRONNEN

- Beltman, B., T.G. Rouwenhorst, M.B. van Kerkhoven, T. van der Krift, and J.T.A. Verhoeven.** 2000. Internal eutrophication in peat soils through competition between chloride and sulphate with phosphate for binding sites. *Biogeochemistry* 50:183-194.
- Beltman, B., T. van den Broek, A. Barendregt, M.C. Bootsma, and A.P. Grootjans.** 2001. Rehabilitation of acidified and eutrophied fens in The Netherlands. Impact of hydrologic and liming measures. *Ecological Engineering* 17: 21-32.
- Bobbink, R., M. Hornung, and J.G.M. Roelofs.** 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86:717-738.
- Commissie Waterbeheer 21e Eeuw.** 2000. Waterbeleid voor de 21e eeuw. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Haycock, N.E., T.P. Burt, K.W.T. Goulding, and G. Pinay, editors.** 1997. Buffer zones: their processes and potential in water protection. Quest Environmental, Harpenden, Hertfordshire, U.K.
- Hefting, M.M., and J.J.M. de Klein.** 1998. Nitrogen removal in buffer strips along a lowland stream in the Netherlands: a pilot study. *Environmental Pollution* 102 (1):521-526.
- IWACO.** 2000. Waterkansenkaart Noord-Holland Noorderkwartier Zuid. Eindrapportage (concept). Rapport, Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen, Edam.
- Klijn, F., and W. Vos.** 2000. From landscape Ecology to Landscape Science. Werkgemeenschap Landschapsecologisch Onderzoek, Wageningen.
- Lamers, L.P.M., M. Klinge, and J.T.A. Verhoeven.** 2001. OBN Pre-advies Laagveenwateren. Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Wageningen.
- Martin, J.F., M.L. White, E. Reyes, G.P. Kemp, H. Mashriqui, and J.W. Day Jr.** 2000. Evaluation of Coastal Management Plans with a Spatial Model: Mississippi Delta, Louisiana, USA. *Environmental Management* 26(2):117-129.
- Mitsch, W.J., J.W. Day Jr, W. Gilliam, P.M. Groffman, D.L. Hey, G.W. Randall, and N. Wang.** 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River basin: Strategies to counter a persistent ecological problem. *BioScience* 51(5):373-388.
- Mitsch, W.J., and J.G. Gosselink, editors.** 2000. Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Reyes, E., M.L. White, J.F. Martin, G.P. Kemp, J.W. Day, and V. Aravamuthan.** 2000. Landscape modelling of coastal habitat change in the Mississippi delta. *Ecology* 81(8): 2331-2349.
- Sasser, C.E.** 1994. Vegetation dynamics in relation to nutrients in floating marshes in Louisiana, USA. Ph.D. Dissertation. Utrecht University.
- Verhoeven, J.T.A., and R. Bobbink.** 2001. Plant diversity of fen landscapes in The Netherlands. Pages 65-87, in B. Gopal, W. J. Junk and J. A. Davis, editors. Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Volume 2. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Verhoeven, J.T.A., D.F. Whigham, R. van Logtestijn, and J. O'Neill.** 2001. A comparative study of nitrogen and phosphorus cycling in tidal and non-tidal riverine wetlands. *Wetlands* 21: 210-222.
- Wolff, W.J.** 1993. Netherlands-Wetlands. Pages 1-14, in E.P.H. Best and J.P. Bakker (eds) Netherlands-Wetlands. Kluwer Academic, Dordrecht.