

1-1

# Advies over ecologische modellering in de Droogtestudie

J.P.M. Witte, KIWA, 2004

( Redactionele aanvullingen D. Klopstra, 2004 )

<b>Advies over ecologische modellering in de Droogtestudie</b>		<b>1-1</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1-3</b>
<b>2</b>	<b>Effecten van klimaatverandering op de vegetatie: wat is er bekend?</b>	<b>2-4</b>
2.1	Beschreven effecten op de vegetatie	2-4
2.2	Bestaande modellen	2-6
2.2.1	Directe effecten	2-7
2.2.2	Indirecte effecten	2-8
2.2.3	Waarin bestaande modellen tekort schieten	2-10
<b>3</b>	<b>Advies modellering in de 2<sup>e</sup> fase van de droogtestudie</b>	<b>3-14</b>
3.1	Inleiding	3-14
3.2	Advies	3-14
3.3	Bepalen van structurele effecten	3-15
3.3.1	Effecten van maatregelen	3-15
3.3.2	Effecten van klimaatverandering	3-15
3.4	Bepalen van effecten van incidentele droge jaren	3-15
<b>4</b>	<b>Literatuur</b>	<b>4-16</b>

# 1 Inleiding

Ecologische effecten van klimaatverandering hebben hun uitwerking op de langtermijn. Dit betekent dat langetermijnprocessen, en dan in het bijzonder de successie van bodem en vegetatie, bij de voorspelling van deze effecten in beschouwing genomen dienen te worden.

In hoofdstuk 2 geef ik een overzicht van wat in de literatuur is gevonden over de modellering van successie en de te verwachten effecten op de vegetatie van klimaatverandering.

Het oorspronkelijke Hoofdstuk 3 bevat aanbevelingen voor het bepalen van ecologische effecten op landelijke schaal, op korte en lange termijn. Dit hoofdstuk is later samengevat in pragmatische aanbevelingen voor de tweede fase van de Droogtestudie (interne notitie D. Klopstra, 25-03-2004). In onderhavige versie is het oorspronkelijke hoofdstuk 3 vervangen door deze aanbevelingen.

Flip Witte, Nieuwegein, maart 2004

## 2 Effecten van klimaatverandering op de vegetatie: wat is er bekend?

### 2.1 Beschreven effecten op de vegetatie

Successie van ecosystemen hangt voor een belangrijk deel samen met de opslag van nutriënten en koolstof in de bodem. Van Oene et al. (1999b) hebben bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar de successie op de Veluwe. Beginnend vanuit een kale zandbodem wordt in eerste instantie vooral koolstof opgeslagen, later vooral stikstof en fosfaat. Door de stapeling van organische stof neemt het vochtleverend vermogen van de bodem toe. Het gevolg hiervan is dat de bodem langzaamaan voedselrijker en vochtiger wordt waardoor een verschuiving in soortensamenstelling optreedt: in het begin domineren op de zandgrond soorten die tegen extreme droogte en voedselarmoede kunnen (korstmossen, Buntgras), later nemen snellere groeiers die minder goed tegen droogte kunnen het over (Bochtige smele bijvoorbeeld) en raakt de bodem ook meer bedekt met planten. De hoeveelheid en afbreekbaarheid van boven- en ondergrondse plantendelen, zijn tijdens deze successie van grote invloed op de bodemontwikkeling. Tezamen met groeisnelheid en concurrentiekracht zijn dit soortspecifieke eigenschappen.

Meteorologen verwachten dat het klimaat op aarde zal veranderen door de toename van het broeikas effect. Voor Nederland zou dit betekenen dat het warmer gaat worden en de neerslaghoeveelheid gaat toenemen, vooral in de vorm van hevige buien in het winterhalfjaar. In klimaatscenario's voor het jaar 2100 wordt uitgegaan van een temperatuurstijging in Nederland van 1 á 4 graden, en een toename in de hoeveelheid neerslag van 1.5 á 12 (Adviescommissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, 2000; Können, 2001). Dat zijn flinke veranderingen; een verschuiving in de gemiddelde jaartemperatuur van 2 °C komt bijvoorbeeld overeen met een verschuiving van Utrecht naar Parijs (mond. med. Van der Geijn in IGBP, 1998). Zulke veranderingen kunnen van grote invloed zijn op de hydrologie van Nederland, en daarmee op plantengroei. Die plantengroei wordt echter ook rechtstreeks beïnvloed door een toename van de broeikasgassen, en niet alleen doordat de temperatuur gaat stijgen. Een toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie heeft namelijk effect op het evenwicht tussen opname en afgifte van CO<sub>2</sub>: een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte stimuleert de fotosynthese en remt de ademhaling van planten. Met andere woorden, planten groeien harder en hebben naar verhouding minder water nodig.

Bij een verdubbeling van het CO<sub>2</sub>-gehalte leggen planten een kleine 40% meer koolstof vast. Van die extra hoeveelheid koolstof wordt ook weer zo'n 40% opgeslagen in de bodem. Dat gebeurt in de vorm van dode plantenresten, die op hun beurt als voedsel dienen voor schimmels en micro-organismen. Bij de vertering komt natuurlijk ook weer CO<sub>2</sub> vrij, maar netto neemt het gehalte aan organische stof (humus) in de bodem toe met 1 à 2 % per jaar. Dat is merkwaardig, omdat het aanbod aan plantmateriaal juist groter is geworden; de planten groeien immers sneller bij een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte. De oorzaak is vermoedelijk dat de plantenresten moeilijker te verteren zijn. Waarschijnlijk komt dit doordat het eiwitgehalte in de biomassa afneemt bij een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte. Een ander mogelijk gevolg van het lagere eiwitgehalte is dat insectenplagen waarschijnlijk grootschaliger gevolgen krijgen: een rups heeft meer blad nodig om voldoende voedsel te krijgen (mond. med. Van der Geijn in IGBP, 1998).

De vraag of effecten van klimaatverandering nu al in de flora van Nederland zijn terug te vinden werd door Tamis et al. (2001) onderzocht aan de hand van het bestand FLORBASE. De auteurs konden 16.6% van de voor- en achteruitgang van soorten in de laatste twee decennia van de twintigste eeuw verklaren aan de hand van Ellenberg-getallen voor temperatuur, voedselrijkdom, zuurgraad en saliniteit. Van deze 16.6% werd ongeveer de helft, dus 8-9%, verklaard door het Ellenberg-getal voor temperatuur. Vooral warmteminnende soorten zouden zijn toegenomen; dat boreale soorten desondanks zijn toegenomen in dezelfde periode, zou volgens de auteurs samenhangen met bosontwikkeling.

Zonder afbreuk te willen doen aan de verdienste van dit onderzoek, blijft de vraag bestaan in hoeverre de door Tamis et al. gesignaleerde 8-9% temperatuurafhankelijke verandering reëel is of 'ruis', veroorzaakt door artefacten in de geanalyseerde gegevens (systematische verschillen in de methode, de duur en de intensiteit van de florainventarisaties).

Van Vliet en De Groot (2001) onderzochten veranderingen in de phenologie van 28 plantensoorten. De bloei en bladuitloop bleken in de periode 1989-2000 3-19 dagen eerder te hebben plaatsgevonden dan in 1975-1987. De auteurs voorspellen dat bloei en bladuitloop 7-44 dagen naar voren zullen schuiven wanneer het klimaat verandert. Deze vervroeging zou grote invloed kunnen hebben op het hele ecosysteem, onder andere doordat insecten die planten bestuiven of vreten met een andere snelheid reageren op klimaatverandering.

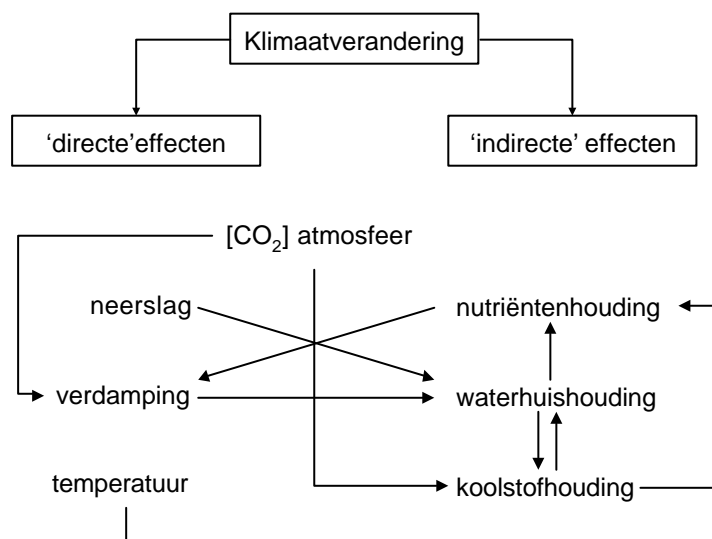
Volgens modelsimulaties met NUCOM (Van Oene et al., 2001) zijn er weinig of geen effecten van veranderingen in temperatuur en neerslag te verwachten. De grootste effecten zouden door CO<sub>2</sub>-toename komen: vooral droge ecosystemen worden daardoor vochtiger wat van invloed is op mineralisatie, die kan gaan toenemen, en de plantengroei.

In natte en vochtige systemen zouden geen negatieve effecten van klimaatverandering te verwachten zijn, in tegendeel. De resultaten van de simulaties met NUCOM zijn echter zeer onzeker omdat plantensoorten verschillend reageren op een CO<sub>2</sub>-toename. Nader onderzoek is volgens de auteurs geboden. Zij stellen echter dat zowel in natte als in droge ecosystemen het effect van klimaatverandering lang niet zo groot is als het effect van de antropogeen verhoogde stikstofdepositie.

Met Van Oene et al. (2001) verwachten ook Haasnoot et al. (1999) en Verdonschot et al. (2001) van klimaatverandering overwegend positieve effecten op de vegetatie.

## 2.2 Bestaande modellen

In modellen voor de vegetatie wordt soms onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte effecten van klimaatverandering. Directe effecten op de vegetatie zouden te maken hebben met weersvariabelen, zoals temperatuur, neerslag en verdamping, indirecte effecten met veranderingen in de hydrologie en bodemchemie. Het onderscheid tussen deze twee effecten is echter kunstmatig en niet scherp, zoals Figuur 1 illustreert: reeds op de korte termijn hebben veranderingen in het weer gevolgen voor de water-,



nutriënten-, en koolstofhuishouding en deze beïnvloeden op hun beurt de groei en dus de verdamping van de vegetatie.

*Figuur 1. Belangrijkste directe en indirecte kortetermijneffecten van klimaatsverandering in het bodem-water-vegetatiesysteem, zoals beschreven in de literatuur (Bakkenes et al., 2002; Van Oene et al., 1999; Verdonschot et al., 2001).*

### 2.2.1 *Directe effecten*

De directe effecten van klimaatverandering zijn door Bakkenes et al. (2002) gemodelleerd met het model EUROMOVE. Het voorkomen van 1400 plantensoorten in Europa is in dit model via logistische regressie gecorreleerd aan klimaatsvariabelen, wat per plantensoort resulteert in een vergelijking die de kans op voorkomen beschrijft als functie van: (1) gemiddelde temperatuur in de koudste maand, (2) temperatuursom, (3) jaarneerslag, (4) jaarlijkse potentiële verdamping, (5) jaarlijkse actuele verdamping, (6) lengte groeiseizoen en (7) gemiddelde temperatuur groeiseizoen. De berekening van deze kansfuncties is gebaseerd op gegevens per gridcel van 50×50 km over genoemde klimaatsvariabelen en het voorkomen van plantensoorten, zoals ontleend aan de Europese Atlas. Met EUROMOVE voorspellen de auteurs dat maar liefst 32% van de soorten in Europa van zijn huidige vindplaats zal verdwijnen onder het klimaat dat voor 2050 wordt aangenomen. Vooral de flora van zuidelijke landen (Spanje, Italië, Griekenland) zou zware klappen krijgen.

Er bestaan enige bedenkingen tegen EUROMOVE en de verstrekkende gevolgen die aan de uitkomsten van dit model zijn ontleend (Witte, 2004). Het resultaat is waarschijnlijk grotendeels een artefact, veroorzaakt door de gebrekkige gegevens die Bakkenes et al. hebben gebruikt. Zoals de meeste biologen weten neemt de soortenrijkdom in Europa toe, gaande van noord naar zuid: in Noord-Scandinavië mag je 200-500 soorten per 10.000 km<sup>2</sup> verwachten, in de zuidelijke delen van de Mediterrane landen ligt dit aantal op 2.000-3.000 soorten (Barthlott, 1998). De door Bakkenes et al. aangewende gegevens laten echter de grootste soortenrijkdom zien in de West-Europese landen, zoals België, Nederland, Engeland en West-Duitsland (waar men het blijkbaar de moeite waard vindt om de flora te inventariseren en daar ook de tijd voor heeft), terwijl landen als Spanje en Italië zeer mager uit de bus komen. Gechargeerd: de gegevens laten vooral de verspreiding van de biologen zien, en niet die van de planten. Het gevolg is onder meer dat de berekende kansfuncties een optimum zullen vertonen dat veel te 'noordelijk' ligt (dus te koud, te nat, etc.), en dat de kans op voorkomen in de zuidelijke landen veel te laag wordt geschat. Geen wonder dat vervolgens wordt berekend dat soorten in zuidelijke landen het eerste het loodje zullen leggen wanneer het klimaat verandert. Vier andere bezwaren tegen EUROMOVE zijn (Witte, 2004): (1) het model lijkt overgeparametriseerd (15 parameters zijn gebruikt om het voorkomen van soorten die in 20 of meer rastercellen voorkomen te verklaren); (2) het model is nooit gevalideerd op onafhankelijke gegevens; (3) het model bevat vermoedelijk onbetrouwbare relaties voor soorten die vooral groeien aan de grenzen van Europa; (4) voor de zuidelijke soorten valt het toekomstige klimaat buiten het bereik van de meetgegevens.

Verdonschot et al. zagen af van een modelmatige berekening van directe effecten. Directe effecten van klimaatverandering (2070-2100, met een dagtemperatuur die 2.8 °C hoger ligt) op de vegetatie van beekdalen schatten zij in door Nederlandse beekdalen te vergelijken met een referentiegebied in Frankrijk. Volgens Verdonschot et al. zijn de floristische verschillen klein, vooral in de natte gebieden. Wel komen in de Franse beekdalen meer Schermbloemen voor, en in Nederlandse beekdalen meer Zeggen.

### 2.2.2 *Indirecte effecten*

Op landelijke schaal zijn door respectievelijk Witte et al. (1992) en Haasnoot et al. (1999) de indirecte ecologische effecten van klimaatverandering op landelijke schaal berekend met het model DEMNAT. Dat gebeurde door de hydrologische modellen die de invoer voor DEMNAT genereren (resp. DEMGEN en NAGROM/MOZART) te voeden met nieuwe klimaatgegevens. Haasnoot et al. hielden daarbij tevens rekening met een door een verhoogde CO<sub>2</sub>-concentratie gereduceerde transpiratie van de vegetatie. In beide modelstudies zijn echter veranderingen in bodemeigenschappen zelf (zoals hoeveelheid en afbreekbaarheid van organische stof), niet gemodelleerd. Het is derhalve de vraag in hoeverre de uitkomsten van deze langetermijnvoorspellingen realistisch zijn.

Ook Verdonschot et al. (2001) modelleerden de indirecte effecten van klimaatverandering op de vegetatie, en wel voor het stroomgebied van de Beerze en Reuzel (400 km<sup>2</sup>). Net als in de hiervoor genoemde twee modelstudies bleven de indirecte effecten beperkt tot de effecten ten gevolge van hydrologische veranderingen. Die veranderingen werden berekend met een hydrologisch model (SYMGRO), waarbij op basis de studie van Haasnoot et al. gecorrigeerd werd voor de afname in transpiratie door gewassen ten gevolge van een CO<sub>2</sub>-toename. Ook in deze studie werd uitgegaan van onveranderlijke bodemeigenschappen.

Een mogelijk euvel van de hier genoemde drie modelstudies is dat verondersteld wordt dat relaties tussen de vochtindicatie van de vegetatie en de vochttoestand van de bodem ook in de toekomst, bij een nieuw klimaat, geldig zullen zijn. Zo wordt zowel in DEMNAT als in NATLES gebruik gemaakt van empirische relaties tussen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en de vochtindicatie van de vegetatie, terwijl deze relaties in de toekomst, wanneer het voorjaar ecologische gezien misschien wel in februari begint, in hun huidige vorm onbruikbaar zouden kunnen zijn.

Met het mechanistische model NUCOM (Nutrient Cycling and Competition) kan de successie van bodem en vegetatie op plotniveau worden gesimuleerd. In eerste instantie is dit model ten behoeve van klimaatsstudies geschikt gemaakt voor de successie op een kale zandgrond met een diepe grondwaterstand (Van Oene et al., 1999b).



Waargenomen veranderingen in de vegetatie op de Veluwe bleken met dit model goed te kunnen worden gesimuleerd. Later is het model door Van Oene en Berendse (2001) aangepast voor natte ecosystemen. Onderdelen van het onverzadigde-zonemodel SWAP (Van Dam, 2000) werden daartoe geïncorporeerd. De uitkomsten van deze laatste modelversie zijn echter nog niet gevalideerd.

NUCOM beschrijft de concurrentie tussen soorten om voedsel, vocht en licht. Omdat het ondoenlijk is de interacties tussen alle soorten te simuleren werkt het model met een beperkt aantal groepen van soorten, naar gelang die soorten overeenkomen in concurrentiekracht en in de productie en afbreekbaarheid van organische stof. Ten gevolge van het afsterven van boven- en ondergrondse plantendelen treedt verandering op in de hoeveelheid en de aard van de organische stof in de bodem. In het algemeen zal zich dit uiten in een toename van de mineralisatiesnelheid en een verhoogde beschikbaarheid aan nutriënten, een proces dat door NUCOM wordt gesimuleerd. Door de toename van het organische-stofgehalte neemt de beschikbare hoeveelheid beschikbaar bodemvocht (d.w.z.: de hoeveelheid tussen veldcapaciteit en verwelkingpunt) toe. In de 'Veluwe'-versie werd hier rekening mee gehouden, in de laatste versie, de 'Wetland'-versie, niet.

Van de hier besproken modellen is NUCOM momenteel nog het meest toegesneden op lange-termijnvoorspellingen. Het model houdt rekening met stapeling van organische stof in de bodem en de verhoogde beschikbaarheid aan nutriënten die dat tot gevolg heeft. Dat in de loop van de successie bodemfysische relaties (bodemvocht- en doorlatenheidskarakteristieken:  $h_p(q)$  en  $k(q)$ -relaties) veranderen blijft echter in Wetland-versie buiten beschouwing. In de Veluwe-versie is wel bodemfysische successie ingebouwd (simpel bakjesmodel met een toename van de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht naarmate de hoeveelheid organische stof toeneemt), maar dit model is weer ongeschikt voor de door grondwater beïnvloede systemen die juist door NVEG gesimuleerd moeten worden. Bovendien lijkt de Wetland-versie systematisch veel te hoge verdampingsfluxen te berekenen (Fig. 6.4 en 6.7 in Van Oene en Berendse (2001): verdamping ruim 600 mm/jr, waar alleen al onder de huidige CO<sub>2</sub>-concentraties ca. 500 mm/jr mag worden verwacht; voor de percolatie van water uit de wortelzone naar het grondwater betekent dit, bij een neerslag van 800 mm/jr, een overschatting van 33%). Het grote aantal reactievergelijkingen en parameters in NUCOM (resp. 30 en 98 in Van Oene en Berendse, 2001) lijken dit model ongeschikt te maken voor landsdekkende analyses. Daar is het model echter ook nooit voor bedoeld geweest: NUCOM heeft in eerste instantie een wetenschappelijk betekenis; het vergroten van onze kennis over het functioneren van ecosystemen.

### 2.2.3 *Waarin bestaande modellen tekort schieten*

Het is de vraag in hoeverre ecologische effecten van klimaatsverandering succesvol op nationale schaal kunnen worden gesimuleerd. In dit verband is het goed om de belangrijkste tekortkomingen van de huidige modellen op een rijtje te zetten:

- De bodem als bloempot

Het modelleren van veranderingen in de hoeveelheid en de aard van organische stof lijkt noodzakelijk te zijn bij het berekenen van successie. Op NUCOM na, schieten de hier besproken modellen tekort. Ervaringen met het in ontwikkeling zijnde NICHE en NATLES lijken er op te wijzen dat een vereenvoudigd nutriëntensuccessiemodel op landelijke schaal tot de mogelijkheden behoort.

Bodemsuccessie kan ook leiden tot veranderingen in bodemfysische eigenschappen en daarmee in de beschikbaarheid van water en zuurstof in de bodem. Het is echter de vraag hoe goed de successie van bodemfysische relaties ten gevolge van de stapeling van organische stof kan worden gemodelleerd.

De onverzadigde zone is een dynamisch en sterk niet-lineair systeem: kleine veranderingen in bodemvochtgehalte  $q$  hebben grote invloed op de onverzadigde doorlatendheid  $k$  en dus op het verticale transport van water van en naar de wortelzone. Het heeft vele jaren van onderzoek gekost voordat dit systeem goed kon worden gemodelleerd, waarbij men echter uitging van vaste bodemfysische relaties ( $k(q)$  en  $h_p(q)$ ). Aanpassing van deze relaties tijdens het successieproces zal mogelijk op numerieke problemen stuiten. Voor sommige ecosystemen is dit misschien geen probleem doordat de bodemfysische veranderingen verwaarloosbaar klein zullen zijn, maar voor organische bodems in ontwikkeling is dit zeer zeker niet het geval.

- Indirecte relaties

In alle modellen, dus ook in NUCOM, komen empirische relaties voor die zijn ontleend aan meetgegevens die onder het huidige Nederlandse klimaat zijn verzameld. Zo wordt vaak gerekend met gemiddelde grondwaterstanden (GXG), zoals die gedurende een aantal jaren zijn gemeten. Daar zijn twee aspecten aan te verbeteren. Allereerst is de meetreeks meestal veel te kort voor het betrouwbaar vaststellen van een gemiddelde. Onderzoek heeft aangetoond, dat een meetreeks van 8 jaar te kort is om er nauwkeurig een gemiddelde grondwaterstand uit berekenen (Van der Wouw, 2000). Dat komt doordat de variatie in weersgesteldheid tussen perioden van 8 jaar te groot is; vooral bij diepere grondwaterstanden zou de meetperiode wel 30 jaar moeten zijn (Knotters en Van Walsum, 1997).

Een korte reeks betekent dat de 'toevallige' weersgesteldheid tijdens de metingen wordt weerspiegeld in de gevonden relatie tussen vochttoestand en vochtindicatie. Relaties van verschillende meetreeksen kunnen afzonderlijk uitstekend zijn, maar leveren gecombineerd een belabberd verband op wegens systematische verschillen in weersgesteldheid tussen de meetreeksen (Witte en Von Asmuth, 2003). Zulk soort relaties sluit ook niet aan op de door hydrologische modellen berekende gemiddelde waterstanden. Door toepassing van het op Kiwa ontwikkelde statistische model PIRFICT (Von Asmuth et al., 2002) kunnen grondwaterstandreeksen worden uitgebreid tot langere reeksen, meetreeksen worden verdicht tot dagwaarden, en meetreeksen worden berekend voor ieder willekeurig meteorologisch jaar, dus ook voor een jaar onder een voorspeld nieuw klimaat. Daarna kan de relatie met de vegetatie nauwkeuriger en representatiever (voor een gemiddeld jaar, een 10-% droog jaar, of wat men maar wilt) worden vastgesteld.

Op de tweede plaats kan er een betere statistische maat worden gevonden dan de GXG (of het gemiddeld vochttekort), namelijk door zowel de factor *tijd* als de factor *weersgesteldheid* in de maat te betrekken:

*De factor tijd.* Bij de GXG weegt de grondwaterstand XG van 8 jaar geleden net zo zwaar mee als de XG voorafgaand aan de vegetatieopname. Dat lijkt niet logisch: het is aannemelijk dat recente gebeurtenissen zich meer weerspiegelen in de vegetatie dan gebeurtenissen uit een lang verleden. We zouden dus moeten rekenen met een gewogen gemiddelde, de GGXG, waarbij de afgelopen XG een zwaarder gewicht krijgt dan de XG van bijvoorbeeld 8 jaar geleden (bijvoorbeeld gewicht  $g = \exp(-t/r)$  met  $t =$  tijd (jaar) voor de vegetatieopname,  $r =$  responstijd (jaar)). Het kan daarbij zinvol zijn enkele groepen van soorten te onderscheiden naar gelang de verwachte responstijd: boomsoorten en soorten met wortelstokken en wortelknollen zullen bijvoorbeeld lang stand houden op een bepaalde plek, terwijl eenjarige een korte responstijd zullen hebben.

*De factor weersgesteldheid.* De GVG wordt bijvoorbeeld berekend als het gemiddelde van de grondwaterstanden op 1 april. Planten hebben echter niets met een door de mensen geconstrueerde kalender te maken; bij planten gaat het er bijvoorbeeld om of er voldoende warme dagen zijn verstreken om te gaan kiemen. Soms ligt er op 1 april nog sneeuw op het maaiveld, soms is het zomers warm. Een bepaalde temperatuursom – dat wil zeggen: de som van gemiddelde dagtemperaturen sinds een vorstdag – kan bijvoorbeeld worden gebruikt om de XG vast te stellen (je krijgt dan bijvoorbeeld 'de 250-graden grondwaterstand': de grondwaterstand bij een temperatuursom van 250 graden Celsius, ook wel 'ecologische voorjaarsgrondwaterstand' genoemd) (zie o.a. Feddes, 1971).

Al met al kan zo een nieuwe ecologische grondwaterstandmaat worden gevonden die een functie is van zowel de tijd als de weersgesteldheid en die beter het verband tussen grondwaterstand en vegetatie beschrijft. Hetzelfde geldt uiteraard voor de parameter 'vochtttekort'. Dergelijke maten zullen de relatie tussen standplaats en vegetatie niet alleen nauwkeuriger beschrijven, ze zijn ook beter te gebruiken in klimaatscenario's. De GVG, ontleend aan 1 april, zal onder een ander klimaat zijn ecologische betekenis verliezen: het gaat om de *ecologische voorjaarsgrondwaterstand*, de EVG.

Er zijn echter meer relaties in de huidige modellen die misschien moeten worden aangepast, willen ze bruikbaar zijn voor het voor de toekomst verwachte klimaat. Te denken valt onder andere aan de relaties tussen bodemtype, grondwaterstand en voedselrijkdom (in de vorm van standplaatsdiagrammen in DEMNAT, resp. reprofuncties in NATLES): bij warmer klimaat, zoals voorzien, zal de afbraak van organische stof sneller verlopen en de beschikbaarheid van voedingsstoffen naar verwachting toenemen. Het komt er op neer dat het klimaat op de een of andere wijze in empirische relaties wordt ingebouwd en dat die relaties een causaler karakter krijgen.

- Onbekende parameterwaarden

Voor het goed kunnen modelleren van successie is kennis nodig over de parameterwaarden van de onderscheiden ecosysteemtypen. Te denken valt aan parameters die de organische-stofproductie karakteriseren, de afbreekbaarheid van organisch materiaal, of de reductie van de transpiratie ten gevolge van een verhoogde CO<sub>2</sub>-concentratie. Wat dit laatste punt betreft: Van Oene et al. (2001) meldden al dat het effect op de transpiratiereductie onduidelijk is en dat dus nader onderzoek hierna geboden is.

- Genetische aanpassingen

Net zoals de soort *Homo sapiens* genetisch zoveel variatie kent dat sommige exemplaren succesvol kunnen overleven op de Noordpool, terwijl andere hun habitat in de Sahara hebben, zo zijn ook plantensoorten geen homogene entiteiten maar bezitten ze een, soms verbluffende, genetische verscheidenheid. Voorbeelden van genetische 'aanpassingen' van een soort aan het milieu zijn onder andere te vinden in Etherington (1982), die een onderzoek beschrijft aan de respiratiesnelheid van Engels raaigras in een heet klimaat (Algerije) en in een koel klimaat (Denemarken). De Algerijnse populatie bleek bij 5 °C een drie keer zo hoge respiratiesnelheid te hebben als de Deense populatie, maar bij 30 °C was de respiratiesnelheid 20% kleiner.

Genetische aanpassingen zijn ook bekend van soorten die aan de marge van hun verspreidingsgebied groeien, zoals door diverse auteurs is aangetoond (zie Sapir et al. (i.p.) voor een overzicht).

Onze modellen houden geen rekening met genetische variatie binnen soorten, wat mogelijk tot een overschatting van negatieve milieueffecten kan leiden, en een onderschatting van potenties voor natuurherstel.

- Concurrentie tussen soorten

Door klimaatverandering wordt misschien wel een milieu op aarde geschapen dat nog nooit in de geschiedenis van de mensheid is voorgekomen en waarvan de effecten op ecosystemen daardoor onvoorspelbaar zijn. Soorten kunnen te maken krijgen met andere concurrentieverhoudingen, waardoor hun ecologische respons op standplaatsfactoren verandert. Ziekten en plagen zouden de kop op kunnen steken doordat insecten meer moeten consumeren om aan hun eiwitbehoefte te voldoen (Van der Geijn in IGBP, 1998) en doordat planten op een ander tijdstip gaan uitlopen en bloeien dan waar de levenscycli van insecten op zijn ingesteld (Van Vliet & De Groot, 2001) (zie §2.1).

## 3 Advies modellering in de 2<sup>e</sup> fase van de droogtestudie

### 3.1 Inleiding

In de droogtestudie Nederland worden onder meer de effecten van droogte op de natuur beschouwd. Dit voor zowel:

- de huidige situatie
- de situatie in 2015, welke gelijk is aan de huidige situatie inclusief mogelijke maatregelen die de gevolgen van droogte verminderen
- als de situatie na klimaatverandering (zichtjaar 2050).

Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- Terrestrische natuur
- Regionale wateren
- Rijkswateren

De betrokken specialisten van het Informatiespoor van de Droogtestudie Nederland hebben zich gebogen over de vraag hoe de effecten van droogte op de terrestrische natuur zo goed mogelijk kunnen worden inschat. De basis voor deze afweging wordt gevormd door de ervaringen van fase 1 van de Droogtestudie, de ervaringen van de Rondetafelconferentie over Natuur en aanbevelingen van Flip Witte.

### 3.2 Advies

Alles afwegende komt het informatiespoor tot het volgend advies:

- Schat de structurele effecten van maatregelen op de terrestrische natuur in en doe dat met behulp van het model Demnat.
- Schat de structurele effecten van klimaatverandering op de terrestrische natuur in en doe dat met behulp van het model Demnat met vermelding van de onzekerheden als gevolg van aannames en vereenvoudigingen die noodzakelijkerwijs moeten worden gedaan. Maak aanvullend gebruik van expertmeningen om de modelresultaten te toetsen.
- Schat de effecten van maatregelen en klimaatverandering in incidentele droge jaren in op basis van bestaande literatuurkennis aangevuld met expertmeningen.

### **3.3 Bepalen van structurele effecten**

#### **3.3.1 *Effecten van maatregelen***

Het model Demnat is ontwikkeld om de structurele, dat wil zeggen langjarige, effecten van een hydrologische systeemwijziging op de grondwaterafhankelijke terrestrische natuur te bepalen. Het model heeft hiervoor ook duidelijk meerwaarde. Effecten kunnen ruimtelijk gedistribueerd worden bepaald en de kwaliteit daarvan wordt hoger ingeschat dan wanneer bijvoorbeeld alleen gebruik zou worden gemaakt van principeberekeningen met een eenvoudiger model of expertmeningen.

#### **3.3.2 *Effecten van klimaatverandering***

De effecten van processen zoals bijvoorbeeld verlenging van het groeiseizoen, verhoogde CO<sub>2</sub> concentraties, verandering van soortensamenstelling en biodiversiteit, etc. kunnen in Demnat alleen worden gemodelleerd met behulp van vereenvoudigingen en aannames. Dit maakt dat de modeluitkomsten voor klimaatveranderingen onzekerder zijn dan voor de huidige situatie. Desalniettemin heeft het model Demnat een duidelijke meerwaarde voor de bepaling van de structurele effecten van klimaatsveranderingen, omdat aangegeven kan worden welke typen ecotopengroepen positief of negatief beïnvloed worden. Gezien de onzekerheden in de toekomstige situatie en de in Demnat gebruikte relaties die in die toekomstige situatie kunnen veranderen zijn we van mening dat de modeluitkomsten als indicatief moeten worden beschouwd en getoetst dienen te worden aan expertmeningen.

### **3.4 Bepalen van effecten van incidentele droge jaren**

Inzet van het Demnat model voor incidentele droge jaren is wel mogelijk, maar dan moet het model hiervoor worden aangepast. Deze aanpassing kan niet binnen het tijdsbestek van de Droogtestudie worden gerealiseerd. Inzet van het model zonder deze aanpassingen voor incidentele droge jaren wordt niet zinvol geacht omdat de resultaten onvoldoende betrouwbaar (nauwkeurig) zijn.

## 4 Literatuur

- Bakkenes, M., J.R.M., Alkemade, F. Ihle, R.Leemans & J.B. Latour, 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global change biology*, 8(4): 390-407.
- Barthlott, W., 1998. *The uneven distribution of global biodiversity: A challenge for industrial and developing countries*. In: E. Ehlers en T. Krafft (red) German Global Change Research 1998; German National committee on Global Change Research, Bonn.
- Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, 2000. *Waterbeleid voor de 21<sup>e</sup> eeuw*. Advies van de Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw.
- Etherington, 1982. *Environment and plant ecology*. Second edition. John Wiley & Sons, Chichester.
- Feddes, R.A., 1971. *Water, heat and crop growth*. PhD thesis Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Haasnoot, M., J.A.P.H. Vermulst & H. Middelkoop, 1999. *Impact of climate change on the water systems in the Netherlands*. Riza-rapport 99.049, Lelystad.
- IGBP, 1998. *Global change onderzoek in Nederland*. KNAW, Amsterdam.
- IPCC, 2001. *Second Assessment Report (SAR) of Working Group I*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Knotters, M. & Van Walsum, P.E.V. 1997. Estimating fluctuation quantities from time series of water-table depths using models with a stochastic component. *Journal of Hydrology*, 197: 25-46
- Können, G.P., 2001. *Climate scenarios for impact studies in the Netherlands*. Notitie KNMI.
- Ovaa, A. H., J. Latour, R. Reiling, R. van der Meijden, M.T. Wasscher, J. van Tol, H.P. van der Jeugd, V. Martens, C.P.M. Zoon & H. Stegenga, 1993/1994. RIVM, Bilthoven.
- Sapir, Y., A. Shmida & O. Fragman, i.p. Constructing the number for setting conservation priorities of endangered plant species: Israel flora as a test case. *Journal for Nature Conservation*, submitted.
- Tamis, W.L.M., M. van 't Zelfde & R. van der Meijden, 2001. *Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20<sup>th</sup> century explained by climatic and other environmental characteristics*. Chapter 2 in Van Oene et al. (2001).



- Van Dam, J.C., 2000. *Field-scale water flow and solute transport. SWAP model concepts, parameter estimation and case studies*. PhD thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Van der Wouw, M., 2000. De GHG, zo veranderlijk als het weer. *Stromingen*, 6 (3): 23-28.
- Van Oene, H. & F. Berendse, 2001. *Predicting responses of ecosystem processes to climate change and nitrogen deposition*. Chapter 6 in Van Oene et al. (2001).
- Van Oene, H., F. Berendse, J.R.M. Alkemade, M. Bakkenes, F. Ihle & C.G.F. de Kovel, 1999a. *Assessment of long-term effects of climate change on biodiversity and vulnerability of terrestrial ecosystems*. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Bilthoven.
- Van Oene, H., F. Berendse & C.G.F. de Kovel, 1999b. Model analysis of the effects of historic CO<sub>2</sub> levels and Nitrogen inputs on vegetation succession. *Ecological applications*, 9(3): 920-935.
- Van Oene, H., W.N. Ellis, M.M.P.D. Heijmans, D. Mauquoy, W.L.M. Tamis, A.J.H. van Vliet, F. Berendse, B. van Geel, R. van der Meijden & S.A. Ulenberg, 2001. *Long-term effects of climate change on biodiversity and ecosystem processes*. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Bilthoven.
- Van Vliet, A.J.H. & R.S. de Groot, 2001. *Climatic changes in timing of flowering and leaf unfolding of plant species in the Netherlands*. Chapter 3 in Van Oene et al. (2001).
- Von Asmuth, J. R., Bierkens, M. F. P. & C. Maas, 2002. Transfer function noise modeling in continuous time using predefined impulse response functions. *Water Resources Research*, 38(12): 23\_1-23\_12.
- Witte, J.P.M., F.A.M. Claessen, C.L.G. Groen & R. van der Meijden, 1992, A model to predict and assess the impacts of hydrologic changes on terrestrial ecosystems, and its use in a climate scenario. *Wetland ecology and management*, 2(1/2): 69-83.
- Witte, J.P.M. & R. van der Meijden, 1995. Verspreidingskaarten van de botanische kwaliteit in Nederland uit FLORBASE. *Gorteria*, 21(1/2): 3-59.
- Witte, J. P. M. & J.R. von Asmuth, 2003. Do we really need phytosociological classes to calibrate Ellenberg indicator values? *Journal of Vegetation Science*, 14: 615-618.
- Witte, J.P.M., 2004. Statistiek Groot Uitsterven rammelt. *Bionieuws*, 2(14): 6.