

Klimaatverandering in de 21ste eeuw: consequenties voor het natuurbeleid

Klimaatverandering in de 21ste eeuw: consequenties voor het natuurbeleid

**P. Opdam
J. Klijn**

Alterra-rapport 813

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Opdam, P. & J. Klijn, 2003. *Klimaatverandering in de 21ste eeuw: consequenties voor het natuurbeleid*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 813. 65 blz. 8 fig.; 3 tab.; 112 ref.

Als achtergrondstudie bij de Natuurbalans 2003 is literatuuronderzoek gedaan naar al te signaleren effecten van klimaatsveranderingen op de natuur, de te verwachten aard en omvang van toekomstige klimaatveranderingen en de indirecte en directe effecten op ecosystemen en soorten. Op basis daarvan zijn aanbevelingen gedaan om de veerkracht en adaptatie van ecosystemen en populaties te versterken via ruimtelijke – en beheersstrategieën. Aanbevolen is de strategie van de ecologische hoofdstructuur volop te benutten en te versterken. Internationale perspectieven zijn noodzakelijk. Ook zullen natuurdoelen moeten worden bijgesteld. Meekoppelen met maatregelen voor een aangepast kust- en waterbeheer lijkt mogelijk. De bijdrage van natuurontwikkeling aan koolstofvastlegging kan slechts marginaal zijn

Trefwoorden: Klimaatverandering, zeespiegelrijzing, effecten , ecosystemen, soorten, ruimtelijke planning, koolstofvastlegging

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 813. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Probleem en vraagstelling	13
2 Signalering	17
2.1 Klimaatverandering is van alle tijden	17
2.2 Recente veranderingen in het klimaat door het (versterkte) broeikaseffect	19
2.3 Waargenomen veranderingen in de natuur als gevolg van klimaatverandering	24
3 De toekomst	33
3.1 Wat zijn de vooruitzichten voor het klimaat van de komende (halve) eeuw?	33
3.2 Mensen passen het land(gebruik) aan	35
3.3 Mogelijke effecten op ecosystemen en landschap; per regio	36
3.4 Mogelijke effecten op soorten en natuurkwaliteit; wisselwerking met de ruimtelijke structuur van natuurgebieden	43
4 Consequenties voor het natuurbeleid	53
4.1 Herijking doelen en strategieën	53
4.2 EHS geeft de natuur veerkracht	54
5 Beknopte aanduiding van onderzoeksprioriteiten	57
Literatuur	59

Woord vooraf

Dit rapport, in opdracht van het Natuurplanbureau en bedoeld als achtergrond voor het thema klimaatverandering in de Natuurbalans 2003, (inmiddels verschenen) biedt een verkenning van de gevolgen van klimaatverandering voor het natuurbeleid in Nederland.

De studie laat zien dat klimaatverandering grote gevolgen zal hebben voor het natuurbeleid. Effecten van klimaatverandering zijn inmiddels op grote schaal in de natuur meetbaar. Deze zijn zeer waarschijnlijk de voorboden van grote veranderingen in populaties en ecosystemen. Voor het natuurbeleid betekent het een noodzaak tot *herijking van doelen* in nationaal en internationaal verband, en een *heroverweging van strategieën*. Het voortbestaan van soorten zal niet met investeringen op lokaal niveau, uitgaande van de huidige klimaatscondities, kunnen worden verzekerd, maar vraagt om grootschalige ruimtelijke structuren van een zodanige robuustheid dat de natuur *de veerkracht* heeft om op klimaatverandering te reageren. De schaal van de verandering, en dus van de maatregelen, overstijgt de schaal van Nederland en vraagt dus om een visie en een handelen op internationale schaal.

Het rapport is gebaseerd op een interpretatie van internationale literatuur en gesprekken met *enkele* Nederlandse materie-deskundigen. We onderscheiden actuele en te verwachten effecten op planten en dieren, waarbij ook een onderscheid is te maken tussen directe en indirecte effecten van klimaatverandering. De mens zal zich ook niet onbetuigd laten het landschap aanpassen aan de gevolgen van klimaatverandering voor andere functies, zoals wonen, watervoorziening en landbouw. Deze aanpassingen kunnen op hun beurt weer (positieve of negatieve) gevolgen voor natuur hebben. Daar hebben we zoveel mogelijk rekening mee gehouden. Veel is echter onbekend of ongewis. We weten te weinig voor gedetailleerde voorspellingen op soortniveau of zelfs voor soortengroepen. De snelheid waarmee de klimaatverandering zich voltrekt en de onmogelijkheid om voor alle ecosystemen en soorten voldoende basiskennis te verzamelen om alle langetermijn effecten te kunnen voorspellen, laat ons echter geen gelegenheid om te wachten op meer zekerheid. Het is nu tijd voor de ontwikkeling van op beheersing en verkleining van de risico's gerichte strategieën vanuit de kennis die we nu hebben en die voldoende houvast biedt voor een aantal "no regret policies". Ondertussen dient de kennisontwikkeling te worden versterkt om de uitwerking van het beleid verder te begeleiden. Omdat deze studie de kennislacunes in beeld brengt, kan hij ook gebruikt worden als basis voor onderzoekprogrammering.

Bij het samenstellen van deze rapportage is dankbaar gebruik gemaakt van de adviezen van de volgende personen en instellingen:

Vlinderstichting: drs. Chris van Swaaij

NIOO: Dr. Marcel Kersten

SOVON: Dr. Ruud. Foppen, Drs. Henk Sierdsema.

Alterra: , Peter Kuikman, Natuurplanbureau: Drs. Marijke Vonk

Samenvatting

Doel

Het doel van deze studie is de volgende vragen te beantwoorden:

1. Welke voor de natuur c.q. het natuurbeleid relevante veranderingen in het klimaat treden al op of worden verwacht? Wat zijn de al geregistreerde en de te verwachten effecten op de natuur, in termen van duurzame instandhouding van populaties en ecosystemen?
2. Welke consequenties voor het huidige natuurbeleid vloeien daaruit voort, op de middellange en lange termijn? Welke ecosystemen en welke categorieën soorten lopen de grootste risico's?
3. Welke strategieën zijn effectief om hier wat aan te doen?

Het rapport is gebaseerd op een interpretatie van internationale literatuur en gesprekken met Nederlandse materie-deskundigen. Er is meer aandacht besteed aan terrestrische systemen dan aan aquatische. Dat heeft te maken met onze expertise, maar ook met onze inschatting dat veel organismen in zoete en zoute watersystemen door de relatief sterke verbondenheid beter in staat zijn om op klimaatverandering te reageren dan die in terrestrische systemen. Voor een recente review voor waterecosystemen zie Mooij et al. (in prep). Afgezien van de voorliggende rapportage is recent gelukkig ook elders veel aandacht besteed aan de ecologische effecten van klimaatsverandering, zoals in het recent uitgebrachte themanummer van de *Levende Natuur* (mei 2003; de 104e Jaargang)

Hoe verandert het klimaat?

Uit *historische reconstructies* blijkt dat klimaatsverandering in het verleden heeft geleid tot verschuiving van vegetatiezones, op het noordelijk halfrond in noordelijke richting bij opwarming en in zuidelijke richting bij afkoelen. In gebergtes schuiven de zones omhoog respectievelijk omlaag. Daarnaast zijn er verschuivingen in oost-west richtingen wanneer Atlantische invloeden en continentale invloeden meer of minder sterk worden.

De klimaatsveranderingen die *de laatste halve eeuw* zijn geregistreerd hebben een tempo en omvang die hun weerga in de laatste millennia niet kennen. De belangrijkste oorzaak is de toename van broeikasgas-concentraties: die stegen in de laatste 50 jaar aanzienlijk en ondanks internationale afspraken is deze stijging nog niet tot stilstand gekomen. Wereldwijd steeg de *temperatuur* met 0.6 graad C, in Europa met 0.8 graad, in Nederland met 0.7 graad.

Tegelijk met de temperatuur nam de hoeveelheid *neerslag* op het noordelijk halfrond toe. In Nederland werd vooral het winterhalfjaar aantoonbaar natter. De neerslag vertoont vooral een toename in intensiteit, niet zozeer in aantal neerslagdagen. De afvoeren van Maas en Rijn hebben het laatste decennium een toename laten zien, hoewel er nog geen statistisch significante toename van afvoerpieken kan worden

vastgesteld. De zeespiegelrijzing is met bijna 20 cm/eeuw aanzienlijk sneller dan in voorgaande eeuwen. Stormfrequenties zijn vooralsnog niet significant toegenomen.

Welke veranderingen in de natuur zien we nu al optreden?

Systematisch onderzoek in binnen- en buitenland toont aan dat de klimaatverandering van de afgelopen 2-3 decennia doorwerkt op zeer uiteenlopende soorten planten en dieren. De effecten zijn vooral aangetoond in de timing van biologische processen in het voorjaar, en vooralsnog in mindere mate in de vorm van verschuivende arealen. Deze verschijnselen konden in een aantal gevallen worden gecorreleerd met temperatuurstijging. Er zijn aanwijzingen dat de effecten regionaal verschillen.

Er is echter vrijwel geen systematisch onderzoek gedaan naar verschillen tussen overlevingstrategieën en taxonomische groepen. We hebben daarom geen beeld welke typen soorten het sterkst reageren, en wat de aard van de reactie inhoudt.

Voor het natuurbehoud zijn veranderingen in de timing van ecologische processen alleen van belang als deze leiden tot aantasting van de natuurkwaliteit, bijvoorbeeld tot het uitsterven van populaties van soorten. Een dergelijk verband kon tot nu toe slechts in enkele gevallen worden aangetoond. Daaruit blijkt dat ,op het oog , kleine verschuivingen in timing grote gevolgen voor de populatie kunnen hebben.

Onder meer bij vlinders zijn aanzienlijke verschuivingen in het verspreidingsareaal vastgesteld (in de orde van enkele tientallen tot honderden kilometers). Slechts een onderzoek is gepubliceerd waarin een verandering in de areaalgrenzen van soorten in verband is gebracht met de ruimtelijke verschuiving of verandering in patroon van leefgebieden. Plaatstrouwe vlinders konden de verschuiving niet volgen, en alleen mobiele soorten met een brede habitatkeuze profiteerden van het noordelijk opschuiven van de geschikte temperatuurzone.

Toekomstperspectief

Op wereldschaal, en op Europese en Nederlandse schaal moet rekening worden gehouden met een voortgaande klimaatverandering en zeespiegelrijzing. Deze zijn deels het gevolg van na-ijlingsprocessen, deels van nog steeds voortdurende uitstoot van broeikasgassen die de concentratie daarvan in de atmosfeer verder doen toenemen.

Voor Nederland valt te rekenen met 1-4 graden Celsius hogere jaartemperaturen, neerslagrijkere winters (6 – 24 % toename) en wat nattere zomers, maar ook met langdurige zomerdroogtes en met extremere weersomstandigheden. De Rijn en Maas zullen meer water afvoeren, maar in de zomers ook wel eens beduidend minder. De Rijn krijgt meer het karakter van een regenrivier. De zeespiegel in de Nederlandse kuststreken zal de komende eeuw tussen de 20 en 110 cm stijgen.

Ecosystemen. De effecten van klimaatverandering en daaraan gerelateerde veranderingen in de waterhuishouding en zeespiegelrijzing zijn per regio en per type verschillend. De effecten kunnen worden onderscheiden in

- *directe effecten* op ecosystemen binnen Nederland of daarbuiten,
- *indirecte effecten door primaire veranderingen in abiotische condities* (bodem en water) *door de mens aangebrachte planologische en/of technische aanpassingen* als reactie op klimaatwijzigingen, zeespiegelrijzing of veranderingen in de waterhuishouding. Naar schatting brengen die zowel extra bedreigingen als kansen met zich mee.

De indirecte en antropogeen toegevoegde effecten zijn naar onze schatting het sterkst in laag Nederland: de kuststreek, de rivieren en uiterwaarden, de moerassen en de beekdalen. Afhankelijk van de situatie zien we biotoopverlies (duinen, kwelders, zandplaten) of een sterk toenemende dynamiek. In een aantal situaties kan biotoopverruiming en/of kwaliteitsverbetering optreden (bijv. langs beekdalen t.g.v. toegenomen kwel).

Soorten. Het effect van klimaatverandering op een soort is de resultante van de mate waarin het ecosysteem waarin de soort voorkomt verandert, van de reactie van de soort op klimaatverandering, en van de ruimte die de soort heeft om te reageren. Omdat we nog niet op soortniveau kunnen voorspellen hoe de reactie zal verlopen, is een risicoschatting het hoogst haalbare. Daarbij spelen de kwetsbaarheid van het ecosysteem voor klimaatverandering en de actuele versnippering van het leefgebied een grote rol.

Weersextremen in combinatie met versnippering zullen leiden tot inkrimpen en verbrokkelen van arealen, het meest in de sterkst versnipperde delen en aan de randen.

Opwarming zal leiden tot verdwijnen van soorten met een noordelijke of continentale verspreiding, en verschijnen van soorten met een zuidelijke tot zuidoostelijke verspreiding. Dat gebeurt echter alleen indien het netwerk aan leefgebieden in het landschap voor die soorten voldoende ruimtelijke samenhang vertoont, zodat immigratie en vestiging in de nieuwe areaalzone mogelijk zijn. Voor mobiele soorten met een breed habitatspectrum zal dat eerder het geval zijn dan voor soorten die kwetsbaar zijn voor versnippering.

De *ecosystemen waarin de natuurkwaliteit het meeste risico loopt* zijn: moerasesystemen, natte boscsystemen, hoogvenen, terrestrische rivierecosystemen, voedselrijke natte graslanden, duingraslanden, kalkgraslanden en schrale graslanden op zandgrond, natte en droge heide, vennen.

Consequenties voor het natuurbeleid en -beheer

De gevolgen van klimaat vragen om een herijking van natuurdoelen. De doelen dienen in *internationaal perspectief*, op een langere termijn en bij gewijzigde klimatologische en hydrologische condities te worden afgewogen, en meer gericht te zijn op *het creëren van voorwaarden* die soorten in staat stellen blijvend een geschikte

plaats te vinden. Dat vraagt ons inziens vooral bezinning op een adequate ruimtelijke configuratie.

De *EHS* is als robuuste ruimtelijke strategie uitermate geschikt om de natuur de veerkracht te bieden die nodig is om te kunnen reageren op klimaatverandering. Daartoe dient de ruimtelijke samenhang van de *EHS* op strategische punten te worden versterkt, met een accent op het versterken van grote complexen van die ecosystemen die een groot risico lopen, met behulp van een mix van vergroten, verbeteren, verdichten of verbinden met lokale verbindingzones. Een extra versterking wordt bereikt door deze complexen in te bedden in multifunctionele agrarische landschappen met een concentratie van agrarisch natuurbeheer. Een sleutelrol daarbij spelen de zogeheten Robuuste Verbindingen. Het interne beheer van natuurgebieden kan bijdragen door te sturen op meer interne samenhang en meer ruimtelijke heterogeniteit.

Natuurontwikkeling kan een kleine bijdrage leveren aan het *vastleggen van koolstof*. Het meeste rendement is te verwachten in veenweidegebieden, waar de huidige relatief sterke emissie kan worden omgevormd in netto vastlegging van koolstof door vernatting en moerasbosontwikkeling.

1 Probleem en vraagstelling

Klimaat en weer hebben een allesoverheersende invloed op de natuur. Natuurlijke systemen zijn aangepast aan het heersende klimaat, en zijn ingesteld op de voor het weer zo kenmerkende grilligheid, hetzij door de invloed daarvan af te zwakken en schade te voorkomen, hetzij door het vermogen snel de schade te repareren. Voorbeelden: bosecosystemen en warmbloedige dieren zijn gebufferd tegen variatie in temperatuur, planten en ongewervelde dieren kunnen via zaad en eieren ongunstige perioden overbruggen, en amfibieën hebben een geweldige groeipotentie om catastrofes snel te boven te kunnen komen. De grilligheid van het weer zien we terug in de vorm van aantalschommelingen van soorten planten en dieren, en in de vorm van inkrimpen en uitdijen van arealen (in een klein land als Nederland manifesteert zich dat vaak als verschijnen en verdwijnen uit ons land). Tot zover kan men die beschouwen als ingebouwde reacties van ecosystemen op systeemdynamiek. Ditzelfde geldt voor abiotische systemen, bijvoorbeeld kusten of rivieren, waarvan vorm en gedrag ingesteld zijn op het heersende klimaat en bijbehorende condities als zeespiegelstand, golfregime of rivierafvoeren

Aanpassingen van deze orde zijn aanpassingen aan de onvoorspelbaarheid van het weer. Heel anders gaat het als het klimaat structureel gaat veranderen: dan is het maar de vraag of deze aanpassingen nog wel werken. Bepalend is of de snelheid waarmee de klimaatverandering zich voltrekt door het natuurlijk vermogen van soorten en systemen om structureel te veranderen kan worden bijgehouden. In dit rapport gaan wij na welke veranderingen waarschijnlijk zijn, en wat die zouden kunnen betekenen voor het realiseren van de ambities die Nederland zich heeft gesteld voor het duurzaam behoud van natuurkwaliteit. Gezien de enorme lacunes in de kennis over deze materie, zien we ons product vooral als een risicoverkenning, en niet als een voorspelling. Toch is het van groot belang nu al over mogelijke risico's na te denken: eventuele aanpassingen in het Nederlandse landschap vergen decennia voordat ze de beoogde uitwerking hebben.

Als basis voor dit rapport geven wij eerst een schema van het systeem waar we mee te maken hebben. Het klimaat verandert onder invloed van een veranderde concentratie van broeikasgassen. Het gaat om temperatuurverhoging, om een toename van de neerslag, om het vaker voorkomen van extreme uitschieters in het weer, onder meer met als gevolg een stijging van de zeespiegel en hoge pieken in de waterafvoer van de grote rivieren. Dat alles heeft langs drie wegen effecten op de natuurkwaliteit (hier gedefinieerd als het duurzaam voorkomen, de talrijkheid en de frequentie waarmee soorten voorkomen in geschikt leefgebied). We geven die effecten hier onder de aanname dat er verder niets verandert. De drie effecten (die zowel in Nederland als elders in overwintering- of broedgebieden kunnen optreden) zijn:

- *(directe) Effecten op organismen.* Het veranderende klimaat heeft direct gevolgen voor de fysiologie en het gedrag van soorten en hun interacties. Wanneer dat

veranderingen op populatieniveau veroorzaakt, heeft dat gevolgen voor de natuurkwaliteit.

- *(indirecte) Effecten op condities voor natuur.* Klimaatverandering heeft gevolgen voor de condities voor natuur, ook zonder tussenkomst van de mens. Bijvoorbeeld snellere stofkringlopen, nattere bodem, grotere amplitudes in waterpeilen. Daardoor verandert de natuurkwaliteit.
- *Effecten van maatregelen ten behoeve van overige functies in het landschap (indirecte effecten op de condities voor de natuur die worden beïnvloed door klimaatsverandering).* Indirect veranderen daarmee de ruimtelijke en milieucondities voor ecosystemen en soorten doordat de mens ten behoeve van tal van functies het landschap en het beheer ervan aanpast aan de gewijzigde omstandigheden: bijvoorbeeld om veilig te wonen, voedsel te kunnen produceren, CO₂ vast te leggen, ruimte te bieden aan de toegenomen recreatiebehoefte. Daardoor verandert de natuurkwaliteit.

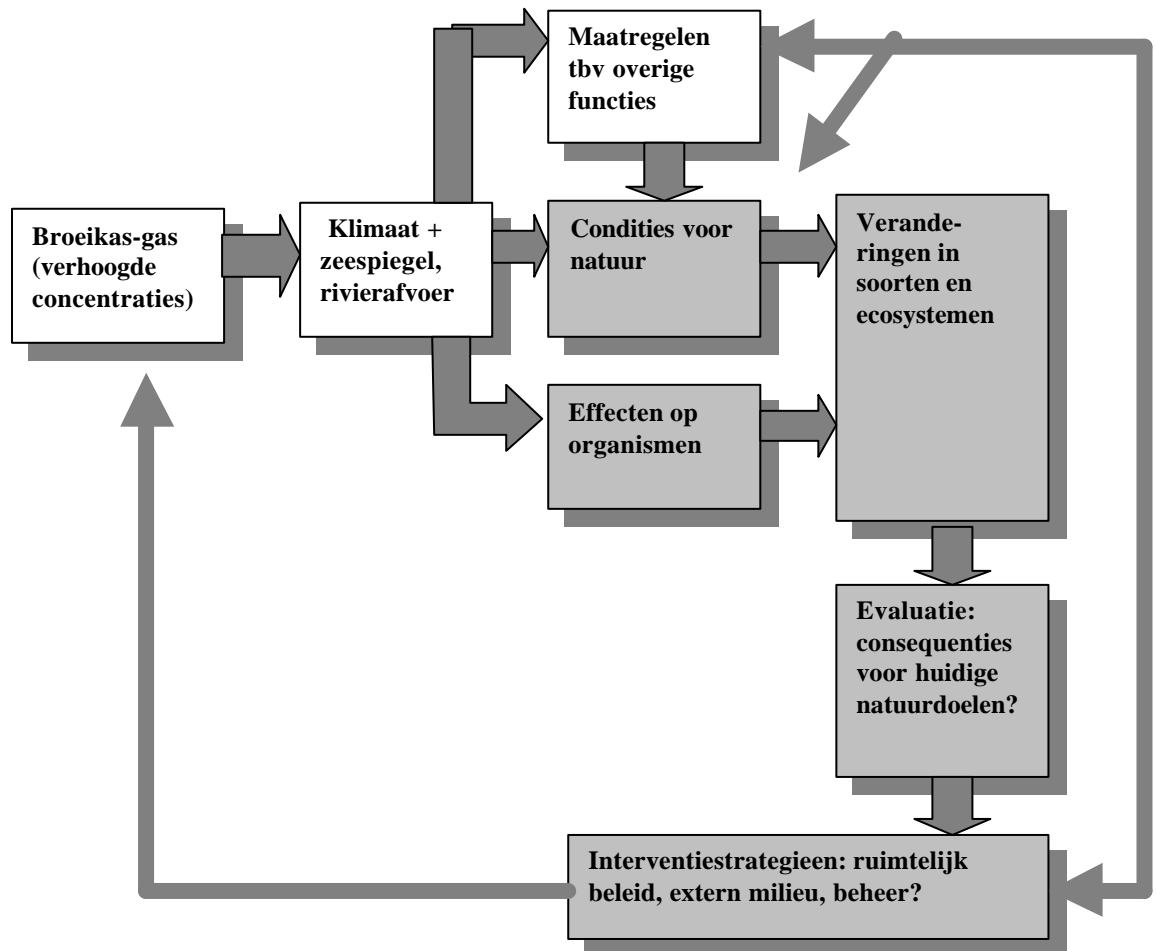


Figure 1 Schema van het systeem dat in dit rapport wordt beschreven. Het accent ligt op de grijze blokken. Zie tekst voor toelichting

Indien deze veranderingen doorwerken in aantallen, verspreiding en voortbestaan van soorten planten en dieren in regio's van Nederland, heeft dat (negatieve of positieve) consequenties voor de doelstellingen en effectiviteit van het natuurbeleid. Wanneer we dat niet willen accepteren, welke interventie-strategieën zijn er dan? Deze strategieën kunnen sterk variëren tussen brongericht en effectgericht kunnen invloed hebben op de concentratie van broeikasgassen (brongericht), of op de condities voor natuur (mitigerende of compenserende maatregelen) of op de maatregelen die ten behoeve van andere functies worden genomen. In dit rapport ligt de nadruk op de grijze blokken in onderstaande figuur.

Het doel van deze studie is de volgende vragen te beantwoorden:

- Welke voor de natuur c.q. het natuurbeleid relevante veranderingen in het klimaat treden al op of worden verwacht?
- Wat zijn daarvan de consequenties voor de natuur (soorten en ecosystemen):
 - Welke effecten op de natuurkwaliteit zijn reeds waarneembaar?
 - Wat zijn de te verwachten effecten op de natuur, in termen van duurzame instandhouding van populaties en ecosystemen?
- Welke consequenties voor het huidige natuurbeleid vloeien daaruit voort, op de middellange en lange termijn:
 - Welke ecosystemen en welke categorieën soorten lopen de grootste risico's?
 - Welke strategieën zijn effectief om hier wat aan te doen?

2 **Signalering**

2.1 **Klimaatverandering is van alle tijden**

De grilligheid van het weer is spreekwoordelijk. Die grilligheid, op korte tijdschalen, ontnemt ons het objectieve zicht op veranderingen op langere tijdschaal. We zijn geneigd incidenten in het jaar waarin we leven als indicatoren van structurele veranderingen te beschouwen, en zien structurele, maar gradueel verloopende verschuivingen over het hoofd. Daarom middelen klimatologen het weer over tientallen jaren (30 jaar is gebruikelijk) en noemen dat gemiddelde “klimaat”. Het vergelijken van die gemiddelden op historische tijdschaal, op een statistisch verantwoorde manier, biedt ons zicht op de systematische variaties in het klimaat.

Dergelijke systematische variaties zijn vastgesteld op tal van tijdschalen: decennia, eeuwen, millennia of nog grotere tijdvakken. Hoe beter we het klimaat kunnen reconstrueren uit langdurige meetreeksen (voor Nederland vanaf ca. 1735; Labrijn 1945), of uit indirecte gegevens, zoals oude kronieken, ijskernen, diepzeeafzettingen, jaarringen van bomen of met behulp van stuifmeelkorrels in de bodem, des te meer blijkt hoe veranderlijk het klimaat is geweest. We herkennen nu bijvoorbeeld kortdurende afkoelingsperiodes van enkele decennia na WO II. We weten van een kleine IJstijd tussen ca. 1430 en 1850, toen de temperatuur per jaar gemiddeld 0.5-1.0 °C lager lag dan nu en depressiebanen 3-4 breedtegraden zuidelijker dan nu (Lamb 1977). We weten van periodes met veel stormvloeden en rivieroverstromingen in de late middeleeuwen (Gottschalk 1971, 1975, 1977; Buisman 1995), en we kunnen het warmere en natte tijdvak van het Atlanticum van zo'n 8000 - 5000 jaar geleden reconstrueren (Zagwijn en Van Staalduinen 1975). Uit het feit dat Nederland in de voorlaatste ijstijd (het Saalien, 200.000-120.000 jaar geleden) half vergletsjerd is geweest en in de laatste IJstijd (Weichselien: 70.000-10.000 jaar geleden) deel uitmaakte van een toendragebied leiden we af dat het toen extreem koud was. Dergelijke veranderingen gingen gepaard met fluctuaties van de zeespiegel (in het voorlaatste glaciaal tussen de 120 en 130 m onder de huidige stand, Jelgersma 1979).

Reconstructies door middel van stuifmeelonderzoek geven een beeld van hoe ecosystemen en soorten in het verre verleden hebben gereageerd op dergelijke systematische klimaatveranderingen. Davis en Shaw (2001) geven een overzicht van de kennis hierover, voornamelijk verzameld aan fossiel materiaal van bomen. Veranderingen in het klimaat hadden verschuivingen tot gevolg, waarbij soms het gehele areaal op een andere plaats terechtkwam (*Picea spec.* in N. Amerika), zowel op het Noordelijk als het Zuidelijk halfrond. De tijdschaal van dergelijke verschuivingen ligt in de orde van 10-20.000 jaar, waarbij de grenzen per jaar enkele honderden meters opschoven (Malcolm et al. 2002). Tussen soorten zijn grote verschillen aangetroffen, die zowel te maken kunnen hebben met verschillen in de dispersieafstanden en groeisnelheid, als met verschillen in het vermogen zich genetisch aan te passen (Davis & Shaw 2001). Verschuivingen gedurende de middeleeuwse en na-middeleeuwse Kleine IJstijd zijn (voor o.a. Noord Amerika)

waren in de orde van grootte van enkele honderden kilometers in N-Z richting (Gajewski 1987). Voor Europa zijn gegevens verzameld van vegetatieverschuivingen in het Holoceen (10.000 j BP – nu) door Birks (1990) waaruit ook forse verschuivingen in horizontale richting en in berggebieden ook in verticale richting zijn af te leiden. Deze verschuivingen hebben ongetwijfeld ook tot veranderingen in vele diersoorten geleid. Gegevens daarover zijn echter schaars.

Over de oorzaken van deze klimaatsveranderingen op de uiteenlopende tijdschalen bestaat nog niet op alle punten eenstemmigheid, maar het inzicht is wel aanzienlijk gegroeid in de laatste decennia. Er is een veelheid aan oorzaken die de variaties in de warmtehuishouding bepalen en daarmee wijzigingen in de waterhuishouding op de aarde en in de atmosfeer:

- ❑ variatie in zonneactiviteit,
- ❑ variatie in de afstand van de aarde tot de zon,
- ❑ de schommelende stand van de aardas,
- ❑ wijzigingen in oceaanstromen (bijv. het El Nino-fenomeen),
- ❑ de wisselende verdeling van hoge- en lage drukgebieden boven de Noordelijke Atlantische Oceaan (de zgn. North Atlantic Oscillation) die sterk bepalend is voor de luchtcirculatie in onze streken en daarmee voor vocht- en temperatuurcondities van de aangevoerde lucht,
- ❑ effecten van vulkanisme op de concentratie van vaste deeltjes en gassen in de atmosfeer en daarmee op inkomende en uitgaande straling,
- ❑ grootschalige veranderingen in begroeiing t.g.v. landgebruik door de mens(ontbossing, ontwatering e.d.)

Dit zijn veelal gelijktijdige en via complexe interacties verlopende processen, maar gaandeweg is men in staat deze uiteenlopende oorzaken tot op zekere hoogte te begrijpen, te modelleren en te ijken aan geregistreerde veranderingen. Niettemin blijven er mechanismen onbegrepen vanwege ofwel het gebrek aan kennis van de soms zeer complexe interacties ofwel de inherente onvoorspelbaarheid (chaotisch gedrag, waarbij kleine oorzaken verstrekkende gevolgen hebben).

In het kort:

- ❑ Klimaatsverandering is van alle tijden en speelt op alle tijdschalen.
- ❑ Oorzaken achter klimaatsveranderingen op allerlei tijdschalen zijn veelsoortig en complex
- ❑ Klimaatsveranderingen leiden tot verschuiving van vegetatiezones, op het noordelijk halfrond in noordelijke respectievelijk zuidelijke richting bij respectievelijk opwarmen en afkoelen. In gebergtes schuiven de zones omhoog respectievelijk omlaag. Daarnaast zijn er verschuivingen in oost-west richtingen wanneer Atlantische invloeden en continentale invloeden meer of minder sterk worden.
- ❑ Nederland heeft als laaggelegen delta van Rijn, Maas en Schelde met een groot Europees stroomgebied te maken met zeespiegelrijzing, wijziging in stormvloedfrequenties en veranderde rivierafvoeren, die op een hoger schaalniveau dan alleen Nederland worden gestuurd.

2.2 Recente veranderingen in het klimaat door het (versterkte) broeikas­effect

Trends in observaties van broeikasgas-concentraties, het weer en het klimaat worden bijeengebracht door een internationaal panel van deskundigen (Het Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) en voortdurend up-to-date gehouden. In Nederland is het KNMI daarvoor verantwoordelijk.

Omtrent het zogenaamde (versterkte) broeikas­effect bestaat pas kort brede en wereldwijde wetenschappelijke consensus (IPCC, 1996, 2001). De combinatie van de natuurlijke klimaatswisselingen op uiteenlopende tijdschalen, de spreekwoordelijke grilligheid, het gebrek aan systematische gegevens met een toereikende waarnemingsdichtheid, frequentie en duur over grote gebieden heeft ertoe geleid dat het signaleren, begrijpen en erkennen van wat nu het versterkte broeikas­effect wordt genoemd met de nodige vertraging plaatsvond. Met dit effect wordt aangeduid dat er een verhoogde concentratie van kooldioxide, methaan en lachgas en enkele andere stoffen in de atmosfeer aanwezig is ten gevolge van het gebruik van fossiele brandstoffen en/of het droogleggen van moerassen, die ervoor zorgt dat inkomende zonnestraling wel wordt doorgelaten, terwijl de warmtestraling vanaf het aardoppervlak deels wordt tegengehouden. Hierdoor stijgt de temperatuur van het aardoppervlak. Dat effect is inmiddels ondubbelzinnig waargenomen en fysisch verklaard. De bewijsvoering is nu zodanig breed en stevig en de voorspelde lange-termijn ontwikkelingen zijn dermate verontrustend dat ook de internationale politiek heeft erkend dat substantiële maatregelen zijn vereist om het tij zoveel mogelijk te keren. Een en ander leidde tot afspraken over het terugdringen van de broeikas­emissie, zoals in landelijke CO₂ reductie-doelstellingen in de conferenties van Rio de Janeiro (1992), Kyoto (1997) en Johannesburg (2002).

Box 2 Ontwikkeling mondiale broeikasgasemissie tussen 1990 en 2001

De totale mondiale emissies van broeikasgassen door de mens, zijn in de periode 1990-2001 met 11% toegenomen - ongeveer evenveel als de jaren daarvoor - terwijl de emissies in 2001 circa 1% gestegen zijn. De stijging in 2001 werd vooral veroorzaakt door een toename van de kooldioxide(CO₂)-emissies van fossiele energie en lachgas (N₂O) uit de landbouw; daarnaast droegen vooral de F-gassen (HFK's, PFK's en SF₆) en CO₂ van overige bronnen zoals cementproductie aan de toename bij.

De stijging van de emissies van CO₂ en N₂O van circa 10% in de afgelopen tien jaar is vergelijkbaar met de stijging in de jaren tachtig. Daarentegen zijn de methaan(CH₄)-emissies in de jaren negentig per saldo gelijk gebleven, terwijl ze in de tien jaar daarvoor ook met zo'n 10% gestegen waren. Het aandeel van de emissies van de F-gassen HFK's, PFK's en SF₆ is in de afgelopen tien jaar verdubbeld

De toename van broeikasgassen in de atmosfeer op wereldschaal was de laatste eeuw aanzienlijk: 30% toename voor CO₂, 150% CH₄ (methaan) en 13% N₂O (lachgas).

De laatste 20 jaar nam de concentratie CO₂ met 0.4% per jaar toe (RIVM, 2000). Box 1 geeft nog wat specificaties voor de laatste tien jaar

Het IPCC (Third Report van 2001a+b) stelt op grond van wereldwijde meetreeksen en modelberekeningen dat nieuw en krachtig bewijs is verkregen voor de veronderstelling dat de opwarming van de laatste halve eeuw merendeels door menselijke activiteiten is veroorzaakt.

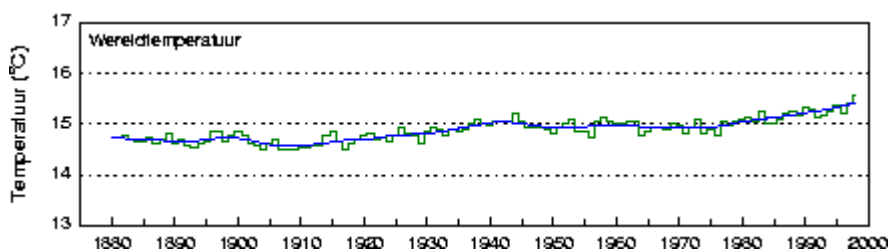


Figure 2 De toename van de gemiddelde jaartemperatuur over de wereld tussen 1880 en 1998 (uit Wessels et al. 1999)

Nederland. De temperatuurstijging is in de afgelopen eeuw in Nederland 0.7°C (vergeleken zijn de laatste twee decennia met de eerste twee van de 20e eeuw) (Schuurmans 1996 in Watson et al. 2000). Dat lijkt niet veel, maar toch deed zich dit tempo van opwarmen de laatste 1000 jaar niet voor! Volgens het IPCC is de toename van de neerslaghoeveelheden (gemiddeld) positief gecorreleerd met de temperatuurstijging. Het KNMI hanteert als vuistregel dat voor elke graad stijging in de gemiddelde jaartemperatuur een toename van de winterneerslag met 6 % optreedt (Van Walsum et al. 2002). De jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland is in ieder geval ook significant toegenomen, in de afgelopen eeuw trad er een toename op van ca $12,3\text{ mm}/10\text{ jaar}$ (staat gelijk met 1.6%). Voor de natuur zijn verschuivingen per seizoen wellicht meer van belang, bijvoorbeeld die in zomer- en wintertemperatuur of de neerslagverdeling over de seizoenen of over het land. De toename in neerslag vond vooral plaats in het winterhalfjaar (9.3 mm) en minder in het zomerhalfjaar (3.0 mm) en trad vooral op door zwaardere regens en niet zozeer door meer regendagen (Bruin 2002, zie ook Boxel en Cammeraat 1999).

De temperatuurtoename geeft een toename in zowel het zomer- als winterhalfjaar, maar vooral de winters blijken milder geworden. Door deze wijzigingen is ook het groeiseizoen (temperatuur > 5 graad Celcius) met ongeveer een maand verlengd in het laatste decennium t.o.v. de voorgaande 80 jaar (RIVM 1999, naar gegevens KNMI).

Europa en de wereld. Nederland maakt klimatologisch en meteorologisch deel uit van een veel groter gebied. Op deze schaal zijn dezelfde trends waarneembaar als die hierboven zijn aangegeven. De temperatuurstijging is in de afgelopen eeuw wereldwijd 0.6°C geweest, en in Europa 0.8°C (Watson et al. 2001). Ook in NW Europa is een temperatuurstijging waargenomen, alsmede een toename in neerslag, met name in het winterhalfjaar. Ook lijkt er sprake van een toename van neerslag-extremen, hetgeen in het laatste decennium tot spectaculaire wateroverlast heeft geleid. Volgens het ACACIA project ((Parry, 2000), waarvan de uitkomsten consistent zijn met de mondiale gegevens van de IPCC (2001), is de luchttemperatuur in het merendeel van Europa in de 20e eeuw toegenomen met gemiddeld 0.8 graden. De opwarming was het grootst boven NW Rusland en het Iberische Schiereiland ($2\text{--}3$ graden $^{\circ}\text{C}/\text{eeuw}$), terwijl Fenno-Skandinavië juist afkoelde. Het Alpengebied ondergaat een snelle opwarming, gepaard gaande met een

snelle afname van de ijs- en sneeuwbedekking. Op het Noordelijk halfrond is de laatste dertig jaar een afname van sneeuw- en ijsbedekking met ca 10 % geregistreerd. De periode 1990–1999 was in alle seizoenen gemiddeld de warmste uit de gehele meetperiode. De temperatuur van het zeewater is in de meeste kustwateren enkele tienden van graden gestegen.

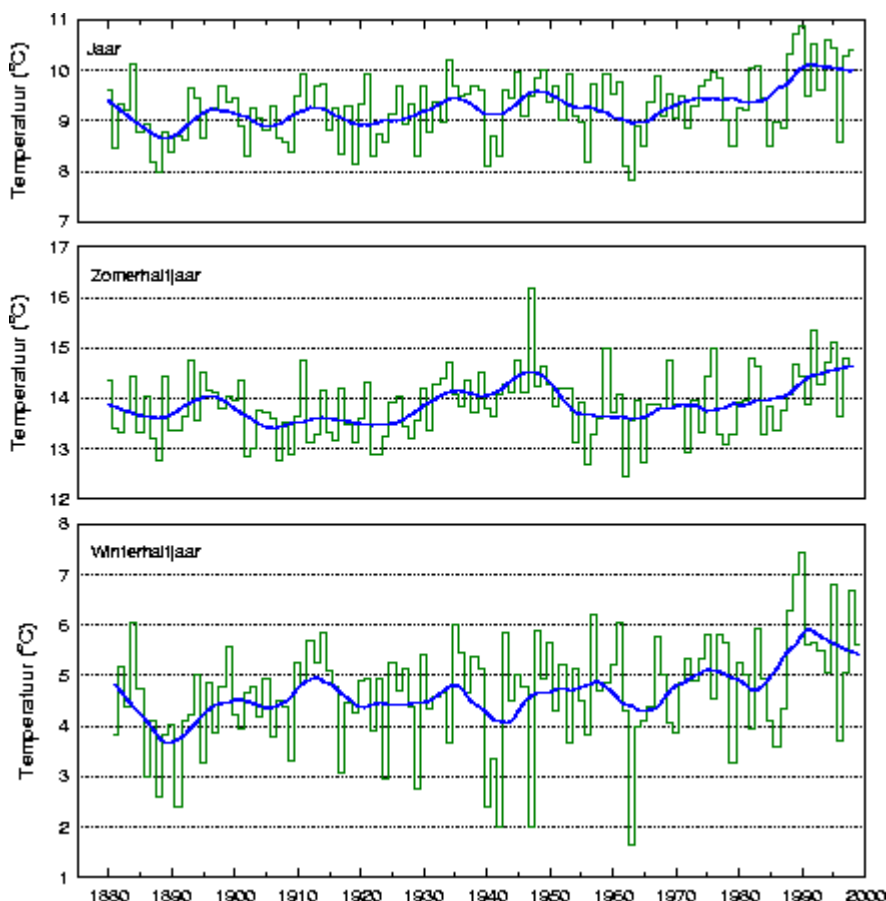


Figure 3 Verschuivingen in de gemiddelde jaartemperatuur (bovenste curve) alsmede het zomerhaljaar (middelste curve) en het winterhaljaar (onderste curve) in Nederland, gebaseerd op meetgegevens te De Bilt (uit Wessels et al. 1999).

Verschuivingen in jaarlijkse neerslaggegevens verschillen ook per geografische zone. Volgens het IPCC is – zoals eerder voor Nederland als vuistregel is vermeld - de neerslaghoeveelheid positief gecorreleerd met de stijging van temperatuur. Op het Noordelijk halfrond nam de neerslag met 0.5 – 1 % per tien jaar toe. Noordelijk Europa is in het algemeen natter (10 –50 % toename) geworden, zuidelijk Europa liet weinig verandering zien of werd juist aanzienlijk droger (tot 20 %, Watson et al. 2000).

De verandering in de mate van veranderlijkheid, of in de frequentie van extremen, zoals extreme hitte of koude, droogte of overvloedige neerslag of hevige stormen kan

ecologisch relevanter zijn dan gemiddelden. Hoewel door gebrek aan systematische, Europa-dekkende gegevens hierover nog geen duidelijke conclusies gewettigd zijn, openbaren zich al wel tekenen in die richting. Zo ligt de Noord Atlantische Oscillatie (NAO) in de laatste twee decennia van de 20e eeuw boven het lange termijn gemiddelde, tot uitdrukking komend in mildere, neerslagrijke winters in NW Europa.

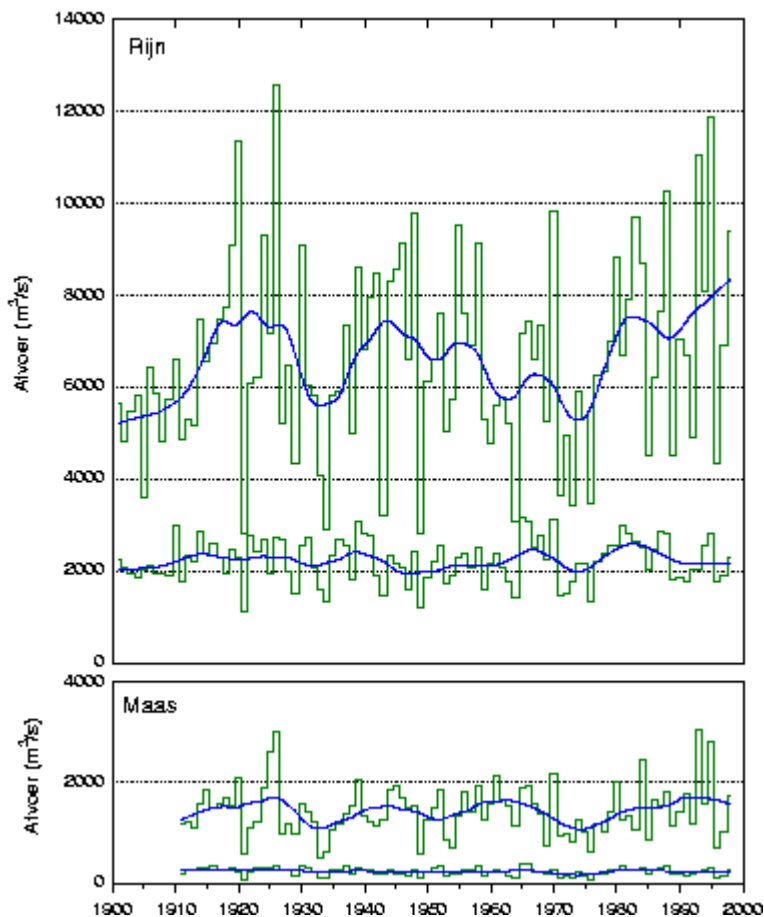


Figure 4 Verandering in de debieten van Rijn en Maas vanaf ca 1900 resp. 1910, ontleend aan Wessels et al. (1999) naar gegevens van RIZA.

De afvoer van Rijn, Maas en Schelde wordt beïnvloed door de neerslagsommen en -verdeling over de stroomgebieden alsmede door de intensiteit van de neerslag. Ook het aandeel sneeuw en ijs en de snelheid van afsmelten (en dus variaties in de temperatuurverdeling en temperatuurschommelingen) spelen een rol, zeker bij de Rijn. Figuur 5 geeft een beeld van veranderingen in de debieten van Maas en Rijn. Vooral nog kan hieruit nog niet statistisch betrouwbaar worden afgeleid dat er van een structureel vergrote afvoer sprake is, ook al zijn de hoge afvoeren in het laatste decennium van de 20e eeuw en de beginjaren van de 21e eeuw een aanwijzing in die richting. Een complicatie bij de interpretatie is dat de afvoeren ook sterk zijn beïnvloed door veranderingen in grondgebruik en waterbeheersingsmaatregelen in het stroomgebied. Klimats- en weersveranderingen beïnvloeden ook de zeespiegel en de frequentie en hoogte van stormvloed. De zeespiegelbewegingen langs de Nederlandse kust zijn een functie van de (geologische en door klink veroorzaakte)

bodemdaling en de absolute stijging van de zeespiegel tezamen. Bodemdaling (die onafhankelijk is van het klimaat) zorgt gemiddeld voor ca. 5 cm zeespiegelrijzing per eeuw, al varieert dat enigszins langs de kust. De absolute zeespiegelrijzing, die wel samenhangt met klimaat, valt toe te schrijven aan het afsmelten van landijs (gletsjers en landijskappen, zoals op Groenland) en het opwarmen en daardoor uitzetten van de waterkolom in de oceanen. Nederlandse kuststations rapporteren over de laatste eeuw een stijging van 17–19 cm (Van Malde 1987), aanzienlijk meer dan het aangenomen gemiddelde van ca. 5 cm/eeuw over de laatste twee millennia (Lorenz et al. 1991, Klijn 1990). Deze rijzing kan deels toegeschreven aan de natuurlijke opwarming na de Kleine IJstijd (dus sinds ca. 1850), deels aan de opwarming van het aardoppervlak en de oceanen door het broeikas-effect. Aangenomen wordt dat er in het optreden van het laatstgenoemde effect een fikse naijling optreedt: de bovenste waterkolom tot 700 m diepte in oceanen vertoont een naijling van 50–100 jaar voordat een nieuwe evenwichtssituatie is bereikt (Tennekes & Können 1990; Klijn 2001).

Omdat Nederland aan het vernauwde deel van de trechtervormige Noordzee ligt, is onze kust gevoelig voor stormvloed (vooral bij NW-storm), die qua hoogte ver uitgaan boven de genoemde stijging van enkele decimeters per eeuw. De superstormvloed van 1953 kwam tot ca. 4 m boven zeeniveau en was destructief voor dijken en duinen. Een toename van frequentie en/of hevigheid van stormen heeft potentieel een flink effect op strand en duin (Christiansen en Bowman 1990, Klijn 1990; Kwakernaak et al. 1998). Uit systematische metingen van golfhoogtes en stormvloedpeilen blijkt vooralsnog geen structurele toename van stormen of stormvloed, wel perioden met verhoogde stormactiviteit in het Noord-Atlantische bereik (Dumphorn 1976, Wessels et al. 1999, Lamb en Weiss 1979). Wel zijn er aanwijzingen voor een veranderend golfklimaat, hetgeen de sedimenthuishouding langs de kust kan beïnvloeden. Dit laatste vraagt echter meer onderzoek.

In het kort:

- De klimaatsveranderingen die de laatste halve eeuw zijn geregistreerd hebben een tempo en omvang die hun weerga in de laatste millennia niet kennen. De belangrijkste oorzaak is de toename van broeikasgas-concentraties: die stegen in de laatste 50 jaar aanzienlijk en ondanks internationale afspraken is deze stijging nog niet tot stilstand gekomen. Wereldwijd steeg de temperatuur met 0.6 graad C, in Europa met 0.8 graad, in Nederland met 0.7 graad.
- Tegelijk met de temperatuur nam de hoeveelheid neerslag op het noordelijk halfrond toe. In Nederland werd vooral het winterhalfjaar aantoonbaar natter. De neerslag vertoont vooral een toename in intensiteit, niet zozeer in aantal neerslagdagen.
- De afvoeren van Maas en Rijn hebben het laatste decennium een toename laten zien, hoewel er nog geen statistisch significante toename van afvoerpieken kan worden vastgesteld.
- De zeespiegelrijzing is met bijna 20 cm/eeuw aanzienlijk sneller dan in voorgaande eeuwen.
- Stormfrequenties zijn vooralsnog niet significant toegenomen.

2.3 Waargenomen veranderingen in de natuur als gevolg van klimaatverandering

Welke effecten van deze veranderingen in het klimaat op soorten en levensgemeenschappen zijn inmiddels aangetoond? We onderscheiden zes categorieën van mogelijke veranderingen op soorten (Hughes 2000, Opdam en Wascher 2003).

- 1) *Effecten op de fysiologie*: groeisnelheid, fotosynthese en ademhaling zijn afhankelijk van temperatuur, CO₂ concentratie en neerslag. De groei wordt zowel in terrestrische als aquatische milieus door hogere temperaturen en/of hogere CO₂ concentraties bevorderd
- 2) *Effecten op de fenologie*: de biologische klok wordt gestuurd door klimaatfactoren, bijv. het aantal dagen boven een bepaalde temperatuur of het veranderen van de vorstperiode.
- 3) *Genetische aanpassing*: soorten met korte generatietijd en snelle populatiegroei kunnen zich snel genetisch aanpassen.
- 4) Effecten op *demografische* processen: geboorte, sterfte, migratie.
- 5) *Verschuiving van verspreidingsarealen*: een verandering van +3 °C betekent een verschuiving van de isothermen over 3-400 km naar het noorden (Hughes 2000)
- 6) *Verbrokkeling en inkrimping van verspreidingsarealen*: frequentere weersextremen veroorzaken sterkere schommelingen van populaties. De soort verdwijnt in die delen van het areaal waar relatief weinig leefgebied is, en aan de rand.

De literatuur bevat goede voorbeelden van deze veranderingen. Op grond daarvan valt echter geen conclusie te trekken over het aandeel van soorten dat al reageert. Het is immers te verwachten dat onderzoek dat een van deze verwachtingen niet bevestigt, niet of minder vaak wordt gepubliceerd dan onderzoek waarin een effect wel wordt aangetoond. Anderzijds kunnen onderzoekers de neiging hebben soorten waarvan ze denken dat die gevoelig zijn eerder te onderzoeken. Bovendien zijn de veranderingen vaak niet eenduidig aan een enkele oorzaak toe te schrijven, omdat het niet om gecontroleerde experimenten gaat. De tijdspanne van de meting is van invloed, en varieert sterk tussen de onderzoeken.

We geven een bloemlezing per categorie, voornamelijk aan de hand van Hughes 2000, Davis & Shaw 2001, Parmesan and Yohe 2003. Eerstgenoemde concludeert dat veel van de waargenomen trends een versnelling laten zien gedurende de laatste 2-3 decennia, en acht klimaatverandering de enige factor die bij verschillende organismen zoveel verschillende parallele effecten kan veroorzaken.

Effecten op de fysiologie

Effecten op de fysiologie (hetzij ten gevolge van hogere temperatuur, hetzij ten gevolge van hogere concentraties CO₂) zijn vastgesteld aan planten: toegenomen groeisnelheid en minder huidmondjes (Myneni 1997). Positieve en negatieve trends in fytoplankton-biomassa in de oceanen worden in verband gebracht met klimaatverandering. Dit heeft tot gevolg dat (onder meer in tropische bossen) meer biomassa is ontstaan. In noordelijke wateren (boven de 59° N) is de fytoplankton-biomassa afgenomen, zuidelijker toegenomen. Tengevolge van de opwarming is op

Europese schaal het groeiseizoen verlengd, sinds de vroege jaren 60 met tien dagen (Menzel en Fabian 1999). Vergeleken met de 80 jaar ervoor is de toename in de laatste tien jaren zelfs een maand RIVM (1999).

Fenologische veranderingen

Veel ecologische processen in het voorjaar worden gestuurd door temperatuur (Walther et al. 2002). Fenologische veranderingen die zeer waarschijnlijk zijn toe te schrijven aan klimaatverandering vormen een dik dossier. Het betreft veranderingen in planten, insecten, amfibieën en vogels, en het gaat om eerder voortplanten of voortplantingsgedrag vertonen en vroeger bloeien en vrucht dragen.

Planten. Met satellietwaarnemingen is vastgesteld dat de vegetatie in Noordelijke gebieden sinds 1980 gemiddeld 8 dagen eerder tot ontwikkeling komt. De start van de bladontplooiing van de Eik in Surrey (UK) is de afgelopen 50 jaar met een maand vervroegd (Factsheet, KNMI 2003). Rond de Middellandse Zee, in Hongarije, in Wisconsin en Washington DC zijn planten ca. een week eerder gaan bloeien (div. bronnen in Penuelas and Fillela 2003). Robinia pseudoacacia bloeit in Hongarije 3-8 dagen eerder sinds 1850, een toename gecorreleerd met de voorjaarstemperatuur. Walther et al. (2002) melden dat “numerous plant species” in Europa en Noord Amerika 1-4 tot 3.1 dagen per decade vroeger uitlopen en bloeien.

Insecten. De 104 soorten Nederlandse microlepidoptera zijn in 20 jaar gemiddeld 12 dagen eerder gaan vliegen (Ellis et al. 1997). Roy & Sparks (2000) rapporteren dat 18 soorten vlinders in Groot Brittannië per decade ca. 3 dagen eerder actief worden.

Vogels. Van 65 soorten broedvogels in de UK zijn er 20 die 4-18 dagen eerder zijn gaan broeden, terwijl er slechts 1 later is gaan broeden (Crick en Sparks 1999). Deze 20 soorten komen uit uiteenlopende taxonomische groepen en ecosystemen. Dit verschijnsel is pas opgetreden in de jaren 80 en 90 van de vorige eeuw, in de decennia daarvoor was er juist een tegengestelde trend. Bij gedetailleerde studies aan verschillende vogelsoorten is behalve de vervroeging van het broeden een toename gevonden in de legselgrootte en de snelheid waarmee de jongen opgroeien.

Amfibieën. Gibbs en Breisch (2001) rapporteren vervroegde voortplanting bij 4 van de 6 onderzochte Amerikaanse kikkers en padden (11-14 dagen), terwijl een enkele soort juist 6 dagen later was.

Hoewel er dus over een brede linie gevolgen van temperatuurverhoging zijn op het moment waarop ecologische processen plaatsvinden, is het beeld vooralsnog diffuus. Conclusies in termen van welk type soorten welk type reactie vertoont zijn nog niet te trekken. Tussen soorten bestaan grote verschillen, bijvoorbeeld tussen vogels die over korte afstanden en lange afstanden trekken.

Geen van de genoemde studies trekt de waargenomen veranderingen door naar consequenties voor de *populatie*. Die vertaling laat zich ook niet gemakkelijk maken. Onderzoek op Europese schaal laat allereerst zien dat de fenologische reactie regionaal sterk kan verschillen. Populaties van kool- en pimpelmezen blijken hier

eerder, en daar later te gaan broeden, en weer elders geen reactie te vertonen. Dit regionale verschil kan maar ten dele worden verklaard door regionale verschillen in klimaatverandering (Visser et al. 2003). Ten tweede leidt een fenologische reactie niet automatisch tot een verandering in de populatie. Inzicht in de complexiteit van het verband tussen fenologie en populatie levert ons het onderzoek aan de Bonte vliegenvanger. Both (2002) geeft een overzicht met literatuurverwijzingen, dat we hier samenvatten (zie ook Both en Visser 2001). Bonte vliegenvangers broeden niet alleen veel eerder dan 20 jaar geleden, de verdeling van paren die jongen voortbrengen die terugkeren om zich voort te planten (rekruten) is sterk naar voren verschoven. Twee decennia geleden hadden alleen de paren die halverwege het seizoen broeden rekruten, nu zijn dat uitsluitend de paren die in de eerste helft van het seizoen broeden. Het effect op de populatie is eenduidig. Landelijk is er sprake van achteruitgang, vooral in het zuiden, maar lokaal is het beeld heel verschillend. In naaldbossen en gemengde bossen op de Veluwe is de populatie constant. De paren daar leggen meer eieren en produceren meer jongen dan vroeger, maar het aantal rekruten is niet gewijzigd. In voedselrijke loofbossen gaat de populatie wel achteruit: hier is de smalle maar sterke piek in het voedselaanbod zover in de tijd naar voren geschoven dat zelfs de jongen van de vroege broeders te laat worden geboren om volop van die voedselpiek te kunnen profiteren. De oudervogels komen namelijk niet eerder terug uit hun Afrikaanse wintergebieden. Hoe gaat het nu verder? Er kunnen een paar dingen gaan gebeuren. Bij voortschrijdende opwarming schuift ook de voedselpiek in gemengd en naaldbos zo ver naar voren, dat ook hier de populatie gaat afnemen. Het is denkbaar dat het areaal van de vliegenvanger inkrimpt in het westen en zuiden en uit Nederland verdwijnt. Maar het kan ook zijn dat de vogels in een evolutionair proces eerder gaan terugkomen uit Afrika.

Moss et al. (2001) suggereren dat klimaatverandering de achteruitgang van Schotse auerhoenders kan verklaren. Tot begin april werd het sneller warmer dan voor 1975, maar daarna trad er een terugval op die tot een relatieve koudeperiode leidde. Deze stagnatie houden de auteurs als de vermoedelijke oorzaak voor de achteruitgang van auerhoenders, een verband dat wellicht loopt via het verschuiven van voedselpieken.

Kiesecker et al. (2001) geven nog een voorbeeld van de complexe interactie tussen factoren die samenhangen met klimaatverandering. De reproductie van padden (in noordamerikaanse bergen) loopt terug doordat de waterspiegel in voortplantingswater lager komt te staan, hetgeen een sterkere instraling van UV licht tot gevolg heeft. Dit veroorzaakt een grotere aantasting van de embryo's door schimmels, en dientengevolge een grote sterfte onder de larven. Of dit ook een effect heeft op de populatie is niet onderzocht, maar zeker is wel dat veel amfibiepopulaties achteruitgaan (Pounds 2001).

Evenmin is een fenologische respons rechtstreeks te vertalen in gevolgen voor de levensgemeenschap. De verschuiving bij verschillende taxonomische groepen is niet steeds synchroon, zodat interacties tussen soorten kunnen worden beïnvloed (Walther et al. 2002). Beebee (1995) legt uit dat salamanders zich eerder voortplanten, maar bruine kikkers niet. Daardoor neemt de predatie door salamanderlarven op kikkerlarven toe. Een ander voorbeeld van een complex effect

van temperatuurverhoging is dat de synchronisatie tussen aantalpieken van wintermotten (*Operophtera brumata*) en de hoogste voedselbehoefte van koolmezen met jongen wordt verstoord, koolmezen zijn daardoor te laat (Visser et al. 1998, Visser en Holleman 2001). Grieco et al. (2002) laten zien dat pimpelmezen in staat zijn na een ervaring van te laat broeden hun “timing” in het volgen broedseizoen aan te passen.

Genetische aanpassing

Over genetische aanpassing aan veranderende klimaatomstandigheden is weinig bekend. De cruciale vraag is hoe snel die aanpassing kan verlopen, in verhouding tot de snelheid waarmee de omstandigheden veranderen. Davis en Shaw (2001) concluderen dat door de lange tijdschaal genetische aanpassing niet zozeer een alternatief is voor geografische aanpassing, maar eerder het gevolg, of in ieder geval gelijktijdig ermee verloopt. Er zijn aanwijzingen uit fossiel onderzoek aan pollen dat soorten zich sinds de laatste ijstijd zich genetisch ruimtelijk hebben gedifferentieerd als gevolg van een proces van aanpassing aan de regionale omstandigheden, nadat eerst hun areaal was verschoven. Daartegenover staat onderzoek (Berthold et al. 1992) waaruit blijkt dat in Noordwest Europa populaties genetisch zijn ingesteld op fluctuerende weersomstandigheden. Zwartkoppen (een soort zangvogel) overwinteren deels in hun broedgebieden, deels trekken ze naar zuid Europa om de winter te overleven. De blijvers zijn in het voordeel als de winter zacht is, maar sterven op grote schaal gedurende strenge winters. In dat laatste geval zijn de trekkers in het voordeel. Afwisseling van zachte en strenge winters beïnvloedt op jaarbasis de genetische samenstelling van deze populaties, en de populaties kunnen zich binnen enkele generaties aanpassen aan veranderend klimaat. Het is echter sterk de vraag of genetische aanpassingen voor het merendeel van de soorten zodanig snel verloopt dat deze de klimaatsverschuivingen zou kunnen bijbenen.

Areaalverschuivingen

Arealen worden beïnvloed door temperatuur, direct via de energiehuishouding, of indirect via de beschikbaarheid van en hoeveelheid aan voedsel (zie o.a. Forsman et al. 2003 voor vogels in Europa). Het ligt dus voor de hand te verwachten dat als de isothermen naar het noorden schuiven, de arealen zullen volgen, zoals voor het latere Holoceen onder meer door Birks (1990) voor boomsoorten is gedemonstreerd. Hieronder blijkt dat dit ook voor de moderne periode voor diverse groepen soorten is vastgesteld.

Vlinders. Hill et al. (1999) berekenden dat de noordwaartse uitbreiding van het bonte zandooie *Pararge aegeria* (een dagvlinder) in Groot-Brittannië kan worden toegeschreven aan klimaatverandering. De snelheid van uitbreiding kwam overeen met de geschatte dispersiesnelheid van 1km per generatie. Deze snelheid was echter niet afdoende om al het geschikte habitat te bezetten, ten dele door een te grote habitatfragmentatie, maar ook doordat de klimaatverandering sneller gaat dan de soort kan bijhouden. Pas aan het eind van de 21e eeuw verwachten de auteurs dat de verspreiding van de soort in evenwicht zal zijn met het aanwezige habitat. Parmesan et al. (1999) analyseerden veranderingen in de verspreiding van 35 niet-trekkende dagvlindersoorten in Europa. Ze concludeerden dat van 63% de arealen naar het

noorden zijn opgeschoven over een afstand van 35-240 km, en dat slechts 3% naar het zuiden verschoof. Deze verschuiving is in dezelfde orde van grootte als de noordwaartse verschuiving van de gemiddelde temperatuur van 0.8° C. Conrad et al. (2002) schrijven de achteruitgang van de tijgermot in de UK tussen 1975 and 1995 toe aan de toename van milde, natte winters met een vroeg voorjaar. Bij Britse *broedvogels* zagen Thomas and Lennon (1999) dat 59 soorten in de loop van twee decaden gemiddeld 19 km noordwaarts zijn geschoven.

In Nederland zien we veranderingen optreden in de vlinder- en libellenfauna, die aan warmere en neerslagrijke zomers worden toegeschreven (Ketelaar 2003, Van Swaaij mond. meded.). Het zijn vooral *libellersoorten* met een zuidelijke verspreiding die toenemen, terwijl afname van noordelijke soorten (nog?) niet duidelijk is. Van de *dagvlinders* vertonen sinds 1992 6 soorten een toename, 23 een afname en 12 geen trend. Onder de stijgers zijn soorten met een zuidelijke verspreiding (bont zandooie, boswitje, koninginpage, en kleine parelmoervlinder) die mogelijk toenemen door klimaatverandering, terwijl de achteruitgang van 3 noordelijke, aan hoogveen gebonden soorten (veenhouibeestje, veenbesparelmoervlinder, veenbesblauwtje) sterk doet denken aan een verband met klimaatverandering; deze soorten zijn inmiddels uit het zuiden en midden van ons land verdwenen. Ellis et al. (1997) toonden aan dat 50% van de soorten microlepidoptera sinds de laatste decennia een geografische verschuiving laten zien, maar legden geen formeel verband met klimaatfactoren. Moraal (2003) vermeldt een aantal voorbeelden van plaaginsecten met een oorspronkelijk Zuid Europese verspreiding die recent in Nederland voorkomen, zoals de paardekastanjemineermot, de roodzwarte dennencicade en de eikenprocessierups. De wespenspin (die als warmteminnend wordt gezien) breidt zich vermoedelijk tengevolge van warme zomers en zachte winters naar het noorden uit (Van der Linden 2000)

Tamis et al. (2003) hebben een analyse uitgevoerd met lange termijn gegevens van de verspreiding van *planten*. Ze vonden significante relaties tussen de uitbreiding van plantensoorten en verandering van temperatuur. Temperatuurverhoging wordt beschouwd als de belangrijkste veroorzaker van veranderingen in het voorkomen van c. 1300 plantensoorten sinds 1975, met verstedelijking als goede tweede. Soorten van warme standplaatsen nemen toe, terwijl bij soorten van koude standplaatsen geen afname werd geconstateerd. Van Herk et al. (2002) konden de toename van korstmossen in de provincie Utrecht verklaren met drie factoren, waarvan temperatuurvoorkeur er een is. Zij achten dit een aanwijzing dat de arealen van korstmossen verschuiven onder invloed van klimaatverandering.

In de zoute wateren wordt de toename van de kleine heremietkreeft en de druipzakpijp in verband gebracht met de klimaatsveranderingen, hoewel andere factoren ook een rol kunnen spelen (Gmelig-Meijling & Bruijne 2002). Ook sommige vissoorten waarvan het zwaartepunt van de verbreiding in zuidelijke streken valt, breiden hun aantal in onze wateren uit, zoals de schurftvis en de kleine pieterman, vooral in het laatste decennium van de 20e eeuw (Heessen et al., 2001).

Geen van deze studies is systematisch ingegaan op de mate waarin de hoeveelheid en de ruimtelijke configuratie van leefgebied van invloed is op de verschuiving van het areaal. Alleen Warren et al. 2001 hebben deze synergie voor dagvlinders aangetoond, door soorten met een grote plaatstrouw en habitatspecialisme te vergelijken met meer mobiele, minder kieskeurige soorten, overigens zonder het landschap te meten. De meeste soorten uit de eerste categorie zijn in areaal afgenomen, ondanks de gunstiger klimatologische omstandigheden. De verwachte uitbreiding werd wel bij de meeste soorten van de tweede groep gevonden (figuur 6). Het voor vlinders gunstige effect van klimaatverandering wordt dus bij de weinig mobiele soorten met een sterk versnipperd habitat niet binnengehaald.

Deze studie plaatst het belang van dispersie van zaad en jonge dieren in het middelpunt van de belangstelling. In historische reconstructies van areaalverschuivingen valt op dat de gerealiseerde snelheid waarmee plantensoorten zich verplaatsen niet is te rijmen met de in de moderne tijd gemeten dispersieafstanden (Pakeman 2001). Dat kan te maken hebben met de onderschatte rol van langeafstand dispersie (Opdam en Wascher 2003), maar ook met het verdwijnen van dispersievectoren. Grote overstromingen kwamen vroeger veel meer voor dan tegenwoordig, terwijl ook migraties van grote zoogdieren een belangrijke rol zouden kunnen hebben gespeeld (Pakeman 2001). Voor vlinders kwamen de afstanden van de verschuivingen globaal wel overeen met de bekende dispersiecapaciteit (Parmesan et al. 1999).

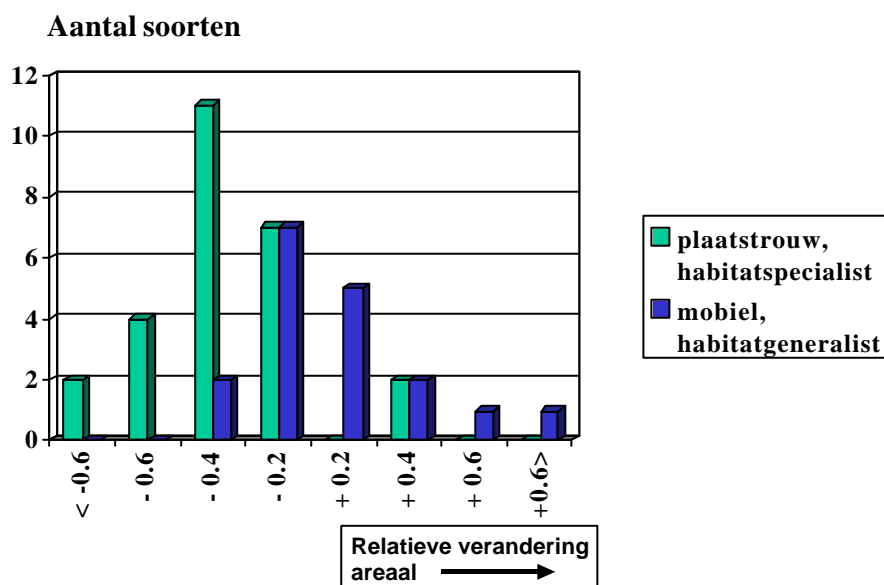


Figure 5 Verdeling van Britse vlindersoorten naar de areaaltrend gedurende de laatste twee decennia. Plaatstrouwe soorten met geringe dispersie, waarvan het habitat versnipperd voorkomt, zijn op twee na achteruitgegaan, ondanks de (voor vlinders) gunstige hogere temperaturen.

Effecten op verspreiding binnen het areaal

Behalve temperatuurverhoging kan klimaatverandering ook een toename van weersextremen tot gevolg hebben, met als mogelijk gevolg een toename van fluctuaties van aantallen in een populatie. Sterkere fluctuaties hebben in wisselwerking met ecosysteemversnippering gevolgen voor de verspreiding en aantallen van soorten, doordat sterk versnipperde populaties eerder uitsterven bij weersfluctuaties dan weinig versnipperde (McLaughlin et al. 2002). Foppen et al. 1999 hebben laten zien dat de achteruitgang van rietzangers als gevolg van droogte in het overwinteringsgebied in Afrika in Nederland het hardst toesloeg in landschappen waar het leefgebied het sterkst was versnipperd (figuur 7). Versnipperde populaties hebben een geringere veerkracht tegen grootschalige storingen, zoals klimaatverandering. Dat komt onder meer doordat goed habitat onbezet blijft, terwijl anderzijds de sterfte relatief hoog is. De combinatie van versnippering en klimaatverandering zou op areaalniveau kunnen leiden tot verbrokkeling en inkrimping (Opdam en Wascher 2003).

De verspreiding binnen het areaal kan ook beïnvloed worden via de invloed van klimaatverandering op competitieve relaties tussen soorten. Lemoine en Bohning-Gaese (2002) stellen als hypothese dat een toename van warmere winters in het nadeel is van langeafstandstrekvogels, en in het voordeel van vogels die in of nabij hun broedgebied overwinteren. Een analyse van de aantalveranderingen tussen de jaren tachtig en de jaren negentig leverde een ondersteuning op voor hun hypothese dat lange afstandtrekkers zijn achteruitgegaan, en dat deze trend gecorreleerd is met factoren van klimaatverandering.

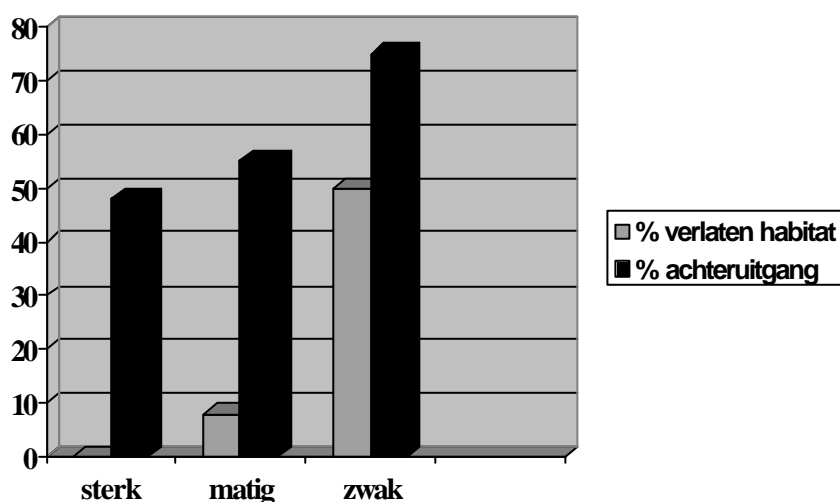


Figure 6 Achteruitgang van de Rietzanger (in %) in Nederland ten gevolge van droogte in Afrika, in regio's met sterke, matig sterke en zwakke habitat netwerken. Naar Foppen et al. (1999).

Dit voorbeeld laat zien hoe weersvariatie kan inwerken op versnipperde populaties, en gaat niet over het effect dat ontstaat door versterkte weersfluctuaties als gevolg van het broeikas-effect, maar kan wel worden gezien als een natuurlijk experiment dat ons leert hoe de voorspelde frequente weersextremen zouden kunnen uitpakken in versnipperde natuur. Op die interactie wordt later in dit rapport teruggekomen.

De interactie tussen klimaat en versnippering speelt vermoedelijk ook een rol aan de rand van het areaal. Beide factoren kunnen een areaalrand bepalen. Mehlman (1997) verklaarde dynamiek aan de rand van arealen van Amerikaanse zangvogels door aan te nemen dat strenge winters het hardst toesloegen aan de rand van arealen. De arealen krompen aan de rand, maar niet overal even sterk. Helaas correleerde Mehlman deze patronen niet met de verspreiding van habitat van de soorten, zodat we niet weten of dit patroon het resultaat is van de interactie tussen grootschalige weersextremen en de dichtheid of configuratie van het habitat.

In het kort:

- Er zijn goed gedocumenteerde voorbeelden uit systematisch onderzoek in binnen- en buitenland die aantonen dat de klimaatverandering van de afgelopen 2-3 decennia doorwerkt op wilde soorten planten en dieren. De effecten zijn vooral aangetoond in de timing van biologische processen in het voorjaar, en in mindere mate in de vorm van verschuivende arealen. De effecten zijn vooral gecorreleerd met temperatuurstijging.
- De effecten werden in uiteenlopende soortengroepen en ecosystemen vastgesteld
- Er zijn aanwijzingen dat de effecten regionaal verschillen
- Er is vrijwel geen systematisch onderzoek gedaan naar verschillen tussen soorten met verschillende overlevingstrategieën en taxonomische groepen. Er kunnen daarom geen conclusies worden getrokken over welke soorten het sterkst reageren, en wat de aard van de reactie inhoudt.
- Het verband tussen veranderingen in de fenologie en veranderingen in de populatie is slechts in enkele gevallen aangetoond. Deze voorbeelden laten wel zien welke risico's verbonden zijn met fenologische veranderingen. Op het oog kleine verschillen kunnen grote gevolgen hebben.
- Er zijn aanzienlijke verschuivingen in de arealen van bepaalde groepen organismen, onder meer vlinders, vastgesteld (in de orde van enkele tientallen tot honderden kilometers). Veranderingen in arealgrenzen zijn echter, op een uitzondering na, niet in verband gebracht met het patroon van habitat (versnipperd vs niet-versnipperd) in het landschap.

Table 1 Gepubliceerde aanwijzingen voor effecten van recente klimaatverandering (sinds 1980) op taxa/soorten in NW Europa: een positief verband is aangeduid met +, de richting van de pijl geeft toe- of afname aan. Kolom 2-7: de 6 mogelijke effecten van klimaatveranderingen zoals hierboven omschreven.

1	2	3	4	5	6	7	8
Soort	fysio	feno	adpt	Pop.	Areaal-schuiv	Areaal-dynam	Bron
Korstmossen NL				↑	+		Van Herk et al. 2002
Hogere planten div. locaties EU /USA		+					Penuelas & Fillela 2003
Hogere planten NL				+ / ↑			Tamis et al 2003
Microlepi-doptera NL		+			+		Ellis et al. 1997
Dagvlinders UK					+		Warren et al. 2001
Dagvlinders Europa					+		Parmesan et al. 1999
Tijgermot Arctia cava UK				↓			Conrad et al. 2002
Bont zandoogje UK					+		Hill et al. 1999
Libellen NL				↑	+		Ketelaar 2003
Kikkers en padden USA		+					Gibbs & Breisch 2001
Div insecten				↑	+		Moraal 2003
Broedvogels UK		+			+		Thomas & Lennon 1999, Crick et al. 1999
Rietzanger NL						+	Foppen et al. 1999
Bonte vliegenvanger NL		+		- / ↓			Both 2002
Auerhoen UK				↓			Moss et al. 2001

3 De toekomst

3.1 Wat zijn de vooruitzichten voor het klimaat van de komende (halve) eeuw?

Door het IPCC (, 2001 a+b) zijn voorspellingen gemaakt op basis van een aantal computermodellen die uitgaan van bepaalde maatschappelijke (demografische, economische en politieke) scenario's, daaraan gekoppeld emissiescenario's (door industriële en huishoudelijke broeikasgassen en t.g.v. landgebruik) en daarvan afgeleid een aantal voorspellingen t.a.v. het atmosferisch systeem. Een en ander leidt tot voorspellingen met de noodzakelijke bandbreedte gezien de onzekerheden. De belangrijkste uitkomsten zijn gebaseerd op de aanname dat er aan het eind van de 21e eeuw 1,5 – 2,6 maal de huidige concentratie van CO₂ in de atmosfeer aanwezig zal zijn. Een recente taxatie door de Europese commissie (2003) gaat zelfs uit van een verdubbeling van het wereldenergieverbruik in 2030. Voor de temperatuur in de 21e eeuw leidt dat tot een stijging van de wereld-jaartemperatuur tussen de 1.4 en 5.8 graden Celsius. Zo'n toename per tijdseenheid is in de laatste 10.000 jaar niet eerder voorgekomen! De effecten van de klimaatsverandering op de zeespiegel hebben een grote marge, gezien de vele onzekerheden. Die stijging ligt tussen de 0.09 en 0.88 meter voor de 21e eeuw. (IPCC, 2001 a+b).

De voorspellingen zijn per regio verschillend, aangezien de veranderingen in weer en klimaat afhankelijk zijn van de geografische positie. Voor Europa heeft het ACACIA project (Parry 2000) gepoogd die differentiatie naar gebied aan te brengen, zij het dat er afhankelijk van het gehanteerde model en de aannames daarin nogal wat spreiding in de verwachtingen zitten. De auteurs komen tot een temperatuurstoename tussen de 1.5. en 4.5° C voor de periode tot 2050, een snelheid van opwarmen variërend van 0.1- 0.4° C per decade. Koude winters worden zeldzamer rond 2020 en zullen rond 2080 haast verdwenen zijn. Hete zomers worden steeds frequenter, in Spanje zal de frequentie daarvan rond 2020 al vier tot vijfmaal zo groot zijn als recentelijk het geval was. De neerslagvoorspelling laat een toename in de winter zien voor geheel Europa, met 's zomers een toename in het noordelijk deel, doch een afname in het zuidelijk deel.

Table 2. Scenario's voor neerslag en temperatuur (min., middel en max. voor de 21e eeuw) alsmede zeespiegelrijzing en maatgevende afvoeren voor Rijn en Maas (Cie Waterbeleid 21e eeuw, 2000).

	Huidige toestand	Minimum-scenario	Midden-scenario	Maximum-scenario
Jaartemp		+1 graad C	+2graadC	+4 graad C
Winterneerslag	350-425 mm	+6%	+12%	+24%
Neerslag-intensiteit		+10%	+20%	+40%
Zeespiegelrijzing (cm)		+20	+60	+110
Maatgevende Maasafvoer	3800 m3/s	4180 m3/s	4560 m3/s	5320 m3/s
Maatgevende Rijnafvoer	16000 m3/s	16800 m3/s	17600 m3/s	18000 m3/s

Voor de zeespiegelrijzing komt men in het ACACIA rapport voor de periode tot 2050 (dus een halve eeuw) op een gemiddelde stijging op wereldschaal tussen 13 en 68 cm zonder daarbij daling of stijging van het landoppervlak t.g.v. geologische processen te betrekken.

De verwachtingen voor de komende eeuw voor NW Europa, waartoe Nederland behoort, worden samengevat in tabel 2. De cijfers en aannames zijn, hoewel iets ouder dan het laatste IPCC rapport, qua orde van grootte consistent met dat rapport, en voor de zeespiegelrijzing gecompenseerd met gegevens over de bodemdaling in Nederland. Deze laatste bedroegen ongeveer 5 cm/eeuw (zie eerder in dit rapport). Uit de tabel blijkt dat we, afhankelijk van het gekozen scenario (laag, midden of hoog), te maken zullen krijgen met hogere temperaturen en meer neerslag, die vooral in het winterhalfjaar valt en in grotere hoeveelheden per dag. De rivierafvoeren zijn hoger, maar bedacht moet worden dat die 's zomers ook lager dan nu gebruikelijk kunnen zijn. Over stormvloed en bestaande onzekerheid, maar voor een no-regret policy moet veiligheidshalve wel gerekend worden op een hogere frequentie en hogere pieken.

In het kort:

- Op wereldschaal, op Europese schaal en op de schaal van Nederland valt rekening te houden met een voortgaande klimaatsverandering en zeespiegelrijzing. Deze zijn deels het gevolg van na-ijlingsprocessen, deels van nog steeds voortdurende uitstoot van broeikasgassen.
- Voor Nederland valt te rekenen met 1-4 graad Celcius hogere jaartemperaturen, neerslagrijkere winters (6 – 24 % toename) en wat nattere zomers, maar ook met langdurige zomerdroogtes en met extremere weersomstandigheden.
- De Rijn en Maas zullen meer water afvoeren, maar in de zomers ook wel eens beduidend minder. De Rijn krijgt meer het karakter van een regenrivier.
- De zeespiegel in de Nederlandse kuststreken zal de komende eeuw tussen de 20 en 110 cm stijgen.

3.2 Mensen passen het land(gebruik) aan

Klimaatsveranderingen - en veranderingen in de waterhuishouding die daaraan annex zijn - hebben effect op de veiligheid van zeeweringen en andere waterkeringen, kunnen wateroverlast of watertekort veroorzaken, kunnen weg- en waterverkeer beïnvloeden en zorgen voor veranderingen in landbouwkundige zin door wijzigingen in groeiomstandigheden (verdroging, vernatting, verzilting, en verlenging groeiseizoen) en daarmee samenhangend andere teelten en intensiteit van het landgebruik.

Nederland is een vol, intensief gebruikt land met grote investeringen in kapitaalgoederen en ruimtelijke inrichting. Daarnaast zien we van een relatief grote beschikbaarheid aan technische middelen, kapitaal en organisatievermogen, zodat er rekening valt te houden met ingrijpende aanpassingen in landgebruik en waterbeheersing. We zien daarvan nu al de plannen en soms al "werk in uitvoering" zoals langs de rivieren. Deze maatschappelijke respons is, naast directe en indirecte effecten van klimaatsveranderingen op ecosystemen en soorten, een derde factor die de kansen en bedreigingen van de natuur mede gaat bepalen. (zie figuur 1). Vanzelfsprekend zijn veel van die effecten onzeker, vooral op de langere termijn, aangezien technologische mogelijkheden, investeringsbereidheid en economische ontwikkelingen op langere termijn mede bepalend maar niet gemakkelijk voorspelbaar zijn.

In het navolgende hoofdstuk hebben we een ruwe taxatie gemaakt van de meest waarschijnlijke ingrepen die vooral op waterhuishoudkundig terrein liggen. We hebben ons daarbij vooral georiënteerd op de rapportage van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (2000). Daar staan zaken bijeen die te maken hebben met kustverdediging en de afvoer, tijdelijke berging en voorraadvorming van zoet water (rivierwater en overtollige neerslag). Inmiddels bekende ruimteclaims voor wateropvang en -afvoer betreffen beekdalen, retentiepolders, inlaatpolders, het vergroten van opvang en doorvoer van rivierwater in verbrede en verdiepte winterbedden (o.a. door verlaging uiterwaarden) of overloopgebieden alsmede calamiteitengebieden. De ruimtelijke claims daarvan zijn grotendeels overgenomen in de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening (zie ook Klijn 2001). Aan de kust zal vermoedelijk gewerkt worden volgens het concept van "dynamisch handhaven", een strategie gericht op het handhaven van de huidige kustlijn (3e Kustnota, RWS, 2000). De laatste jaren wordt daarbij vooral gebruik gemaakt van grootschalige terugkerende zandsuppleties op stranden en in de vooroever. Denkbaar zijn ook andere strategieën, die juist een offensieve, zeevaartse aanpak bepleiten, bijv. met blokkendammen.

Hoe de landbouw kan of zal reageren op andere klimaatscondities is nog onduidelijk. Vaststaat dat vanwege het landbouwkundig belang gehecht wordt aan optimale productieomstandigheden en derhalve een goede ontwatering- en afwatercapaciteit, maar ook aan voldoende waterberging om droge tijden door te komen. Door meer neerslag en grotere neerslagintensiteiten zal natschade vaker optreden. Er zal in droge tijden mogelijk een groter beroep gedaan worden op aanvoer van

gebiedsvreemd water om de vraag naar water aan te kunnen. Mogelijk ontstaat door zeespiegelstijging en daardoor toenemende zoute kwel een probleem voor de landbouw in de lagere westelijke delen van Nederland (o.a. Kwakernaak et al. 1998). Dit kan tot effect hebben dat de meer kwetsbare (zoutgevoelige) gewassen daar niet meer verbouwd kunnen worden, dat er vaker doorgespoeld moet worden of extra zoetwaterbekkens gecreëerd moeten worden. In hoeverre de landbouw reageert op langere groeiseizoenen en verruimde gewaskeuzes is niet bekend. Wel is duidelijk dat dit alles tot intensivering en kunstmatige beregening zouden kunnen leiden.

De scheepvaart op rivieren kan mogelijk hinder ondervinden van extra hoge afvoerpieken, maar ook van zeer lage waterstanden in droge zomers zoals in de zomer van 2003 bleek. Gezien het belang van de binnenvaart valt te rekenen met rivierregulerende maatregelen of met speciale voorzieningen voor de scheepvaart (vaargeulverdieping).

Urbanisatie en aanleg van infrastructuur zal in lagere delen van Nederland rekening hebben te houden met wateroverlast bij grotere neerslaghoeveelheden, en met de noodzaak om bepaalde polders in te richten als opvang- of retentiegebied. Bij risico's in rivierengebieden en beekdalen alsmede in kustgedeelten met een relatief zwakke of terugwijkende zeekering zal men terughoudend zijn met bebouwing of aanleg van infrastructuur.. Algemeen kan gesteld dat planologische vrijwaring van deze gebieden in belang zal toenemen. De Commissie Waterbeheer 21e eeuw noemt op een aantal plaatsen de mogelijkheden om natuurontwikkeling mee te laten koppelen met de waterhuishoudkundige maatregelen als boven beschreven.

In het kort:

- De respons van de mens op klimaatsverandering is een niet te verwaarlozen factor bij het inschatten van effecten op de natuur in Nederland
- Belangrijke veranderingen komen voort uit maatregelen tot waterbeheersing en kustverdediging, waarbij een zwaartepunt ligt in west Nederland, de rivierstreek en in de beekdalen van de zandgebieden. In gebieden met een functie in de waterbeheersing zal planologische vrijwaring het parool zijn.
- Landbouwkundig zal er behoefte zijn aan intensievere ontwatering, maar ook aan wateropvang voor droge tijden; bepaalde gebieden zullen door verzilting minder agrarische mogelijkheden te zien geven.
- In alle gevallen kunnen zowel extra schade aan de natuur als –wanneer meegekoppeld kan worden- kansen voor betere condities voor de natuur aan de orde zijn.

3.3 Mogelijke effecten op ecosystemen en landschap; per regio

Welke directe en indirecte effecten ?

We hebben in voorgaande paragrafen gezien dat de huidige klimaatsverandering qua tempo en omvang ongekend is. Hoewel de afspraken in de verschillende klimaatsverdragen stringente reducties in de broeikasconcentraties beogen, is er helaas geen reden om het bij deze maatregelen aan de bron te laten. Allereerst is de

recente geschiedenis op het punt van de realisatie van de reductie-doelstellingen weinig hoopgevend, anderzijds hebben we hoe dan ook te maken met de nasleep van een al vele decennia geleden ingezette verandering waarvan de naijling nog vele decennia of zelfs een eeuw lang merkbaar zal zijn. Kortom, men heeft rekening te houden met uiteenlopende effecten en zal zich moeten beraden op gewenste maatregelen. In dit hoofdstuk gaan we eerst na welke directe en indirecte effecten zijn te verwachten op de in Nederland aanwezige landschappen/ ecosystemen. Een bespreking van effecten per soort(groep) volgt daarna.

De landschappen / ecosystemen kunnen we – gericht op de natuurlijker onderdelen - grofweg als volgt indelen (op basis van fysisch geografische regio's, zoals in min of meer vergelijkbare eenheden ook aangegeven in Bal et al.,2001):

- de Noordzee
- de zoutwatergetijde-gebieden (estuaria/ waddenzee)
- kwelders
- kustduinen
- grote rivieren (Rijn- en Maastakken)
- de grotere, merendeels zoete, wateren (Grote meren, IJsselmeer, voormalige zeegaten)
- de moerassystemen in klei- of veengebieden
- de hoogvenen
- de hogere zand- en keileemgronden (incl. stuwwallen, zandverstuivingen, heides, bossen)
- de lagere zand- en keileemgronden (incl. beekdalen)
- het Krijt- en Löss-landschap in Limburg
- de stedelijke/ industriële gebieden

In het onderstaande geven we in hoofdlijnen de verwachte effecten per landschap/ecosysteem aan, daarbij het accent leggend op indirecte effecten en eventuele ingrepen door de mens.

De Noordzee

De effecten zullen met name liggen in de algemene temperatuursverhoging in de Noordzee en aanpalende kustwateren en wellicht voor een deel in de toegenomen rivierafvoeren die een lager zoutgehalte in de kustwateren zullen veroorzaken. De zeespiegelrijzing zal mogelijk lokaal voor enige verandering zorgen, m.n in de zeer ondiepe gedeelten. Veranderingen in windrichting en stormfrequentie zijn onzeker, maar kunnen de circulatie van water beïnvloeden. Het soortenspectrum van bijv. vissen, zeezoogdieren en kust- en zeevogels zal verschuiven ten gunste van warmteminnende soorten, terwijl soorten van koudere wateren op hun retour kunnen raken. De wijze waarop kustsystemen reageren op hogere zeestanden wordt elders besproken (zie hierna)

De Waddenzee en de estuaria in ZW Nederland

Kwakernaak et al.(1998) en Louters en Gerritsen (1994) verwachten dat door de zeepiegelrijzing in het intergetijde-gebied (zand- en slikplaten in waddenzee en

estuaria) extra erosie opleveren, met name in de westelijke waddenzee. Misdorp et al. (1990) komt op een drempelwaarde van ca 50 cm/eeuw voor het westelijk waddenzeegebied, voor het oostelijk deel tussen de 50 en 100 cm/eeuw. Een sterkere stijging zou niet meer door natuurlijke zandaanvoer kunnen worden bijgehouden. Een afname in droogvallend wad zal vogels benadelen. In het estuariene deel van Nederland is ook versterkte erosie te verwachten. Ook zullen enige temperatuurverhoging en tijdelijk lagere zoutgehalten optreden. Aangezien de meeste ecosystemen daarop zijn ingesteld, zijn de effecten mogelijk gering. Estuaria met zout-brak overgangen, namelijk daar waar rivierwater uitmondt (Haringvliet, Westerschelde) zullen t.g.v. hogere zeespiegelstanden en lagere zomerafvoeren van rivieren verschuiving van zout-brak-zoet grenzen ondergaan. Bij lage rivierafvoeren en gelijkblijvende hoeveelheden organische en chemische verontreinigingen zullen de concentraties daarvan tijdelijk hoger kunnen zijn. Door de hogere watertemperaturen en mildere winters zal het effect van koude winters en ijsgang afnemen. Dit kan de voedselbeschikbaarheid vergroten voor overwinterende vogels.

De kwelders

Kwelders ontstaan in zones boven de gemiddelde hoogwaterlijn door opslibbing en gelijktijdige vegetatieontwikkeling. De positie is dus afhankelijk van de zeespiegelstand en de getijde- amplitude, enige slibaanvoer en daarbij is een rustig afzettingsmilieu ook belangrijk. De Nederlandse kwelders kennen ofwel een natuurlijke positie op laag/hog gradiënten in natuurlijke situaties (op eilanden) ofwel een positie buitendijks van zeeeringen. Zeespiegelrijzing kan deels gecompenseerd worden als kwelderzones zich voldoende ophogen met sediment om de zeespiegelstijging te kunnen volgen of als zij meeschuiven langs de natuurlijke gradiënt; in andere gevallen zal irreversibel verlies kunnen optreden ("coastal squeeze"). Door diverse auteurs worden ook hier drempelwaarden genoemd: Brouns (1992) komt op 60 cm/eeuw, Dijkema c.s. (1990) op 50 cm/eeuw, en Beets et al. (1994) op 40 cm / eeuw. Veel hangt af van de positie t.o.v. slibaanvoer. Verliezen zijn te verwachten aan de Fries-Groningse waddenkust (hoewel landaanwinning t.b.v. natuurbehoud dit voor een deel kan compenseren), in ZW Nederland en op de Waddeneilanden (Kwakernaak et al., 1998).

De kustduinen

De Nederlandse kustduinen liggen momenteel merendeels langs een erosieve kust, voor een kleiner deel langs een stabiele of aangroeiende kust. Stranden en duinen lijden dus al langere tijd verlies, hetgeen kustverdediging met strandhoofden en de laatste decennia met kunstmatige zandsuppleties heeft gewettigd. Anders dan in natuurlijke situaties, waarbij duinen door verstuuving landinwaarts konden schuiven bij stijgende zeespiegels heeft men nu met een relatief statische en daarmee kwetsbare zone te maken. Een schatting wat aan duinverlies moet worden geïncasseerd bij een stijgende zeespiegel en het achterwege blijven van extra zandsuppleties geven Kwakernaak et al. (1998). Voor de komende halve eeuw wordt bij een middenscenario van 30cm stijging een verlies aan duinen van tussen de 50 en 100m verwacht, aannemende dat het huidige regime van zandsuppleties blijft bestaan. Zonder die suppleties bedragen de verliezen 100 – 225 m. Het stoppen van die suppletie is echter, gezien het belang ervan voor de kustverdediging, niet te

verwachten. Soms zal zelfs intensivering van kustverdediging optreden, mogelijk door zeewaartse verdediging met dwarsdammen of blokkendammen parallel aan de kust. Op andere plaatsen zal echter een verlies aan duin worden geaccepteerd. Afgezien van direct verlies aan duinbiotoop zijn er andere effecten zoals de daling van de grondwaterspiegel t.g.v. duinversmalling en het opschuiven van de zone met intensieve salt spray, zodat vegetatiezones zich ook zullen verplaatsen. Bij onvoldoende brede duinen kunnen bepaalde vegetatietypen om die reden niet meer gedijen. Van der Meulen (1990) noemt voorts het effect van een warmer en vochtiger klimaat dat de vastlegging van duinen bevordert. Daardoor verdwijnt de natuurlijke dynamiek van verstuingen, hetgeen minder biodiversiteit zal opleveren door het wegvallen van pionierstadia.

Grote rivieren met uiterwaarden

De Rijn- en Maasafvoeren zullen 's winters soms beduidend groter zijn (tot ca 30% in de meer extreme scenario's voor de maatgevende afvoer van de Maas; ruim 10 % voor de Rijn), 's zomers minder dan nu. Naar schatting zal het peil in de Rijntakken enkele decimeters tot een meter hoger komen te staan bij pieken. Hogere winterpeilen en lagere zomerpeilen geven een grotere dynamiek in de rivier, maar ook in de naastgelegen uiterwaarden die frequentere inundatie en sterkere uitdroging zullen ondergaan. Dit tezamen zal de variatie in habitat zeker niet bevorderen, ruigtevorming evenwel zal toenemen. Door een aantal auteurs wordt voorts verwacht dat de sedimentatie in uiterwaarden door hogere rivierafvoeren zal toenemen. De Werkgroep Klimaatverandering en Bodemdaling (1997) verwacht 20-40 % meer slibafzetting in uiterwaarden.

Bij lagere rivierafvoeren in de zomers en een hogere stand van de zeespiegel zal zoutindringing bij de uitmonding toenemen, hetgeen zout-brak-zoetgrenzen zal doen opschuiven. Hoge rivierafvoeren tezamen met hogere zeestanden en/of frequentere stormvloeden zullen in benedenlopen tot extra hoge waterpeilen leiden. Daarbij worden cijfers genoemd tot 80 cm bij Werkendam, afnemend tot 10 cm bij Rotterdam (Projectgroep Bruisend Water, 1997/1998)

De waterkwaliteit zal in perioden met verminderde afvoer minder gunstig zijn aangezien nutriënten en toxische stoffen hogere concentraties kennen. De vraag is hoe de mens reageert op gewijzigde condities: hogere rivierafvoeren zullen ofwel met dijkverhoging, uiterwaardverlaging of rivierbedverbreding worden bestreden. Die maatregelen zullen deels negatief, deels positief uitpakken voor de natuur. Negatief zal zijn dat veel bestaande habitats worden vernietigd, positief dat het totale areaal winterbed zal uitbreiden. Bij lage rivierstanden en verminderde scheepvaartcapaciteit zullen maatregelen als kanalisatie of regulatie of vaargeulverdieping worden overwogen. Beide doen afbreuk aan de natuurlijke variatie.

Rivierwater zal ook warmer worden tengevolge van hogere winter- en zomer-temperaturen.

De grote wateren

Nederland kent een flink oppervlak grote wateren, zoals de Friese Meren, het IJsselmeer en Randmeren, afgedamde zeearmen in ZW Nederland en het Lauwersmeer. Deze zijn grotendeels zoet, deels zout (Grevelingen). Deze watersystemen zullen in grote lijnen de volgende directe en indirecte effecten van de klimaatsveranderingen ondergaan:

- Temperatuurverhoging: m.n. de ondiepere meren, maar ook de diepere zullen hogere watertemperaturen ondergaan. Dichtvriezen wordt een zeldzamer fenomeen.
- Door hogere winterneerslag en mogelijk frequentere zomerdroogtes zullen de peilschommelingen toenemen. Het IJsselmeer heeft in het bijzonder nog te maken met hogere afvoercijfers van de IJssel en verminderde kans om uit te wateren op de Waddenzee en zal daarom hogere standen kennen (naar schatting 20 cm voor het winterpeil), hetgeen biotoopverlies in oevermilieus zal veroorzaken.
- Volgens Brock en Van Vierssen(1992) zal klimaatsverandering een hogere omzetting van voedingsstoffen tot gevolg hebben, hetgeen eutrofiërend werkt, met als mogelijk gevolg een frequentere algenbloei. Ook verwachten ze een noordwaartse verschuiving van thermofiele soorten. Door Mooij et al. (2003) is een uitputtende literatuurverkenning verricht. Zij komen tot de conclusie dat directe en indirecte mechanismen kunnen leiden tot afname in de ornithologische diversiteit, tot frequentere algenbloei, het vaker optreden van plaagsoorten of ziektes (botulisme), tot toename van zuidelijke soorten (uit het Ponto-Caspian district), tot een afname van soorten en gemeenschappen die afhankelijk zijn van helder water en tot grotere biomassa-productie. Ook zullen er grotere peilfluctuaties optreden.
- Maatregelen in het kader van de waterbeheersing zullen zeker tot andere, extra effecten leiden.
- Zonder twijfel zullen veranderingen in het klimaat ook andere beheersregimes stimuleren: vorming van watervoorraden om droge tijden in het groeiseizoen te overbruggen zullen vooral in de grote wateren worden gevonden. Berging van overtollig water uit polders zal ook bij voorkeur in de grotere wateren worden gezocht waardoor winterpeilen stijgen. Door de hogere temperaturen en de verlenging van het groeiseizoen stijgt de agrarische watervraag. Deze watervraag zal de zomerpeilen extra doen dalen. De resultante is een grotere peildynamiek, hetgeen de kwaliteit van oevermilieus aantast. Algemeen is er dus een grotere dynamiek te verwachten met meer storingsvegetaties ten nadele van de meer kwetsbare vegetaties passend bij stabielere milieus.

Moerassystemen in klei en veen

Moerassystemen vinden we in Nederland vooral in klei- en veengebieden (en deels op zand). Van belang is welke positie zij innemen: er zijn moerassen in het westelijk en deels noordelijk deel van laag Nederland, waar in het geval van zeespiegelrijzing te rekenen valt met extra zilte en brakke kwel (mede door een intensievere bemaling van die gebieden door de mens), er zijn gebieden die verhoogde kwel uit aanliggende zandgebieden zullen ondergaan tengevolge van een groter neerslagoverschot (bijv.

langs de Utrechtse Heuvelrug en in Noordwest Overijssel) en er zijn gebieden die vooral neerslagafhankelijk zijn (geïsoleerde veenmoerassen). Ook zijn er gebieden die mogelijk deel uit zullen maken van zones die voor wateropvang gaan dienen en daarmee extra hoge peilen zullen ervaren. Ruwweg kunnen de effecten dus variëren van meer zoutinvloed, hogere kwelcijfers, hogere waterstanden in de wintertijd en in drogere tijden lagere waterstanden. De dynamiek zal dus versterkt worden in vrij veel gebieden, hetgeen i.h.a. verruiging zal bevorderen. Huidige brakke moerassen in delen van Noord-Holland kunnen door hogere neerslagcijfers een verdere verzoeting ondergaan. Daarenboven zullen alle gebieden in een of andere vorm de effecten van hogere temperaturen en langere groeiseizoenen ervaren, factoren die de primaire productie, maar ook de omzettingssnelheid van organisch materiaal bevorderen: een extra oorzaak van verruiging.

Hoogveengebieden

Hoogveengebieden zijn er niet veel in Nederland (bijv. Peel; Fochteloerveen), maar er zijn veel regeneratieplannen die herstel beogen. Hoogveengebieden zijn in beginsel afhankelijk van flinke neerslagcijfers, een tamelijk gespreide neerslagverdeling over de seizoenen en een hoge luchtvochtigheid. Nederland lag klimatologisch gezien voor levend hoogveen aan de rand van het areaal. Door Schouten et al. (1992) wordt daarbij een kritische grens van dit soort hoogvenen gelegd bij een jaarsom van de neerslag van 700 mm en een gemiddelde jaartemperatuur van ca 11 graden Celsius. Zij stellen dat een significante opwarming, zoals aangenomen in de IPCC scenario's ernstig nadelige effecten kan hebben. Het is natuurlijk de vraag wat de al gesignaleerde en voor de komende eeuw voorspelde klimaatsverandering voor Nederland betekent. Enerzijds is er de inmiddels al significante toename in neerslag, die op sommige plaatsen al opvallende uitbreiding van Sphagnum-vegetaties in laag Nederland te zien geeft, en die mogelijk nog zal toenemen. Anderzijds zijn er de voorspelde extremere zomerdroogtes die meer geïsoleerde hoogvenen door uitdroging in de zomer zullen bedreigen. Veel zal afhangen van de lokale omstandigheden, die de (hydrologische) buffering van dit type gebieden tegen tijdelijk drogere en warmere omstandigheden bepalen.

De hogere keileem- en zandgronden in Pleistoceen Nederland

De hogere Pleistocene gronden in Nederland met daarin bossen, heides, zandverstuivingen zullen vooral te maken krijgen met de directe effecten van het veranderend klimaat: hogere jaar- en seizoenstemperaturen, hogere neerslagcijfers, m.n. in de winter en regelmatig warme en droge zomers. De effecten op de ecosystemen zullen vooral liggen in de primaire productie. Deze wordt groter door meer vocht, een langer groeiseizoen en gemiddeld hogere temperaturen, en een hogere omzettingssnelheid van organisch materiaal. Dat zal waarschijnlijk leiden tot een ander soortenspectrum. Langduriger warme en droge zomerperioden zullen verdroging en de kwetsbaarheid voor bos- en heidebranden vergroten.

De lagere delen van Hoog-Nederland, m.n. vennen, kleinere moerassen, beekdalen en beken

Deze gebieden hebben normaliter hoge grondwaterstanden, worden frequent geïnundeerd of bestaan uit beken. De afhankelijkheid van wateraanvoer door

neerslag, door kwel of vanuit beken is van groot belang. De voorspelde klimaatsveranderingen zullen de volgende effecten hebben op beek(dal)systemen. Van Walsum c.s. (2002) modelleerden de verwachte hydrologisch-ecologische effecten voor de Beerze-Reusel (NBr). De afvoer van deze beek zal 50% stijgen bij een 17% grotere winterneerslag. Het aandeel kwel in de lagere terreindelen neemt aanzienlijk toe door een groter neerslagoverschot: in het Beerze-Reuselgebied neemt de oppervlakte door kwel beïnvloede gronden met een derde toe. De beken zelf ondervinden door hogere piekafvoeren ecologisch minder gunstige condities. Evenzeer doen droge perioden zich gelden: m.n. bovenlopen zullen vaker droogvallen, hetgeen aquatische gemeenschappen sterk benadelen zal. Directe effecten van een veranderd klimaat laten zich voorspellen in aquatische en terrestrische milieus: bepaalde soorten(groepen) als platwormen, watermijten, steenvliegen, libellen, waterkevers en waterwantsen zullen toenemen, andere als vedermuggen en de weinig borsteldragende wormen zullen afnemen. Algemeen zal de biodiversiteit in deze milieus toenemen. De beekdalgraslanden zullen mogelijk meer soorten uit het Oenanthe-Brometum te zien geven en mogelijk een vermindering van zeggesoorten

Het Krijt- en Lössgebied van Zuid-Limburg

In het algemeen zullen de effecten vergelijkbaar zijn met die van de andere hoge gronden in Nederland (zie aldaar). Indien de totaalneerslag sterk toeneemt, vooral in extremere neerslaghoeveelheden, dan is het gevolg dat de oppervlakkige afvoer sterk toeneemt, met als resultaat dat de beken en riviertjes vaker met extreme waterstanden en stroomsnelheden geconfronteerd worden. Daarnaast heeft een sterkere oppervlakkige afstroming ook hellingerosie tot gevolg, m.n. in akkerland, hetgeen lagere delen en beken met extra sedimentaanvoer belast. In het algemeen neemt de dynamiek dus toe.

De urbane gebieden

Stedelijke gebieden nemen soms forse oppervlaktes in en zijn ecologisch belangrijk voor veel organismen die aan stadsmilieus zijn gebonden (bijv. muurvegetaties) of daar in ieder geval gedijen (cultuurvolgers). Stadsmilieus worden ook door klimaatsveranderingen beïnvloed, ofwel direct ofwel door aanpassingen door de mens.

De belangrijkste effecten kunnen als volgt worden aangegeven:

Stedelijke milieus zijn i.h.a. al wat warmer dan omliggend platteland; door de algemene klimaatsverandering zal de temperatuur verder stijgen. Zeker in droge, hete zomers zullen temperaturen er sterker kunnen oplopen. Van belang is voorts dat grote steden al een relatief grote neerslag kennen; ook hier zullen de cijfers nog verder oplopen. Het afvoeren van water bij toenemende neerslag, en zeker bij extreme hoeveelheden, is in veel steden nu al een probleem. Het effect op natuur is sterk afhankelijk van welke maatregelen worden genomen: in vergelijking tot het vergroten van de afvoercapaciteit via de riolering of tot ondergrondse berging, biedt het inrichten van parken en groenstroken voor de wateropvang meer perspectief voor stadsnatuur. Nieuwe stadsuitbreidingen kunnen daar naar ontworpen worden.

De wisselvalligheid van extreem nat en extreem droog zal echter tot ecologisch weinig optimale situaties leiden.

In het kort:

- De effecten van klimaatsverandering en daaraan gerelateerd veranderingen in de waterhuishouding en zeespiegelrijzing dienen gedifferentieerd naar het gebied en type natuur. De effecten kunnen worden onderscheiden in directe effecten op ecosystemen binnen Nederland of daarbuiten, naast indirecte effecten door primaire veranderingen in abiotische condities (bodem en water) en indirecte effecten omdat de samenleving planologische en/of technische aanpassingen aanbrengt als reactie op klimaatwijzigingen of waterhuishouding/zeespiegelrijzing. Naar schatting brengen die zowel extra bedreigingen als kansen.
- De indirecte en antropogeen toegevoegde effecten zijn naar onze schatting het sterkst in laag Nederland: de kuststreek, de rivieren en uiterwaarden, de moerassen en de beekdalen. Afhankelijk van de situatie zien we biotoopverlies (duinen, kwelders, zandplaten) of een situatie met een sterk toenemende dynamiek (beken, rivieren, grote wateren, heide). In een aantal situaties lijkt er ook biotoopverruiming en/of kwaliteitsverbetering te zullen optreden (bijv. langs beekdalen t.g.v. toegenomen kwel).

3.4 Mogelijke effecten op soorten en natuurkwaliteit; wisselwerking met de ruimtelijke structuur van natuurgebieden

Achtergrond

De doelen van het natuurbeleid zijn verwoord in termen van het duurzaam behoud van populaties van soorten. Daarom gaan wij vooral in op risico's voor de populatie. De (meta)populatie manifesteert zich, afhankelijk van de soort, op lokale, regionale en soms op nationale schaal. Daarnaast onderscheiden we de verzameling van (meta)populaties die samen de verspreiding binnen het areaal tot stand brengen.

We moeten constateren dat uit de huidige kennis geen systematisch beeld is te halen van welke soorten verhoogde risico's lopen. Effecten van temperatuurverhoging op gedrag en timing zijn zowel bij koudbloedige als bij warmbloedige dieren en bij planten vastgesteld. De invloed die deze effecten hebben op de interactie tussen soorten en daarmee op de structuur van de levensgemeenschap is zeer onzeker en complex. Aan die onzekerheid kunnen we toevoegen mogelijke fysiologische en genetische adaptatie, veranderingen in de stoffenkringloop in ecosystemen, en indirecte effecten van een ander landgebruik. We schrijven dit hoofdstuk daarom in termen van risico's, en nemen op grond van de nu al vastgestelde effecten van klimaatverandering (zie hierboven) aan dat soorten behorend tot alle groepen en ecosystemen met klimaatverandering te maken krijgen. Op welke wijze precies en hoe sterk is nog onzeker.

We onderscheiden twee hoofdfactoren in de klimaatverandering: temperatuurverhoging en toename van weersextremen. We nemen aan dat de eerste factor leidt tot verschuivende arealen, en de tweede tot sterkere demografische fluctuaties op

regionale schaal (Opdam en Wascher 2003). We plaatsen deze veranderingen in de context van het huidige Nederlandse c.q. Noordwest-Europese landschap en de daarin herkenbare ruimtelijke verdeling van natuurgebieden. Voor veel soorten van (half)natuurlijke ecosystemen is dat een versnipperde wereld. Het voortbestaan van soorten is afhankelijk van voldoende ruimtelijke samenhang van het netwerk van ecosystemen. Het begrip ruimtelijke samenhang (Opdam et al. 2003) staat voor de combinatie van vier kenmerken van het netwerk: de totale oppervlakte aan leefgebied, de kwaliteit van leefgebied, de ruimtelijke concentratie van leefgebied en de weerstand van het tussenliggende landschap (de matrix). Als theoretisch model van de populatie gebruiken we de metapopulatie, omdat veel populaties in dergelijke netwerken karakteristieken van metapopulaties vertonen, en dit concept uitstekend geschikt is om de interactie tussen klimaatverandering en versnippering te begrijpen (Opdam en Wascher 2003).

Arealen worden opgevat als ruimtelijke constellaties van habitatnetwerken (figuur 8), met daarin dynamische metapopulaties. Binnen het areaal varieert de ruimtelijke samenhang. Naarmate de ruimtelijke samenhang afneemt zien we vaak de volgende verschijnselen (Opdam en Wascher 2003):

- afname van de dichtheid (individuen of reproductieve eenheden per oppervlakte-eenheid) in het leefgebied,
- toename van (leef)gebied waar de soort (tijdelijk) ontbreekt,
- afgenomen veerkracht: sterkere doorwerking van grootschalige storingen,
- afgenomen veerkracht: langere herstelperiode na storingen,
- verbreken van functionele relaties tussen soorten, zoals predatie en bestuiving.
-

Deze relatie tussen metapopulatie-dynamiek en ruimtelijke samenhang is niet lineair, maar vertoont een drempelwaarde. Beneden die drempel is voortbestaan van de metapopulatie niet mogelijk. Boven die drempel is voortbestaan mogelijk, maar hoe dicht bij de drempel, hoe groter de kans op uitsterven door een toevallige samenloop van omstandigheden. Door klimaatverandering fluctuerende metapopulaties komen dus tijdelijk extra dicht bij de kritische grens.

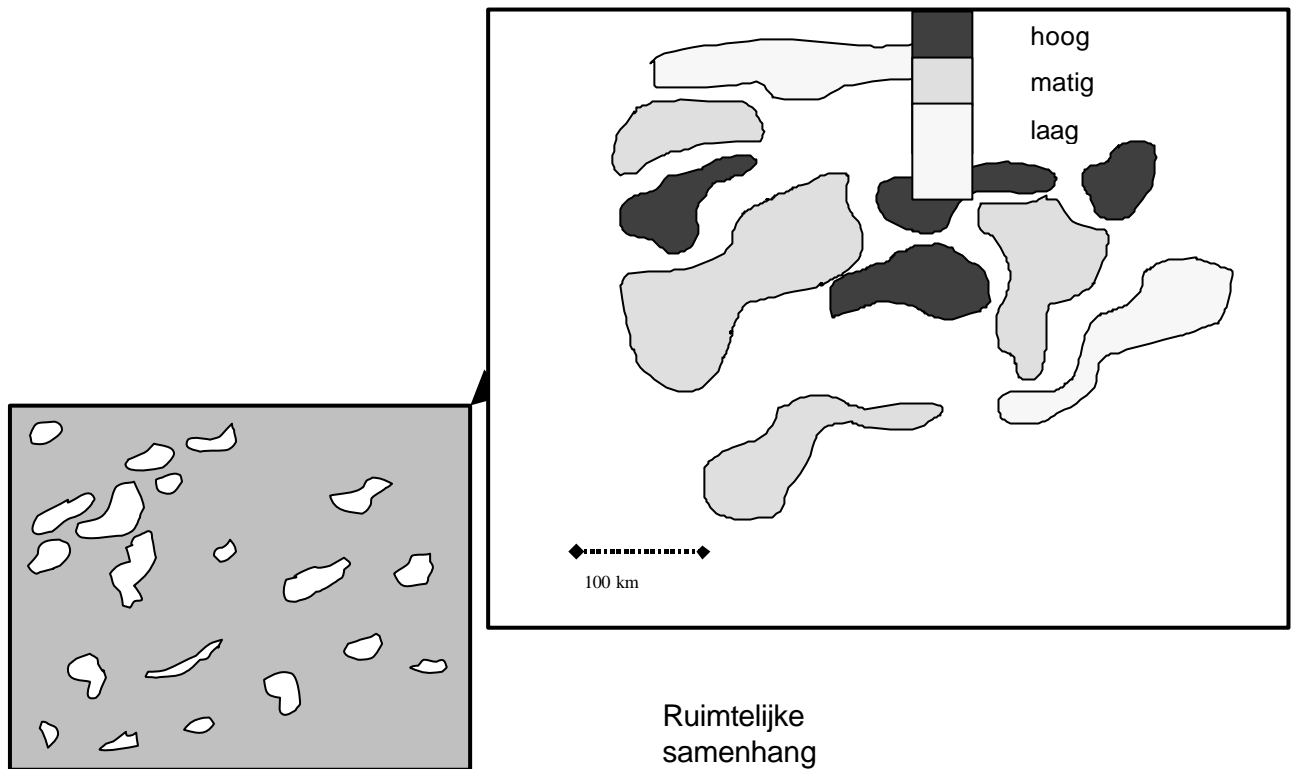


Figure 7 Een areaal van een soort is op te vatten als een stelsel van netwerken van ecosystemen met variabele ruimtelijke samenhang.

Effecten op het voorkomen van soorten

Verschuivingen van arealen zijn in feite de resultante van twee processen: enerzijds nieuwe vestigingen van metapopulaties in landschappen die door temperatuurverhoging geschikt worden, en anderzijds uitsterven van metapopulaties aan die zijde van het areaal waar het klimaat ongeschikt wordt. De snelheid waarmee uitbreiding aan de voorzijde en inkrimping aan de achterzijde verlopen, worden mede bepaald door de ruimtelijke samenhang. Hoe sterker de ruimtelijke samenhang, hoe sneller de uitbreiding en hoe trager het uitsterven kunnen verlopen, en omgekeerd. Tussen het ontstaan van nieuw habitat en de bezetting ervan kan een aanzienlijk tijdsverschil bestaan (Nagelkerke et al. 2002).

Dit soort verschuivingen zijn met behulp van modellen te verkennen (Sykes en Prentice 1995, Malanson en Cairns 1997, Lindner et al. 1997, Rupp et al. 2000, Currie 2001, Schwartz et al. 2001). Een voor Nederland relevant voorbeeld is het werk van Bakkenes et al. (2002), gebaseerd op een tweetal modellen: IMAGE2, een klimaatmodel, en EUROMOVE, een vegetatie-respons-model. Bakkenes et al. hebben een inschatting gemaakt van te verwachten veranderingen in de vegetatiesamenstelling voor de periode tot 2050. Zij becijferen voor Pan-Europa dat voor 1400 bekende plantensoorten een gemiddelde verschuiving in gridcellen (0.5 x 0.5 breedte- en lengtegraden) van ca 32 % (verdwijnen van soorten per cel) zal optreden. Het gebied waar 32 % of meer van de soorten zal verdwijnen zal ongeveer 44 % van het Europese oppervlak beslaan. Meer specifiek voor de laaggelegen

kustgebieden (Benelux, Duitsland, Baltische staten), waartoe Nederland behoort, verwacht men een gematigd effect: 70 – 80 % van het soortenspectrum zal blijven voortbestaan.

Deze modellen missen meestal een expliciet ruimtelijke ondergrond, die rekening houdt met de heterogeniteit van het landschap en de mate waarin het leefgebied is versnipperd. Ze geven daarom een onderschatting van de mate waarin soorten het veranderende klimaat kunnen volgen. Zeker is wel dat wanneer soorten worden gedwongen tot geografische verschuivingen, deze qua snelheid van een totaal andere orde zijn dan de verschuivingen die tijdens de laatste ijstijden zijn opgetreden: dat zou er wel eens toe kunnen leiden dat alleen mobiele en opportunistische soorten kunnen reageren (Malcolm et al. 2002).

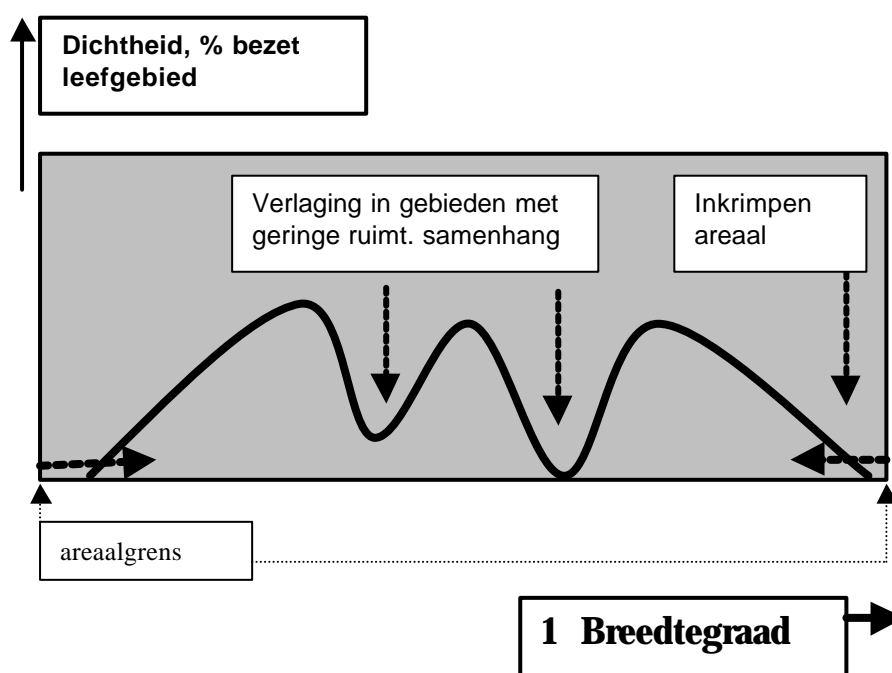


Figure 8 Dwarsdoorsnede door een areaal. Horizontaal is de breedtegraad uitgezet. Verticaal staat uitgezet de dichtheid van een soort: deze neemt af naar de randen van het areaal. Delen van het areaal met weinig goed leefgebied, of sterk versnipperd leefgebied, kennen eveneens een relatief lage dichtheid. Grootschalige weersextremen als gevolg van klimaatverandering zullen harder toeslaan aan de randen van het areaal en in de versnipperde delen. Daardoor zal het areaal (tijdelijk) krimpen, en grotere gaten gaan vertonen. Wanneer de weersextremen te vaak optreden in verhouding tot het herstelvermogen van de populaties, zal het areaal structureel kleiner worden en verbrokkelen. Uit Opdam en Wascher (2004), gebaseerd op Maurer en Brown (1989), Brown et al. (1995) Ives en Klopfer (1997), Mehlman (1997), Keitt et al. (2001), Rodriguez (2002).

Bij dit alles veronderstellen we dat de mobiliteit van soorten bij klimaatsverandering niet verandert. Het is twijfelachtig of dat altijd waar is. Het zou best kunnen zijn dat vlinders grotere afstanden op dispersie afleggen in perioden van droog zonnig weer dan wanneer depressies de dienst uitmaken. Thomas et al. (2001) wijzen erop dat sommige soorten insecten aan noordwaarts verschuivende areaalgrenzen een groter

aandeel dispersie over lange afstand vertonen, hetgeen dus hun vermogen om zich aan klimaatverandering aan te passen zou vergroten.

Een toename van weersextremen veroorzaakt sterkere fluctuaties in aantallen van een populatie. In kleine en versnipperde populaties worden de effecten van grootschalige storingen versterkt (Foppen et al. 1999, McCarthy en Lindenmayer 2000, Opdam en Wascher 2003), met als resultaat sterkere fluctuaties en dientengevolge een grotere kans op lokaal en regionaal uitsterven. Op areaalniveau vertaalt zich dat in verbrokkeling van het areaal en inkrimping aan de randen, met name bij een gebrek aan voldoende habitat (figuur 9).

Aanpak

De opgave is een uitspraak te doen over risico's van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur en het Nederlandse natuurbeleid. Het begrijpen van de effecten van klimaatverandering op soorten vereist eigenlijk dat we de interactie begrijpen van de effecten op metapopulatie-niveau en de resultante van al die effecten op areaalniveau. Dat is echter een vrijwel onontgonnen gebied van de wetenschap, en ontwikkeling ervan vereist een koppeling tussen metapopulatie-ecologie en biogeografie. Er bestaan nog geen modellen waarmee deze interactie kan worden bestudeerd, en we moeten ons dus tevreden stellen met kwalitatieve uitspraken.

Uitgangspunt is het volgende rijtje mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor (meta)populaties en arealen.

- 1) Het leefgebied van de soort verdwijnt overal in Nederland. Dat is een simpele eendimensionale oorzaak-effectketen: de soort verdwijnt, wellicht met een flinke vertragingstijd.
- 2) Het netwerk aan leefgebieden verandert (uitbreiding of inkrimping) onder invloed van aanpassingen in landschap en grondgebruik die de mens uitvoert. Er zou bijvoorbeeld meer dynamisch moeras kunnen ontstaan als er gebieden voor wateropvang worden gereserveerd, met een sterkere ruimtelijke samenhang in het netwerk van moerassen als gevolg.
- 3) Een deel van het huidige habitat raakt door klimaatverandering ongeschikt, bijvoorbeeld door veranderingen in microklimaat, of door indirecte oorzaken via de stoffenkringloop die de vegetatiestructuur wijzigen. Daardoor verzwakt het netwerk van leefgebieden, waardoor in feite een extra versnippering optreedt. De soort kan nog wel blijven voortbestaan in habitat dat geschikt blijft, maar alleen als de versnippering daarvan niet te ver is doorgeschoten. We gaan er van uit dat koudbloedige soorten gevoeliger zijn voor microklimaat, en dus voor dit effect. Soorten die aan een noordelijk klimaat zijn aangepast zouden in Nederland dit patroon kunnen vertonen.
- 4) Het omgekeerde kan ook gebeuren: het microklimaat in tot op heden ongeschikte vegetaties wordt zoveel beter dat het habitatnetwerk wordt versterkt (de versnippering neemt af). Koudbloedige, warmteminnende soorten zouden in Nederland dit patroon kunnen vertonen. Thomas et al. (1999) verkennen met modelonderzoek dit aspect voor vlinders, sprinkhanen en hagedissen in Groot-Brittannië.

- 5) Een achteruitgang van de kwaliteit van habitat kan ook gebeuren door ontregeling van de timing van interspecifieke relaties. We veronderstellen dat soorten die van een enkele relatie met een andere soort afhankelijk zijn het meest gevoelig zijn voor verschuivingen in de timing.
- 6) Het habitat blijft gemiddeld even geschikt, maar er komen vaker extreme situaties voor die tot grote sterfte of tot het grootschalig mislukken van de voortplanting leiden. Voorbeelden: overstromingen in mei of juni, extreem natte winters.

Voortbouwend op deze typen effecten gaan we nu volgens twee lijnen te werk. De eerste lijn betreft het gebiedenbeleid en leidt tot uitspraken op het niveau van trends in de natuurkwaliteit van ecosystemen. De gedachte erachter is dat wanneer verdwijnende soorten worden vervangen door verschijnende soorten, er weliswaar in het soortenbeleid een bijstelling van natuurdoelen zou moeten plaatsvinden, maar niet op het niveau van het gebiedenbeleid: de natuurkwaliteit blijft immers op peil. Andersom geredeneerd is dan de opgave van het natuurbeleid: de EHS en zo nodig het landschap daarbuiten zodanig inrichten dat de natuur zo kan reageren op klimaatverandering dat de natuurkwaliteit in stand blijft, ook al verdwijnen er wat doelsoorten en komen er nieuwe.

In de tweede lijn gaan we uit van een soortenlijst zoals die voortkomt uit de EU-regelgeving en de rode lijsten. Op het niveau van soorten zijn uitspraken per definitie gedetailleerder, en daarom door grote onzekerheid omgeven.

Effecten op de natuurkwaliteit in ecosystemen

Risico's en kansen voor ecosystemen kunnen vanuit heel verschillende factoren ontstaan. Tabel 3 geeft een semi-kwantitatieve expert-inschatting (mede gebaseerd op Hossell et al. 2000).

In de tabel zijn 5 klassen onderscheiden, die hieronder naar oplopend risico worden omschreven. In de klassen zijn de kansen en bedreigingen gewogen gecombineerd. Dat betekent wel dat als de kansen niet benut worden, een ecosysteem naar een hogere risicoklasse schuift.

- 1) **Laag risico.** Ecosystemen die in grote samenhangende oppervlaktes voorkomen en die niet zeer sterk in oppervlakte of kwaliteit veranderen, worden geacht geen grote effecten van klimaatverandering te ondergaan. De aanname is dat soorten in grote populaties voorkomen die een stootje kunnen hebben, en dat de ruimtelijke samenhang voldoende is voor geografische verschuiving.
Agrarische ecosystemen, Noordzee, grote zoete wateren, aquatische rivierecosystemen.
- 2) **Laag risico.** Ecosystemen die evenmin sterk in oppervlakte of kwaliteit zullen veranderen, maar meer ruimtelijk verspreid en in kleinere oppervlaktes voorkomen, echter op dit moment geen grote effecten van versnippering ondervinden, omdat soorten mobiel zijn. **Stedelijke ecosystemen, veenweidegebieden.**
- 3) **Matig risico.** Ecosystemen die weliswaar met temperatuurverhoging en weersextremen te maken krijgen, maar ruimtelijk goed verbonden zijn en daarom beperkte effecten van versnippering ondervinden.

Duingebied, kwelders, jonge duinen, estuaria, kleinere zoete wateren en beken, droge bossen.

- 4) **Hoog risico.** Ecosystemen die ruimtelijk sterk versnipperd zijn, met veel soorten die weinig mobiel zijn, en die weliswaar met temperatuurverhoging te maken krijgen, maar minder sterk met weersextremen.

Moerasesystemen, natte boscsystemen.

- 5) **Zeer hoog risico.** Ecosystemen die ruimtelijk sterk versnipperd zijn, met veel soorten die weinig mobiel zijn, en die zowel met temperatuurverhoging als met weersextremen te maken krijgen.

Hoogvenen, terrestrische rivierecosystemen, voedselrijke natte graslanden, duingraslanden, kalkgraslanden en schrale graslanden op zandgrond, natte en droge heide, vennen.

Table 3 Inschatting van risico's van klimaatverandering voor de natuurkwaliteit van ecosystemen. Een risico is gedefinieerd als een afname in de soortenrijkdom, doordat soorten verdwijnen en niet door andere worden vervangen. In vier klassen: + = levert kansen op, 0 = neutraal, ! draagt matig bij aan risico, !! draagt sterk bij aan risico. Bij de weging compenseert een + een !, een ! score voor versnippering in combinatie met ! voor gevoeligheid temperatuur of sterke fluctuaties weegt relatief zwaar.

ecosysteem	NL grens geografische verspreiding	Afname kwaliteit of oppervlakte	Versnippering	Sterke fluctuaties	Gevoeligheid temperatuur	Weging (1-5:oplopend effect)
Agrarische systemen	0	+	0	0	!	1
Zee/ grote zoete wateren	0	0	0	0	!	1
Aquatische riviersystemen	0	0	+	!	!	1
Stedelijke ecosystemen	0	+	!	!	!	2
Kwelders en estuaria	0	!!	0	0	!	3
Duinen	!	0	0	!	!!	3
Veenweidegebieden	!	+	0	!!	!	2
Kleine zoete wateren	0	+	!	!	!!	3
Droge bossen	!	0	!	0	!	3
Natte bossen	0	0	!!	!!	!	4
Hoogvenen	!!	!	!!	!	!!	5
Moerassen	!	+	!!	!!	!	4
Terrestrische riviersystemen	0	!	!!	!!	!	5
Voedselarme natte grasland.	0	0	!!	!!	!	5
Natte en droge heide	!	0	!!	!!	!!	5
Kalkgras-landen	!!	!	!!	!	!!	5

Risico's voor soortenbeleid

Omdat effecten van klimaatverandering bij vrijwel alle taxonomische groepen zijn vastgesteld, gaan we ervan uit dat uit alle taxonomische groepen soorten zullen reageren door een verschuiving van het areaal. Of deze verschuiving leidt tot risico's voor de beleidsdoelstellingen hangt sterk af van de capaciteit die de soort heeft om ruimtelijk te kunnen reageren. De onderstaande risico-beoordeling is daarom gebaseerd op een combinatie van de gevoeligheid voor versnippering, en de risico's die hierboven voor de ecosystemen (waarin de soort leeft) zijn aangegeven (zie ook de eerder gemelde 6 risicofactoren op p.33). De gevoeligheid voor versnippering is gebaseerd op de ecoprofielen voor ruimtelijke samenhang in Broekmeijer & Steingrover (2001). We onderscheiden de volgende risicogroepen, naar afnemend risico:

- 1) Het habitat van de soort verdwijnt in Nederland, en daarmee verdwijnt de soort per definitie ook. Met de huidige kennis geen voorbeelden aan te wijzen.
- 2) Soort krijgt te maken met een ernstige ontregeling van obligate relaties in de levensgemeenschap (Harrington et al. 1999), waardoor de soort een groot risico loopt te verdwijnen uit onze klimaatregio. Voorbeelden: mogelijk lange afstandstreckers als bonte vliegenvanger in loofbos, wellicht ook duinpieper, tapuit, nachtzwaluw.
- 3) Soort heeft een beperkte dispersiecapaciteit, terwijl het leefgebied zeer versnipperd is. Daardoor heeft de soort een geringe veerkracht bij klimaatverandering, en loopt een groot risico bij temperatuurverhoging, weersextremen, of de combinatie van beiden. Voorbeelden: gladde slang, adder, heikikker, geelbuikvuurpad, grote vuurvlinder, pimperlblauwtje, veenbesblauwtje.
- 4) Soort heeft een beperkte dispersiecapaciteit in relatie tot de mate waarin het leefgebied versnipperd is. Door klimaatverandering ontstaat echter meer leefgebied en neemt de ruimtelijke samenhang van het netwerk toe. Daardoor neemt het risico van klimaatverandering af in vergelijking tot de huidige situatie en in vergelijking tot groep 3. Voorbeelden: nachtzwaluw, zandhagedis, levendbarende hagedis, heideblauwtje,
- 5) Soort heeft een matige dispersiecapaciteit, het habitatnetwerk is in verhouding sterk versnipperd en krijgt te maken met sterke weersextremen. Bovendien ligt Nederland aan de rand van het areaal. De veerkracht is weliswaar groter dan bij 2, maar de door de sterke aantalfluctuaties loopt de soort een hoog risico permanent in ons land uit te sterven. Voorbeelden: duinpieper, tapuit, korhoen, boomkikker, kamsalamander.
- 6) Soort heeft een matige dispersiecapaciteit in verhouding tot de samenhang van het habitatnetwerk, en krijgt te maken met sterke weersextremen. De veerkracht is weliswaar groter dan bij 2, maar de door de sterke aantalfluctuaties loopt de soort een hoog risico regionaal uit te sterven. Voorbeelden: rietzanger, snor, roerdomp, noordse woelmuis.
- 7) Soort heeft een matige dispersiecapaciteit, en het habitatnetwerk is (ten dele) sterk versnipperd, maar krijgt niet met sterke weersextremen te maken. Nederland ligt midden in het areaal. Het risico bij klimaatverandering beperkt zich tot verdwijnen in de delen van het huidige verspreidingsgebied met een sterke versnippering. Voorbeelden: hazelmuis, eekhoorn, paapje, roodborsttapuit.

- 8) De soort heeft een grote dispersiecapaciteit, maar het habitat in Noordwest-Europa is relatief sterk versnipperd en Nederland ligt aan de rand van het verspreidingsgebied. De soort loopt duidelijk verhoogd risico uit Nederland te verdwijnen. Voorbeelden: wintertaling, goudplevier, kraanvogel, velduil, middelste bonte specht, buidelmees, sijs, barmsijs, keep.

In het kort:

- *Het effect van klimaatverandering op een soort is de resultante van de mate waarin het ecosysteem waarin de soort voorkomt verandert, van de reactie van de soort op klimaatverandering, en van de ruimte die de soort heeft om te reageren. Omdat we nog niet op soortniveau kunnen voorspellen hoe de reactie zal verlopen, is een risicobenadering het hoogst haalbare. Daarbij speelt de kwetsbaarheid van het ecosysteem voor klimaatverandering, en de actuele versnippering van het leefgebied een grote rol.*
- *Weersextremen in combinatie met versnippering zullen leiden tot inkrimpen en verbrokkelen van arealen, het meest in de sterkst versnipperde delen en aan de randen.*
- *Opwarming zal leiden tot verdwijnen van soorten met een noordelijke of continentale verspreiding, en verschijnen van soorten met een zuidelijke tot zuidoostelijke verspreiding. Dat laatste gebeurt echter alleen indien het netwerk aan leefgebieden in het landschap voor die soorten voldoende ruimtelijke samenhang vertoont, zodat immigratie en vestiging in het nieuwe areaalzone mogelijk zijn.*
- *De ecosystemen waarin de natuurkwaliteit het meeste risico loopt zijn: moerasesystemen, natte boscsystemen, hoogvenen, terrestrische rivierecosystemen, voedselrijke natte graslanden, duingraslanden, kalkgraslanden en schrale graslanden op zandgrond, natte en droge heide, vennen.*

4 Consequenties voor het natuurbeleid

4.1 Herijking doelen en strategieën

Klimaatverandering in onze versnipperde wereld zet het doelgerichte natuurbeleid voor een belangrijk deel op losse schroeven. Nederland is gewend geraakt aan natuurdoeltypen, doelsoorten, habitatrictlijngebieden en leefgebieden van beschermde soorten. We gaan er vaak van uit dat als we de milieucondities scheppen, dat we dan ook het doel halen dat we ons gesteld hebben. De uitvoering van het natuurbeleid door provincies en private beheerders is hierop gebaseerd: het rijk meet de prestatie in soorten. Populaties die er in 1982 waren moeten worden beschermd of hersteld tot duurzaam niveau.

Deze fixatie op vrij rigide doelen is onder een regiem van klimaatverandering niet houdbaar. De toekomst van bepaalde populaties en soorten op locaties is onzeker, zelfs op nationaal niveau zijn we niet zeker van het behoud van soorten. Soorten zullen ons land binnenkomen en ons land verlaten. Fluctuaties in aantallen en verspreiding zullen toenemen, zodat lokaal soorten vaker verdwijnen en verschijnen. De onzekerheid op soortniveau is zo groot dat we in geen enkel ecosysteemtype zeker zijn dat investeringen voor de beoogde soorten rendabel zullen zijn. Nederland wordt doorgangslaan voor soorten. Soorten die nu habitatrictlijngebieden definiëren zullen voor een deel verdwijnen, en nieuwe soorten zullen verschijnen, maar misschien niet precies in de aangewezen gebieden.

Hoe moeten we daarmee omgaan? We grijpen hierbij terug op eerdere hoofdstukken en de daar gegeven inzichten.

- Door nog sterker investeringen te richten op robuuste ruimtelijke structuren: *Nederland doorgangslaan voor soorten*.
- Door deze structuren ruimtelijk af te stemmen op die in aangrenzende landen: *internationalisering* van het natuurbeleid versterken.
- Door investeringen te concentreren op die ecosystemen met de grootste risico's ("safety first"): *risicostrategie*
- Door middelen vooral te concentreren in ecosystemen waarvoor Nederland grote internationale verantwoordelijkheid draagt, of bij uitstek doorgangslaan is: *internationale afspraken* over gedifferentieerde doelen.
- Door doelen te herijken (eveneens in internationaal verband): bevorder dat het Europees natuurbeleid een omslag maakt van beschermingsgericht naar *ontwikkelingsgericht*.
- Door *kansen* te benutten die voortkomen uit adaptatie van het landschap en grondgebruik: meekoppelen met waterbeheer in moerassen van de natte as, beekdalen in Oost Nederland, veenweidegebieden.

4.2 EHS geeft de natuur veerkracht

De EHS is als ruimtelijke strategie met robuuste verbonden natuurgebieden uitermate geschikt om de risico's van klimaatverandering te verminderen. Dat werkt het beste bij voldoende ruimtelijke samenhang: de natuur krijgt daarmee meer veerkracht om grootschalige storingen aan te kunnen. Een herijking van het natuurbeleid met als doel de risico's van klimaatverandering voor de biodiversiteit te minimaliseren zou daarom effectief kunnen voortbouwen op de EHS, en de veerkracht versterken met de volgende strategieën:

- Strategische versterking van grote complexen van die ecosystemen die een groot risico lopen, door middel van vergroten, verbeteren, verdichten of verbinden met lokale verbindingszones
- Door deze complexen in te bedden in multifunctionele agrarische landschappen met daarin een royale plaats voor natuur en landschapsdoelen (concentratiegebieden voor agrarisch natuurbeheer)
- Door de genoemde grote complexen te verbinden met robuuste verbindingen. Robuuste verbindingen hebben nu al als doelstelling grootschalige risico's zoals klimaatverandering het hoofd te bieden (Pelk et al. 2000). Niet alle nu geplande robuuste verbindingszones dragen daar echter sterk aan bij, en een nadere prioritering in het licht van het beheersen van risico's van klimaatverandering ligt voor de hand.
- Het interne beheer van grote natuurgebieden afstemmen op het verbeteren van de interne samenhang van risico-ecosystemen (bijvoorbeeld het versterken van de verbinding van heidevelden op de Veluwe door het openen van bossen).
- Bij het beheer van natuurgebieden te maximaliseren op ruimtelijke heterogeniteit, waardoor soorten beter weersfluctuaties kunnen opvangen (Den Boer 1986).

Natuur kan bijdragen aan de reductie van broeikasgassen

Natuurbeleid kan bijdragen aan de vermindering van uitstoot van broeikasgassen of aan vastlegging van koolstof. Welke gunstige, bron- of effectgerichte effecten van de huidige of eventueel nog te ontwikkelen natuur kunnen worden verwacht in de context van het veranderend klimaat? We gaan hier in op de natuur in Nederland zelf: natuurbehoud en herstel elders binnen Europa of elders op de wereld kan zeker relatief effectief en efficiënt bijdragen aan de reductie van uitstoot of het vastleggen van broeikasgassen, maar dat valt buiten het kader van deze rapportage.

Klijn c.s. (1999) schatten op basis van literatuur de bijdrage van de natuur in de vastlegging van CO₂ (carbon sinks) in uiteenlopende gebieden, terwijl Wolf & Jansen (1991) en Kuikman et al. (2003) meer specifiek ingaan op de bijdrage van vastlegging van koolstof in de bodem bij veranderd landgebruik in het agrarische gebied of in bosbodems. Van den Born et al. (2002) gaan specifiek in op de veenweidegebieden onder uiteenlopende landgebruikscenario's. Over de verschillen in actuele en potentiële bijdragen van ecosystemtypen is nog niet zoveel te zeggen, zeker als ook de omvang en uitwerking van de emissie van andere broeikassen zoals lachgas(N₂O) en methaan(CH₄) erbij wordt betrokken, bijv. in nattere ecosystemtypen.

Beperkt tot CO₂-emissie en -vastlegging zijn de volgende conclusies te trekken:

- Vastlegging gebeurt bovengronds en ondergronds in biomassa (standing crop, wortelmassa) en in de bodem (organisch materiaal als veen en humus);
- De mate van koolstoffixatie is afhankelijk van bodemtype (i.v.m. bodemvruchtbaarheid), vegetatietype, ontwikkelingsstadium (vooral productief in jonge stadia) en de zgn. redox-situatie (natte, zuurstofarme, resp. droge, zuurstofrijke bodemcondities die de omzetting van organisch materiaal bepalen: natte condities remmen de omzetting en zorgen dus voor blijvende opslag);
- In een aantal ecosystemen, zoals bos, neemt de netto vastlegging na verloop van tijd af om een evenwichtssituatie te bereiken: jongere stadia leggen netto nog vast, oudere niet meer. In Nederland is ongeveer 50 % van de bossen tot de eerste categorie en 50 % tot de tweede categorie te rekenen;
- Voor een totaalinschatting van de positieve of negatieve bijdragen van de natuur in de koolstofhuishouding dient het oppervlakte van die natuur, maar ook het oppervlak van het landgebruik en de bijbehorende ontwateringstoestand (bijv. akkers, weidegrond, diep of ondiep ontwaterd) dat plaats kan maken voor een natuurbestemming te worden betrokken;
- De belangrijkste bijdrage valt te verwachten door veenweidegebieden uit productie te nemen, de ontwatering te stoppen en moerasbos te laten ontwikkelen. Hiermee stopt de relatief sterke emissie t.g.v. oxidatie van veen en wordt de vastlegging in biomassa en in natte bodems, waar organisch materiaal wordt opgeslagen optimaal bevorderd. Een nog hoger rendement is te verwachten bij energieteelt, aangezien die biomassa als vervanger kan dienen voor fossiele brandstof. Van den Born c.s. geven een totaalschatting van productie en/of vastlegging van CO₂, CH₄ en N₂O in veenweides bij verschillende scenario's. Een modern veenweidegebied (ontwaterd, bemest) zorgt voor een emissie van 9.6 ton CO₂ equivalent/ha/j tegen een vastlegging van 7.3 ton CO₂ equivalent / ha/j bij broekbosontwikkeling. Bij energieteelt is de vastlegging en besparing op energie zelfs te becijferen op 13.2 ton CO₂ equivalent/ha/j. Gaat men uit van 20.000 hectare veenweidegebied dan is een emissiereductie van 0.21-0.23 Miljoen ton CO₂ bereikbaar, ofwel slechts (!) 1 % van de taakstelling in CO₂ reductie voor Nederland.
- Omzetting van agrarisch grondgebruik in jonge bossen levert ook een netto bijdrage: die is echter vooral in jonge stadia groot. Omzetting van akkerland in (permanent) grasland levert ook een (geringe) bijdrage
- Gezien de uitstoot van CO₂ door industriële, huishoudelijke en verkeersbronnen en de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen als methaan en lachgas is zowel de uitstoot als vastlegging van de huidige natuurgebieden als potentiële natuurgebieden gering. Klijn et al. (1999) stellen dat zelfs draconische maatregelen (Nederland zoveel mogelijk bebossen en grote gebieden in lage delen van Nederland omzetten in moerasbos) een reductie van 6 - 8 % van de emissie kunnen bewerkstelligen.
- Het effect van de voorspelde klimaatsverandering, gepaard gaande met gemiddelde hogere temperaturen zal de omzetting van organische stof in de bodem kunnen versnellen en als zodanig bijdragen aan de CO₂ emissie vanuit de bodem.

In het kort

- *De gevolgen van klimaat vragen om een herijking van natuurdoelen in twee aspecten. Enerzijds ligt het voor de hand de doelen in internationaal perspectief af te wegen. Anderzijds zou de aandacht meer gericht moeten zijn op het creëren van voorwaarden die soorten in staat stellen op het juiste schaalniveau te reageren, en minder op het lokaal veiligstellen van die soorten (zoals nu het geval is).*
- *De EHS is als robuuste ruimtelijke strategie uitermate geschikt om de natuur die veerkracht te bieden om te kunnen reageren op grootschalige storingen. Daartoe dient de ruimtelijke samenhang van de EHS te worden versterkt. Daarbij zou het accent dienen te liggen op het versterken van grote complexen van die ecosystemen die een groot risico lopen, met behulp van een mix van vergroten, verbeteren, verdichten of verbinden met lokale verbindingzones. Een extra versterking wordt bereikt door deze complexen in te bedden in multifunctionele agrarische landschappen met een concentratie van agrarisch natuurbeheer. Een sleutelrol daarbij spelen de Robuuste Verbindingen.*
- *Het beheer van natuurgebieden kan bijdragen door te sturen op meer interne samenhang en meer ruimtelijke heterogeniteit.*
- *Natuurontwikkeling kan een relatief kleine bijdrage leveren aan het vastleggen van koolstof. Het meeste rendement is te verwachten in veenweidegebieden, waar momenteel een relatief sterke emissie plaatsvindt, terwijl bij vernatting en moerasbosontwikkeling netto vastlegging bereikt kan worden.*

5 Beknopte aanduiding van onderzoeksprioriteiten

Doel van het strategisch en toegepaste onderzoek is de ontwikkeling van een kennisbasis op grond waarvan beslissingen ten aanzien van doelstellingen, ruimtelijke en beheersstrategieën kunnen worden genomen inzake;

- herijking van natuurbeleidsdoelen op internationaal en nationaal niveauresp.
- noodzakelijke aanpassingen van de EHS (ook in samenhang met aangrenzende landen) en ondersteunende landschappelijke structuren om de natuur de vereiste veerkracht te bieden.
- Zonodig beheersstrategieën om de vereiste habitatkwaliteit en -differentiatie te bewerkstelligen

Wij stellen de volgende onderdelen voor, te beschouwen als deels opvolgende fasen. Deze lopen parallel aan en zijn complementair aan meer fundamenteel onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op fysiologie, timing, demografie, genetische variatie en microevolutie van soorten.

- 1 Ontwikkelen van ruimtelijke beelden (kaarten) van waarschijnlijke c.q. mogelijke veranderingen in de omvang en ligging van ecosystemen, als gevolg van directe en indirecte effecten van klimaatveranderingen en de aanpassingen die de mens aan het landschap uitvoert. Daarbij kan van enkele scenario's worden uitgegaan. De ruimtelijke beelden kunnen en zullen op diverse schaalniveaus worden gemaakt ,logischerwijze vaak op internationale schaal
- 2 Het aangeven van mogelijke of waarschijnlijke ingrepen van de mens als reactie op gewijzigde klimaatscondities, zeespiegelstijging en rivierafvoeren met daarbij aangegeven het effect op habitatligging en kwaliteit van relevante organismen of levensgemeenschappen.
- 3 Opstellen, per type ecosysteem, van mogelijke directe en indirecte effecten van sterkere weersfluctuaties en temperatuurverhoging c.q. hydrologische condities op de vegetatietypen en structuurkenmerken van ecosystemen, en het doorvertalen hiervan in termen van habitatkwaliteit voor gids- of doelsoorten c.q. soortengroepen.
- 4 Verkennende studies voor enkele ecologische risicogroepen, bijvoorbeeld een groep die gevoelig is voor temperatuurtoename en geringe dispersievermogens heeft, en een groep die kwetsbaar is voor sterkere weersfluctuaties en waarvan het leefgebied is versnipperd. Hierbij dient aangesloten te worden op de resultaten van 2. Deze studies zijn gebaseerd op een interactie van modelmatige studies en ruimtelijke databestanden en tijdreeksen.
- 5 Testen van de resultaten van 3,4 in andere Europese regio's aan empirische gegevens. Opschalen van ruimtelijke modellen voor regionale schaal naar die van de Europese schaal, op basis van een integratie van de metapopulatietheorie en biogeografische theorie.
- 6 Ecoprofielen (groepen soorten met gelijke ruimtelijke en ecosysteem-eisen) samenstellen en beoordelen op de mogelijke reacties op klimaatverandering s.l. op basis van extrapolatie van de resultaten van 3.

- 7 Aanpassen van minimum-eisen die genoemde ecoprofielen stellen aan duurzame ecosysteem(netwerken) in termen van areaalgrootte, verbinding en - habitatkwaliteit. Doorrekenen van de EHS in Nederland of internationale equivalenten op ruimtelijke en abiotische knelpunten.
- 8 Ontwikkelen van generieke indicatoren voor duurzame ruimtelijke condities voor ecologische netwerken op de Europese schaal op basis van de resultaten van bovengenoemd onderzoek.
- 9 Confrontatie met Nederlandse en Europese ruimtelijke ontwikkelingsplannen en identificatie van knelpunten en kansen, met inbegrip van antropogene invloeden op het landschap als aanpassing aan klimaatveranderingen voor andere functies. Aangeven van noodzakelijke aanpassingen in doelstellingen. Uitwerken van ruimtelijke strategieën.

Literatuur

- Bal, D., Beije, H.M., Fellingner, M., Haveman, R., Van Opstal, A.J.F.M., Van Zadelhoff, F.J., 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Rapport Expertisecentrum LNV nr. 2001/020, Wageningen.
- 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, 390-407.
- Beebee, T.J.C., 1995. Amphibian breeding and climate change. *Nature* 374, 219-220.
- Beets, D.J., Van der Spek, A.J.F., Van der Vlak, J., 1994. Holocene ontwikkeling van de Nederlandse kust. RGD rapport 40.016.
- Berthold, P., Helbig, A.J., Mohr, G., Querner, U., 1992. Rapid microevolution of migratory behaviour in a wild bird species. *Nature* 360, 668-670.
- Birks, H.J.B., 1990. Changes in vegetation and climate during the Holocene of Europe. In: M.M. Boer & R.S. de Groot (eds). *Landscape ecological impact of climate change*. IOC Press:133-158.
- Born, G.J. van der, L. Brouwer, H. Goosen, R. Hoekstra, D. Huitema, R. Schrijver, 2002. Klimaatwinst in veenweidegebieden. RIVM/IVM/CLM/LEI
- Both, C. 2002. Nemen Bonte vliegenvangers *Ficedula hypoleuca* af door klimaatverandering? *Limosa* 75: 73-78.
- Both, C., Visser, M.E., 2001. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411, 296-298.
- Boxel, J. van & E. Cammeraat. 1999. Wordt Nederland steeds natter; een analyse van de neerslag in deze eeuw. *Meteorologica* 8 (1): 11-15
- Brock, T.C.M. & W. van Vierssen. 1992. Climate change and hydrophyte dominated communities in inland wetland ecosystems. *Wetland Ecology and Management* 2: 37-49
- Broekmeijer, M., Steingröver, E. 2001. Handboek Robuuste Verbindingen, Ecologische randvoorwaarden. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.
- Brouns, J.J., 1992. Climatic change and the Wadden Sea, The Netherlands. *Wetlands Ecology and Management* 2, 23-30
- Brown, J.H., Mehlman, D.W., Stevens, G.C., 1995. Spatial variation in abundance. *Ecology* 76, 2028-2043.
- Bruin, A.T.H., 2002. Verandering in neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001. KNMI, De Bilt.
- Buisman, J. 1995. Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen. Delen 1,2,3,4.
- Christiansen, C., Bowman, D., 1990. Long term beach and shoreface changes, NW Jutland, Denmark: effects of a change in wind direction. In: Beukema, J.J. & W.J. Wolff (eds), *Proceedings Workshop Climate effects on Coastal ecosystems*. Balkema, Rotterdam
- Commissie waterbeheer 21e eeuw. 2000. Waterbeleid in de 21e eeuw.

- Conrad, K.F., Woiwod, I.P., Perry, J.N., 2002. Long-term decline in abundance and distribution of the garden tiger moth (*Arctia caja*) in Great Britain. *Biological Conservation* 106, 329-337.
- Crick, H.Q.P., Sparks, T.H. 1999. Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399, 423-424.
- Currie, D.J., 2001. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States. *Ecosystems* 4, 216-225.
- Davis, M.B., Shaw, R.G., 2001. Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science* 292, 673-679.
- Den Boer, P.J., 1986. Environmental heterogeneity and the survival of natural populations. In: Velthuis, H.H.W. (ed), *Proceedings of the 3rd European Congress of Entomology*. KNAW, Amsterdam, pp. 345-356.
- Dijkema, J.S., Bossinade, J.H., Bouwsema, P. de Glopper, R.J., 1990. Salt marshes in The Netherlands Wadden Sea: rising high tide levels and accretion enhancements. In: Beukema et al.(eds.) *Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems*. Kluwer Academic Publishers pp. 173-188.
- Ellis, W.N., Donner, J.H., Kuchlein, J.H., 1997. Recent shifts in distribution of microlepidoptera in the Netherlands. *Entomologische Berichten* 57 (8), 119-125.
- Europese Commissie (2003) *World Energy, Technology and Climate Policy Lookout* (Press release).
- Foppen, R., Ter Braak, C.J.F., Verboom, J., Reijnen, R., 1999. Dutch Sedge warblers (*Acrocephalus schoenobaenus*) and West African rainfall: empirical data and simulation modelling show low population resilience in fragmented marshlands. *Ardea* 87, 113-127.
- Forsman, J.T., Mönkkönen, M., 2003. The role of climate in limiting European resident bird populations *Journal of Biogeography* 30, 55-70.
- Gajewski, K., 1987. Climatic impacts on the vegetation of Eastern North America during the past 2000 years. *Vegetatio* 68, 179-190.
- Gibbs, J.P., Breisch, A.R., 2001. Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1900-1999. *Conservation Biology* 15, 1175-1178.
- Gottschalk, M.K.E., 1971;1975;1977. Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland. Delen I,II,III Assen.
- Gmelig Meijling, A.W., Bruijne, R.H. de, 2002. Een duik in mariene gegevens. Lange termijnveranderingen van populaties van enkele mariene organismen (roggen, weekdieren, kreeftachtigen) als gevolg van menselijk handelen. Stichting Anemoon.Heemstede.
- Grieco, F., Van Noordwijk, A.J., Visser, M.E., 2002. Evidence for the effect of learning on timing of reproduction in blue tits. *Science* 296, 136-138.
- Harrington, R., Woiwod, I., Sparks, T., 1999. Climate change and trophic interactions. *TREE* 14, 146-150.
- Heesen, H.J.L., Welleman, H.C., Daan N., Smaal, A.C., Piet, G.J., 2001. Bijdrage RIVO aan Natuurcompendium 2001. Nederlands Instituut voor Visserijonderzoek RIVO. Intern rapport C058/01.

- Hill, J.K., Thomas, C.D., Huntley, B., 1999. Climate and habitat availability determine 20th century changes in butterfly's range margin. *Proceedings of the Royal Society London B* 266,1197-1206.
- Hossell, J.H., Briggs, H., Hepburg, I.R., 2000. Climate Change and UK Nature Conservation – A review of the impact of climate change on UK species and habitat conservation policy. Report Department of the Environment, Transport and the Regions.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already. *TREE* 15: 56-61.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1996. Climate Change 1995, IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-technical Information Related to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change 1995. Bracknell, United Kingdom.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001a. Climate Change 2001: Impacts, Adaptations and Vulnerability. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Sixth Session at Geneva, Switzerland, 13-16 February 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001b. Scientific-technical Analysis. Contribution of Working Group II to the 'Third Assessment Report on Climate Change' (August 2001), Cambridge University Press, Cambridge
- Ives, A.R., Klopfer, E.D., 1997. Spatial variation in abundance created by stochastic temporal variation. *Ecology* 78, 1907-1913.
- Jelgersma, S., 1979. Sea level changes in the North Sea basin. In: Oele, E., Schüttenhelm, R.T.E., Wiggers, A.J. (eds.). *The Quaternary history of the North Sea*, pp. 233-248. Acta Univ. Uppsala, Uppsala.
- Keitt, T.H., Lewis, M.A., Holt, R.D., 2001. Allee effects, invasion pinning, and species borders. *American Naturalist* 157, 203-216.
- Ketelaar, R., 2003. Libellen vliegen vroeger en noordelijker: een gevolg van klimaatverandering? *De Levende Natuur* 104, 83-85.
- Kiesecker, J.M., Blaustein, A.R., Bedlen, L.K., 2001. Complex causes of amphibian population declines. *Nature* 410, 681-684.
- Klijn, J.A., 1990. The younger dunes in The Netherlands; chronology and causation. In: T.W.M. Bakker, P.D. Jungerius & J.A. Klijn (eds.) *Dunes of the European coasts*. Catena Supplement 18 : 81-100, Cremlingen
- Klijn, J.A., Buijs, A.E., Dijkstra, H., Luttik, J., Veeneklaas, F.R., 1999. *De vergeten waarden van natuur en landschap; gebruik en beleving in geld en gevoel*. DLO/Staring Centrum Jaarboek 1999
- Klijn, J.A., 2001. Klimaatverandering en zeespiegelrijzing. In "" V&W, 2001 ""Koersen op de tijdgeest"", Den Haag.
- KNMI, 2003. Factsheet Klimaat (op website KNMI: www.knmi.nl)
- Kuikman, P., de Groot, W., Hendriks, R., Verhagen, J., De Vries, F., 2003. Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in The Netherlands. Alterra Report 561, Wageningen
- Kwakernaak, C., Ypma, K.W., Klijn, J.A., Van Bakel, P.J.T., Van der Gaast, J.W.J., 1998. Ruimtelijke gevolgen van klimaatverandering en bodemdaling; effecten van veranderingen in de waterhuishouding op het ruimtegebruik. Staring Centrum Wageningen, rapport 618

- Labrijn, A. 1945. Het klimaat in Nederland gedurende de laatste twee-en-een-halve eeuw. Med.& Verh. KNMI, no.102/49; Den Haag.
- Lamb, H.H., 1972/1977. Climate: present, past and future, part 1, 2. Methuen, London.
- Lamb, H.H., Weiss, I., 1979. On recent changes of the wind and wave regime of the North Sea and the outlook. *Fachl. Mitt. Amtf. Wehrgeophysik*, nr. 194.
- Lemoine, N., Böhning-Gaese, K., 2002. Potential impact of global climate change on species richness of long-distance migrants. *Conservation Biology* 17, 577-586.
- Linden, J. van der, 2000. De opmars van de wespenspin, *Agriope bruennichi*, in Nederland *Nederlandse Faunistische Mededelingen* 2, 45-53.
- Lindner, M., Bugmann, H., Lasch, P., Flechsig, M., Cramer, W., 1997. Regional impacts of climate change on forests in the state of Brandenburg, Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 84, 123-135.
- Lorenz, G.L., Groenwoud, W., Schokking, F., van den Berg, M.W., Wiersma, J., Brouwer, J.J., Jelgersma, S., 1991. Heden en verleden, Nederland naar beneden. Interim rapport over onderzoek naar bodembeweging in Nederland. Meetkundige Dienst RWS, Delft, RGD; /Haarlem/Rijswijk.
- Louters, T., Gerritsen, F., 1994. Het mysterie van de wadden. hoe een getijdesysteem inspeelt op de zeespiegelrijzing. Rapport RIKZ-94.040. Den Haag
- Malanson, G.P., Cairns, D.M., 1997. Effects of dispersal, population delays, and forest fragmentation on tree migration rates. *Plant Ecology* 131, 67-79.
- Malcolm, J.R., Markham, A., Neilson, R.P., Garaci, M., 2002. Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *Journal of Biogeography* 29, 835-849.
- Maurer, B.A., Brown, J.H., 1989. Distributional consequences of spatial variation in local demographic processes. *Ann. Zool. Fennici* 26, 121-131.
- McCarthy, M.A., Lindenmayer, D.B., 2000. Spatially correlated extinction in a metapopulation model of Leadbeater's Possum. *Biodiversity and Conservation* 9, 47-63.
- McLaughlin, J.F., Hellmann, J.J., Boggs, C.L., Ehrlich, P.R., 2002. Climate change hastens population extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, 6070-6074.
- Mehlman, D.W., 1997. Change in avian abundance across the geographic range in response to environmental change. *Ecological Applications* 7, 614-624.
- Menzel, A., Fabian, P., 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397, 695.
- Misdorp, R., Steyaert, F., Hallie, F., de Ronde, J.G., 1990. Climate change, sea level rise and morphological developments in the Dutch Wadden Sea, a marine wetland. In: J.J.Beukema et al.(eds.) *Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems*. Kluwer Ac Publ: 123-131.
- Mooij, W.M., Hülsmann, , Lammens, E.H.R.R., Bodelier, P.L.E., Boers, P.C.M., Coops, H., Dionisio Pires, M.L., Gons, H.J., Ibelings, B.W, Nolet, B.A., Noordhuis, R., Portielje, R., Van den Berg, M.S., Van der Molen, D.T., Wolfstein, K. (in prep). Assessing the impact of climate change on shallow lakes; linking management objectives and external factors with theory and data. KNAW /NIOO.
- Moraal, L., 2003. Insectenplagen op bomen en klimaatverandering. *De Levende Natuur* 104, 90-93.

- Moss, R., Oswald, J., Baines, D. 2001. Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology* 70, 47-61.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, G., Nemani, R.R., 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386, 698-702.
- Nagelkerke, C.J., Verboom, J., Van den Bosch, F., Van de Wolfshaar, K., 2002. Time lags in metapopulation responses to landscape change. In: Gutzwiller, K. J. (ed.), *Applying landscape ecology in biological conservation*. Springer Verlag, New York, pp. 330-354.
- Opdam, P., Verboom, J., Pouwels, R., 2003. Landscape cohesion, an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity. *Landscape ecology* 18, 113-126.
- Opdam, P., Wascher, D. 2003. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. Submitted.
- Pakeman, R.J. 2001 Plant migration rates and seed dispersal mechanisms. *Journal of Biogeography* 28, 795-800.
- Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennant, J., Thomas, J.A., Warren, M.S., 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399, 579-583.
- Parmesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change across natural systems. *Nature* 421, 37-42.
- Parry, M.L., 2000. Assessment of Potential Effects and Adaptations for Climate Change in Europe, The European ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Angia, Norwich.
- Pelk, M., B. Heijkers, R. van Etteger, D. Bal, C. Vos, R. Reijnen, S. de Vries & P. Visschendijk 2000. *Kwaliteit door verbinden; waarom, waar en hoe?* Schetsboek. Alterra & IKC-Natuurbeheer, Wageningen.
- Penuelas, J., Filella, I., 2003. Responses to a warming world. *Science* 294, 793.
- Pounds, J.A., 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410, 639-640.
- Projectgroep "Bruisend Water", 1997/1998. Verslag fase 1; resp fase 2. Provincie Zuidholland, Den Haag.
- RIVM.1999. Milieubalans 1999. Samson/Tj.Willink, Alphen a.d. Rijn
- RIVM, 2000. Nationale milieuverkenning 2000-2030. Samson/ Alphen aan de Rijn.
- Rodriguez, J.P., 2002. Range contraction in declining North American bird populations. *Ecological Applications* 12, 238-248.
- Roy, D.B., Rothery, P., Moss, D., Pollard, E., Thomas, J.A., 2001. Butterfly numbers and weather, predicting historical trends in abundance and the future effects of climate change. *Journal of Animal Ecology* 70, 201-217.
- Roy, D.B., Sparks, T.H., 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Global change biology* 6, 407-416.
- Rupp, T.S., Starfield, A.M., Chapin, F.S.III, 2000. A frame-based spatially explicit model of subarctic vegetation response to climate change: comparison with a point model. *Landscape Ecology* 15: 383-400.
- RWS, 2000. *Derde Kustnota; traditie, trends en toekomst*. Min. V&W, Den Haag.

- Schouten, M.G.C., J.G.Streefkerk, Van der Molen, P.C., 1992. Impact of climatic change on bog ecosystems, with special reference to sub-oceanic raised bogs. *Wetlands Ecology and Management* ???, 55-62
- Schwartz, M.W., Iverson, L.R., Prasad, A.M., 2001. Predicting the potential future distribution of four tree species in Ohio using current habitat availability and climatic forcing. *Ecosystems* 4, 568-581.
- Sykes, M.T., Prentice, I.C., 1995. Boreal forest futures: modelling the controls on tree species range limits and transient responses to climate change. *Water, Air and Soil Pollution* 82, 415-428.
- Sykes, M.T., Prentice, I.C., 1996. Climate change, tree species distributions and forest dynamics: a case study in the mixed conifer/northern hardwood zone of Northern Europe. *Climatic Change* 34, 161-177.
- Tamis, W.L.M., Van 't Zelfde, M., Van der Meijden, R., 2003. Effecten van klimaatsverandering op hogere planten in Nederland. *De Levende Natuur* (in druk).
- Tennekes, H., Können, G.P., 1991. Aanhoudend warm; klimaatvoorspelling vanuit De Bilt. KNMI/Thieme, Baarn.
- Thomas, J.A., Rose, R.J., Clarke, R.T., Thomas C.D., Webb, N.R., 1999. Intra-specific variation in habitat availability among ectothermic animals near their climatic limits and their centres of range. *Functional Ecology* 13 (suppl. 1), 55-64.
- Thomas, C.D., Lennon, J.J., 1999. Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399, 213
- Thomas, C.D., Bodsworth, E.J., Wilson, R.J., Simmons, A.D., Davies, Z.G., Musche, M., Conradt, L., 2001. Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature* 411, 577-581.
- Van Herk, C.M., Aptroot, A., Van Dobben, H.F. 2002. Long term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34, 141-154.
- Van Malde, J., 1987. Relative rise of sea levels in The Netherlands in recent times. European workshop on interrelated bioclimatic and land use changes. Noordwijkerhout.
- Van der Meulen, F. 1990. European dunes; consequences of climate change and sea level rise. In: T.W.M. Bakker, P.D. Jungerius & J.A. Klijn (eds.), *Dunes of the European coasts*. *Catena Supplement* 18, 209-223.
- Van Walsum, P.E.V., P.F.M. Verdonschot, J. Runhaar (eds) 2002. Effects of climate and land use change on lowland stream ecosystems. *Alterra rapport* 523, Wageningen.
- Visser, M.E., Van Noordwijk, A.J., Tinbergen, J.M., Lessels, C.M., 1998. Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings Royal Society, London, B*, 265, 1867-1870.
- Visser, M.E., Holleman, L.J.M., 2001. Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings Royal Society, London, B*, 268, 289-294.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. 2002. Ecological responses to climate change. *Nature* 416: 389-395.

- Warren, M.S., Hill, J.K., Thomas, J.A., Asher, J.A., Fox, R., Huntley, B., Roy, D.B., Teffer, M.G., Jeffcoate, S., Harding, P., Jeffcoate, G., Willis, S.G., Greatorex-Davies, J.N., Moss, D. and Thomas, C.D., 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414, 65-69.
- Watson, R.T., Zinyovwera, M.C., Moss, R.H., Dokken, D.J., 2000. The regional impacts of climate change; an assessment of vulnerability. Special Report IPCC; Working Group II, Cambridge Univ. Press.
- Wessels, H.R.A., Brandsma, T., Buishand, T.A., Klein-Tankink, Am.G., Konnen, G.P., 1999. Waargenomen schommelingen in het Nederlandse klimaat. KNMI, De Bilt.
- Werkgroep Klimaatverandering en Bodemdaling, 1997. Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding. projectetam NW4, Den Haag.
- Wolf, J., Janssen, L.H.J.M., 1991. Effects of changing land use in The Netherlands on net carbon fixation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 39, 237-246.
- Zagwijn, W.H. en J. van Staalduinen .1975. Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland