

# Effecten van klimaatverandering op de natuur

## Verkenning van adaptiestrategieën

De komende decennia zullen vele sectoren anticiperen op de te verwachten veranderingen van het klimaat. Klimaatadaptatie legt een extra druk op de schaarse ruimte en zal grote gevolgen hebben voor de inrichting van het Nederlandse landschap. Ook voor de natuur zijn de veranderingen nu al zichtbaar en is een tijdige reactie gewenst. Het natuurbeleid zal zich door de toenemende onvoorspelbaarheid minder moeten richten op het behoud van specifieke soorten en meer op het creëren van gunstige condities.

Het klimaat verandert door menselijk ingrijpen en dat zal ook in de komende decennia het geval zijn (IPCC, 2001). Omdat klimaat een belangrijke sturende factor is voor ecologische processen, zal de klimaatverandering naar verwachting grote gevolgen hebben voor de natuur. Verschuivingen in de verspreiding zijn al waarneembaar voor een groot aantal soorten (Parmesan & Yohe, 2003; Thomas et al., 2004). Het frequenter voorkomen van weers-extremen heeft grotere schommelingen van populaties tot gevolg. Het tempo van de klimaatverandering is ongekend en de effecten worden versterkt door versnippering van leefgebieden en achteruitgang van habitatkwaliteit (Opdam & Wascher, 2004).

Het Nederlandse natuurbeleid heeft als doelstelling be-

houd en herstel van een zo natuurlijk mogelijke verscheidenheid van in het wild levende dier- en plantensoorten en van ecosysteemelementen (LNV, 1995). Omdat afzonderlijke natuurgebieden veelal te klein zijn voor duurzame overleving, is het natuurbeleid de afgelopen 15 jaar gericht op de ontwikkeling van ruimtelijk samenhangende netwerken van leefgebieden: de ecologische hoofdstructuur (LNV, 1990) en robuuste verbindingen (LNV, 1999). Daarnaast heeft Nederland zich via de Vogel- en Habitatrichtlijn verplicht om bepaalde habitattypen en soorten in stand te houden. Het is de vraag in hoeverre met dit netwerk van natuurgebieden de effecten van klimaatverandering kunnen worden opgevangen en of er aanvullende maatregelen nodig zijn.

	Huidig	Toekomst (2050 en later)
<b>Temperatuur</b>		
Gemiddeld	+ 1°C sinds 1900	+1 tot +6°C
Extreem, hitte	3x zo veel warme dagen (sinds 1900)	Extra toename extremen
Extreem, koude	Afname met de helft (sinds 1900)	Beperkte verdere afname
<b>Neerslag</b>		
Gemiddeld	Ca. 20% meer (sinds 1900)	Waarschijnlijk afname in zomer, zeer waarschijnlijk toename in winter
Extremes neerslag	50% toename dagen met > 15, 20 of 25 mm	Onzekere kans op meer zware buien
Extremes droogte	Waarschijnlijk meer droge jaren	Waarschijnlijk meer en langere droge perioden
Verdamping	Evenredig met temperatuurtoename	+4% tot + 16% (2100)
<b>Waterhuishouding</b>		
Zeespiegelstijging	+20cm (sinds 1900)	+10 tot +45 cm (2050)
Rivierafvoeren	Winter gemiddeld hogere afvoeren	+3 tot +10 Rijn, +5 tot +20% Maas
	Zomer gemiddeld lagere afvoeren	Gemiddelde maandafvoer tot 50% minder (2050)

CLAIRE VOS EN LOEK  
KUITERS

Dr. C.C. Vos Alterra,  
Wageningen Universiteit en  
Research, Postbus 47, 6700  
AA Wageningen.  
claire.vos@wur.nl  
Dr. A.T. Kuiters Alterra,  
Wageningen Universiteit en  
Research.

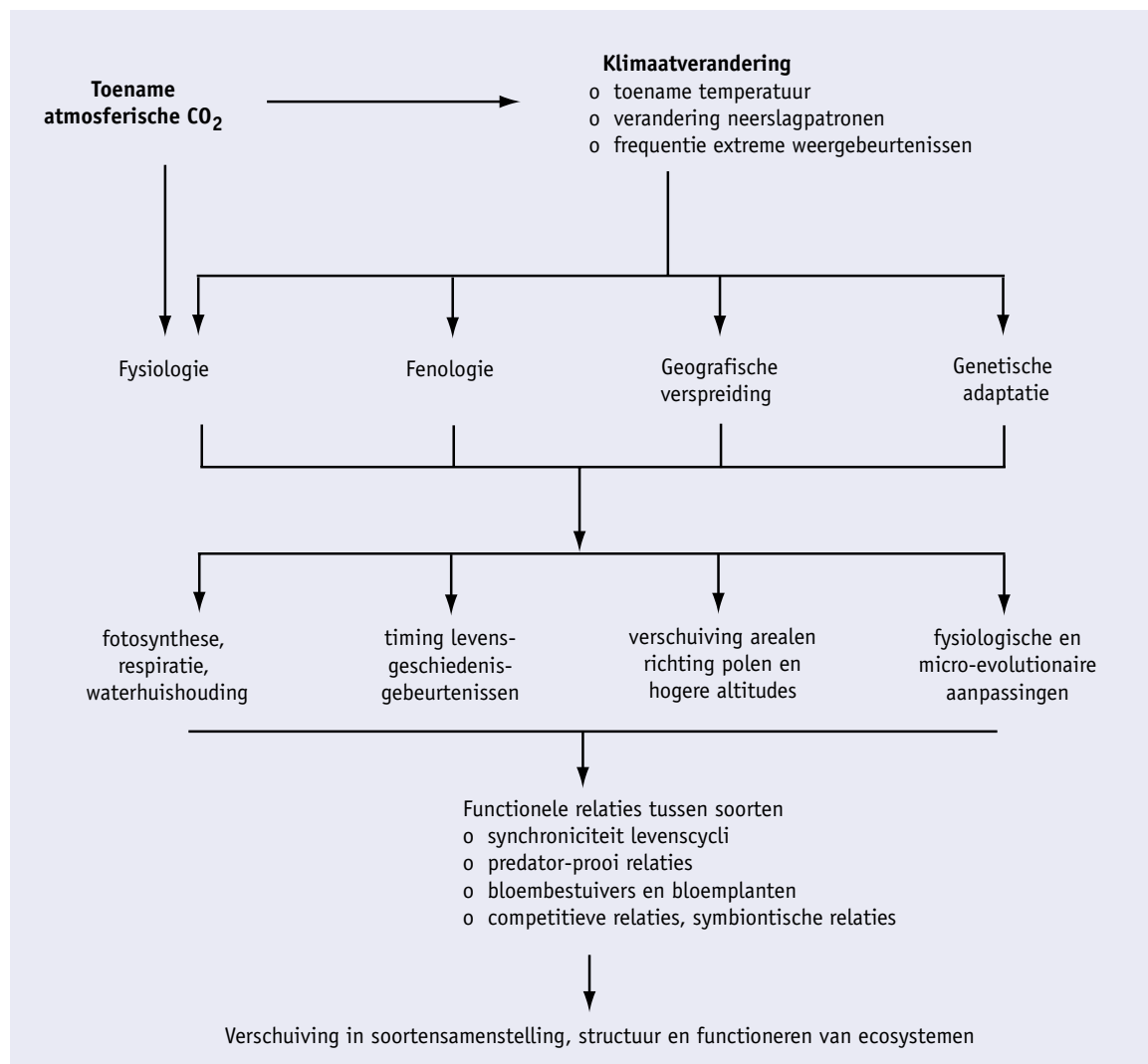
Foto Jan van der Straaten  
www.saxifraga.nl  
Psittacula krameri. Als klimaat-  
verandering de invasibiliteit  
van natuurlijke systemen ver-  
groot, zal de halsbandparkiet  
zich nog sneller verspreiden.

**Tabel 1** Veranderingen van het huidige klimaat ten opzichte van 1900 en voorspellingen van het klimaat van de toekomst (KNMI, 2003; MNP, 2005).

**Table 1** The current climate in the Netherlands compared to 1900 and predictions for the future (KNMI, 2003; MNP, 2005).

**Figuur 1** Overzicht van de invloed van klimaatverandering op de natuur (gewijzigd naar Hughes, 2000). De toename van atmosferische CO<sub>2</sub> leidt tot klimaatverandering maar heeft ook een direct effect op fysiologische processen. Klimaatverandering heeft: fysiologische effecten, fenologische effecten, effecten op de geografische verspreiding en genetische adaptatie. De effecten op soorten beïnvloeden vervolgens de relaties tussen soorten en leiden tot veranderingen in het functioneren van ecosystemen.

**Figure 1** Overview of the impacts of climate change on nature (modified after Hughes, 2000). The increase of atmospheric CO<sub>2</sub> causes climate change but also directly influences physiological processes. Climate change has impacts on: physiological processes, phenological processes, geographic distribution and genetic adaptation. Impacts on species affect species interactions and cause changes in the functioning of ecosystems.



In dit artikel wordt een risicoanalyse gemaakt van de te verwachten effecten van klimaatverandering op de natuur en de biodiversiteit. Hoe werken deze effecten door op levensgemeenschappen en ecosystemen? Vervolgens gaan we in op mogelijke adaptatiestrategieën waarmee de risico's van klimaatverandering zo goed mogelijk kunnen worden opgevangen.

### Soorten reageren op klimaatverandering

Klimaatverandering leidt in de gematigde zones van noordwest Europa tot temperatuurstijging, een toename

van de neerslag en het vaker optreden van weersextremen, zoals langdurige droogte tijdens de zomer. Tabel 1 laat zien dat het Nederlandse klimaat al in de tweede helft van de twintigste eeuw is veranderd. Als gevolg daarvan zijn al reacties van planten- en diersoorten waargenomen. Figuur 1 laat zien hoe klimaatverandering de natuur beïnvloedt.

CO<sub>2</sub>-toename en klimaatverandering hebben de volgende effecten op soorten, hun onderlinge relaties en ecosystemen:

---

## Fysiologische effecten

Zowel temperatuurstijging als de verhoogde concentratie van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen in de atmosfeer heeft een stimulerend effect op fysiologische processen. Voor planten is aangetoond dat de groeisnelheid is toegenomen sinds 1850 als gevolg van een verhoogd CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer (Hughes, 2000). Ook decompositieprocessen in de bodem verlopen sneller (Hossel *et al.*, 2000).

## Fenologische effecten

De temperatuur speelt een belangrijke rol bij de timing van fenologische processen in de levenscyclus van soorten, zoals het begin van de groei, de startdatum van het reproductieseizoen of de vruchtafzetting (Walther *et al.*, 2002; Menzel *et al.*, 2006; [www.natuurkalender.nl](http://www.natuurkalender.nl)). De bloei van voorjaarsplanten als speenkruid en fluitekruid is in de laatste 150 jaar met twee tot drie weken vervroegd. Ook insecten en amfibieën gaan mee in de verschuiving van seizoenen. Bij trekvogels is het beeld gemengd. Sommige soorten als tjiftjaf en zwartkop arriveren geleidelijk aan eerder, terwijl andere soorten zoals grutto en gierzwaluw nauwelijks reageren. Hoewel de algemene trend in de fenologie een vervroeging van het reproductieve seizoen laat zien, zijn de effecten ook diffuus en soms regionaal verschillend. Zowel fysiologische als fenologische effecten hebben vooral invloed op de interactie van soorten. Hier wordt verder op ingegaan in de paragraaf “Veranderingen in het functioneren van ecosystemen”.

## Geografische verspreiding

Wijzigingen in de klimatologische omstandigheden leiden tot verschuivingen van het potentieel geschikte leefgebied van planten en dieren. Die verschuivingen zijn bij een groot aantal soorten waargenomen. Hierbij gaat het enerzijds om areaaluitbreiding richting Noordpool en bergopwaarts voor warmteminnende soorten en ander-

zijds om verlies aan areaal aan de zuidgrens voor koudeminnende soorten. Parmesan en Yohe (2003) hebben in tijdreeksstudies van 460 soorten aangetoond dat van 81% het verspreidingsareaal is verschoven in de richting die overeenkomt met de voorspelde klimaatveranderingen. Ook modellen laten voor veel soorten een uitbreiding van het potentiële areaal richting Noordpool en bergopwaarts zien (Pearson *et al.*, 2002; Bakkenes *et al.*, 2002). De analyse van een subset van 99 soorten geeft aan dat soorten gemiddeld ruim zes kilometer noordwaarts en zes meter heuvelopwaarts opschuiven in tien jaar. Deze resultaten hebben betrekking op verschillende taxa en diverse geografische regio's. De observatie van Hughes (2000) dat de huidige veranderingen zijn gesignaleerd bij een temperatuuroename van maar 20% van wat er voor de 21e eeuw wordt voorspeld, maakt duidelijk dat met nog veel grotere areaalverschuivingen rekening moet worden gehouden. Voor warmteminnende soorten worden de klimatologische omstandigheden gunstiger aan de noordkant van hun areaal. Daar nemen de dichtheden toe en kan uitbreiding van het areaal plaatsvinden. Ligt de areaalgrens net ten zuiden van Nederland dan zouden op deze manier nieuwe soorten ons land kunnen koloniseren (voor soorten die recent in Nederland zijn verschenen zie [www.opgewarmdederland.nl](http://www.opgewarmdederland.nl)). Voor koudeminnende soorten met een zuidelijke areaalgrens in Nederland worden de klimatologische omstandigheden ongunstiger. Deze soorten lopen een verhoogd risico om achteruit te gaan en op termijn zelfs uit Nederland te verdwijnen. Afname van dichtheden aan de areaalgrens is een eerste indicator dat een soort achteruit gaat. Uit de analyse van populatietrends van vogelsoorten in Frankrijk (Julliard *et al.*, 2004) blijkt dit significant vaker op te treden bij soorten met een relatief noordelijke verspreiding. De processen van areaaluitbreiding lijken overigens sneller te gaan dan die van areaalkrimp (Hill *et al.*, 2002).

## Genetische adaptatie

Over genetische of evolutionaire aanpassing aan veranderde plaatselijke klimatologische omstandigheden is nog weinig bekend. Het is aannemelijk dat een systematische verandering van de fysieke omgeving, zoals bij klimaatverandering, de selectiedruk verandert en dus leidt tot genetische adaptatie, bijvoorbeeld wat betreft de dispersiecapaciteit aan de rand van het verspreidingsgebied. Thomas *et al.*, (2001) hebben dit laatste aangetoond bij de greppelsprinkhaan (*Metrioptera roeseli*). In recent gekoloniseerde populaties was de fractie sprinkhanen met lange vleugels relatief groot ten opzichte van de kortvleugeligen die niet kunnen vliegen.

## Veranderingen in het functioneren van ecosystemen

De effecten van klimaatverandering op het niveau van soorten zal zich vertalen naar het functioneren van ecosystemen. Hier beperken we ons tot drie aspecten.

### Verandering in functionele relaties tussen soorten

De soortensamenstelling van levensgemeenschappen binnen ecosystemen is niet statisch maar dynamisch (Sprugel, 1991) en dus zijn ook de functionele relaties tussen soorten veranderlijk. Klimaatverandering zal de ecologische betrekkingen tussen soorten in ruimte en tijd beïnvloeden. Verschuivingen van areaalgrenzen hebben directe gevolgen voor soortinteracties doordat soorten

## Versnippering versterkt risico klimaatverandering

De respons van soorten op temperatuurstijging en weersextremen wordt sterk beïnvloed door de ruimtelijke samenhang van het huidige en toekomstige leefgebied (Opdam & Wascher, 2004). Soorten zullen alleen in staat zijn een verschuiving van hun areaal te volgen als het nieuwe leefgebied binnen de *range* van hun dispersievermogen ligt. Als geschikt leefgebied min of meer aaneengesloten voorkomt dan kunnen ook soorten met een gering dispersievermogen dit bereiken. Terwijl een groot dispersievermogen nodig is om afstanden te overbruggen naar nieuwe leefgebieden die bestaan uit relatief schaarse of versnipperde habitattypen zoals heide of hoogveen. Warren *et al.* (2001) vonden voor dagvlinders dat areaaluitbreiding in noordelijke richting alleen had plaatsgevonden bij soorten met een grote dispersiecapaciteit of met een niet versnipperd leefgebied (soorten van ruderaal gebieden). Bij dagvlinders met een geringe dispersiecapaciteit of een zeer specifieke habitatkeuze vonden ze deze uitbreiding niet.

Versnippering verhoogt ook de risico's van de weersextremen. Een koud nat voorjaar of een lange hete periode in de zomer kunnen leiden tot extra sterfte of het mislukken van de voortplanting. De omvang van populaties vertoont sterkere pieken en dalen en de kans op uitsterven neemt toe (Easterling *et al.*, 2000). Uit onderzoek aan de rietzanger (*Acrocephalus schoenobaenus*) blijkt dat versnippering van het leefgebied dan een extra risicofactor vormt (Foppen *et al.*, 1999). Rietzangers hebben te maken met extra sterfte door extreme droogte in hun Afrikaanse overwinteringsgebieden. De ruimtelijke samenhang van het leefgebied in Nederland blijkt invloed te hebben op het herstelvermogen van de populatie. In versnipperde netwerken duurt het herstel veel langer dan in gebieden met een goede ruimtelijke samenhang. En in sterk versnipperde delen van het leefgebied, leidt ineenstorting van de aantallen veel vaker tot uitsterven van populaties. Wanneer verstoringen als gevolg van weersextremen elkaar sneller gaan opvolgen, wat de klimaatmodellen voorspellen, kan dit het regionaal uitsterven van soorten tot gevolg hebben.

---

verdwijnen of verschijnen. Verschillende trofische niveaus hebben verschillende gevoeligheden voor klimaatverandering (Voigt et al., 2003). Dit kan leiden tot veranderingen in de competitieverhouding tussen soorten, doordat de ene soort zich beter aanpast dan de andere.

Zo kan de fenologie (timing van fases in de levenscyclus) van verschillende trofische niveaus in ongelijke mate beïnvloed worden, waardoor de synchroniciteit tussen bijvoorbeeld prooi en predator niet langer spoort (Voigt et al., 2003). Dit wordt wel aangeduid als de *match-mismatch hypothesis* (Cushing, 1990). De hypothese voorspelt dat de populatieaanwas van predatoren groot zal zijn wanneer de piek in de beschikbaarheid van prooien samenvalt met de grootste energiebehoefte van de predator in de voortplantingsperiode. Een mismatch leidt tot een geringere aanwas. Bij vogelsoorten zijn hiervan inmiddels een aantal goed gedocumenteerde voorbeelden bekend, zoals bij koolmees (*Parus major*), pimpelmees (*Parus caeruleus*) en vliegenvangers (*Ficedula* spp.), zie onder meer Visser et al. (2004) en Both et al. (2006). Het reproductiesucces van deze soorten is in grote mate afhankelijk van het temperatuurgestuurde aanbod aan prooidieren gedurende een korte periode in het voorjaar.

Ook kan een *mismatch* ontstaan in de timing van planten- en diersoorten die van elkaar afhankelijk zijn. Dit kan zich voordoen als de ene soort in zijn ontwikkeling vooral wordt gestuurd door temperatuur (verschuift naar eerder tijdstip) en de andere door daglengte (onveranderlijk). Zo kan bij bloembestuing een *mismatch* optreden in tijd en/of ruimte. Een verschuiving in de tijd van bloei en productie van nectar kan gevolgen hebben voor de bestuivers die hiervan afhankelijk zijn (Inouye et al., 2002). En bij areaalverschuiving kan het gebeuren dat bloembestuivers niet meer op het juiste moment op de juiste plaats zijn om bepaalde soorten bloemplanten te bestuiven.

## Invasieve soorten

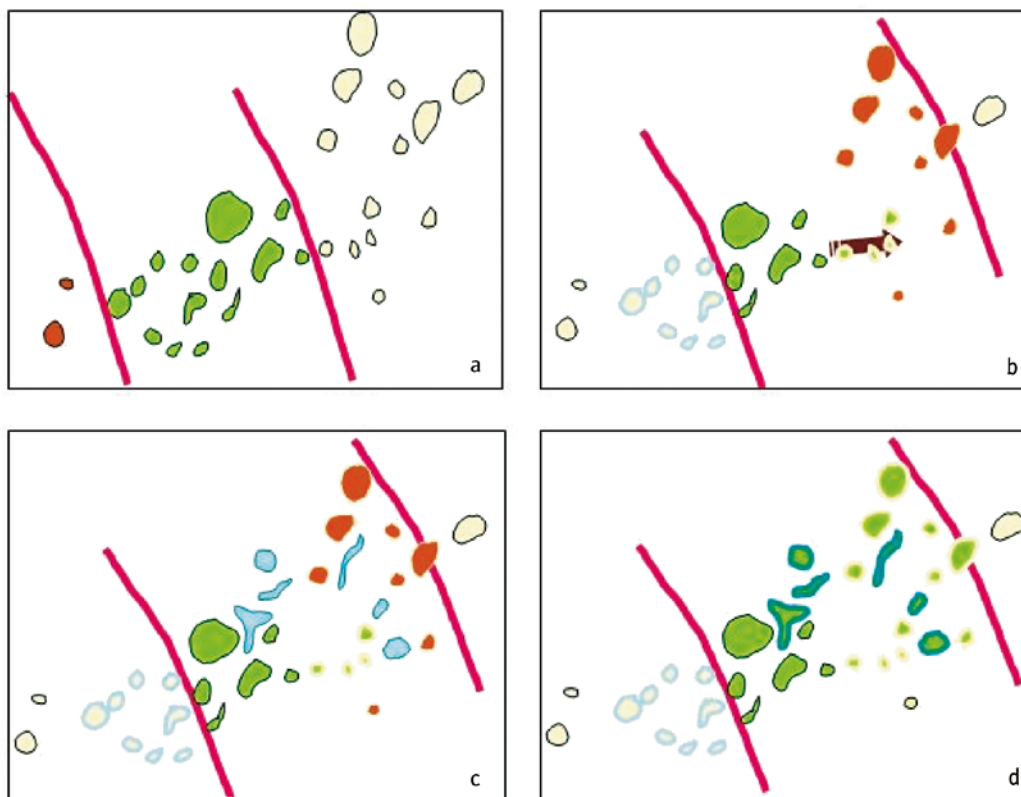
Invasieve soorten zijn uitheemse (*non-native*) soorten die door menselijk toedoen zijn geïntroduceerd buiten hun natuurlijke verspreidingsgebied. Ze moeten worden onderscheiden van soorten die als gevolg van klimaatverandering op spontane wijze als nieuwkomers ons land bereiken. Invasieve soorten kunnen zich snel uitbreiden, vaak ten koste van inheemse (Lodge, 1993). Ze zijn hiertoe in staat dankzij een doorgaans opportunistische strategie en een brede ecologische amplitude (Sakai et al., 2001). Veel invasieve soorten hebben een korte generatieduur en een groot dispersievermogen, die hen in staat stellen zich snel uit te breiden in nieuwe geschikte gebieden. Op basis van ecologische argumenten is de verwachting dat klimaatverandering de invasibiliteit van natuurlijke systemen zal vergroten. Over de complexe interacties tussen inheemse en invasieve, uitheemse soorten onder invloed van een verhoogde CO<sub>2</sub>-concentratie en klimaatverandering, bestaan echter nog veel onduidelijkheden. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of dit ook daadwerkelijk het geval is (Dukes & Mooney, 1999).

## Verminderde veerkracht van natuurlijke systemen

De afgelopen decennia hebben vermessing, verzuring, verdroging en versnippering een sterk negatief effect gehad op de biodiversiteit, vooral in de meer kwetsbare systemen als droge en vochtige heide, droge en natte schraalgraslanden en duingraslanden. Veel soorten zijn verdwenen, waardoor bepaalde functionele typen met nog maar weinig soorten zijn vertegenwoordigd of inmiddels zelfs geheel ontbreken (Van Duinen et al., 2004). Een functionele groep bestaat uit soorten die vergelijkbare effecten hebben op een bepaald proces (bijvoorbeeld herbivoren, carnivoren, bloembestuivers) of een vergelijkbare respons vertonen op omgevingscondities

**Figuur 2** In figuur a en b is een soort, na het verschuiven van het potentieel geschikte areaal door klimaatverandering, niet in staat alle nieuwe geschikte leefgebieden te koloniseren. Pas na verbetering van de ruimtelijke samenhang van het netwerk door de aanleg van nieuw leefgebied en verbindingzones wordt het nieuwe areaal optimaal benut (c en d).

**Figure 2** In figure a and b, a species is unable to colonise all habitat patches that have become suitable after climate change. After improving spatial cohesion in the network, by creating new habitat patches and dispersal corridors, new patches are colonised (c en d).



(bijvoorbeeld warmteminnende soorten, tolerantie voor verzuring). Vooral generalistische plantensoorten zijn de afgelopen decennia toegenomen, terwijl veel habitat-specialisten zijn verdwenen (Tamis *et al.*, 2001). Met een afname aan plantensoorten is ook de diversiteit aan herbivore (insecten)soorten en soorten van hogere trofische niveaus gereduceerd. Veel ecosystemen zijn sterk gesimplificeerd.

Volgens de huidige ecologische inzichten zijn ecosystemen vooral veerkrachtig wanneer ze een grote diversiteit aan functionele groepen en soorten herbergen (Tilman *et al.*, 2006; Hooper *et al.*, 2005). Versimpeling van natuurlijke systemen maakt ze ook kwetsbaarder voor de gevolgen van klimaatverandering (Johnson *et al.*, 1996). Voor de veerkracht van een systeem is het vooral van belang dat

er voldoende diversiteit aanwezig is in de respons op een bepaalde versturende gebeurtenis (Elmqvist *et al.*, 2003). Responsdiversiteit binnen functionele groepen leidt dus tot risicospreiding. Wanneer er bijvoorbeeld zowel warmteminnende als koudeminnende grazers in een systeem aanwezig zijn, hoeft klimaatverandering niet te leiden tot het volledig verdwijnen van een functionele groep.

### Adaptatiestrategieën: omgaan met onzekerheid

Zoals blijkt uit de voorgaande paragrafen zijn er grote effecten van klimaatverandering op de natuur te verwachten, zowel voor afzonderlijke soorten als voor het functioneren van ecosystemen. Ecosystemen zullen in de komende eeuw te maken krijgen met continue veranderingen in



soortensamenstelling en toenemende verstoringen. Uiteraard hoort dynamiek bij natuurlijke systemen, maar de veranderingen lijken zich nu in een ongekend tempo en intensiteit af te spelen. Hoe de veranderingen er uit zullen zien is nog betrekkelijk onzeker. Het beleid zou er op gericht dienen te zijn om de risico's zoveel mogelijk op te vangen. Onderstaande strategieën helpen daarbij.

### 1. Minder soortgericht

Gezien de toenemende onvoorspelbaarheid van de soortensamenstelling van ecosystemen lijkt het verstandig om in de toekomst minder te sturen op het behoud van specifieke soorten. Dit zal op gespannen voet komen te staan met de huidige, vooral Europese, regelgeving die gericht is op de instandhouding van specifieke doelsoorten en habitattypen, zoals bindend voorgeschreven door de Vogel- en Habitatrichtlijn. Het lijkt onvermijdelijk dat gekozen zal moeten worden voor een minder conservatieve benadering en dat de Europese richtlijnen op dit punt zullen moeten worden aangepast.

### 2. Vergroten van de ruimtelijke samenhang tussen natuurgebieden

Voldoende ruimtelijke samenhang is belangrijk om ervoor te zorgen dat ook soorten met een gering dispersievermogen, of soorten waarvan het geschikte leefgebied sterk versnipperd is, de verschuiving van hun leefgebied kunnen volgen (Opdam & Wascher, 2004; Hannah, 2005). Hiervoor is een koppeling nodig van ecosystemen-netwerken tussen het huidige en toekomstige areaal van soorten. De samenhang tussen natuurgebieden is op een hoger niveau – op internationale schaal – nodig dan voorheen en de Natura 2000 gebieden kunnen daarbij als uitgangspunt dienen.

Figuur 2 illustreert de situatie dat een soort na verschuiving van haar areaal in eerste instantie niet in staat is om alle

potentieel geschikte nieuwe leefgebieden te koloniseren. De afstand tussen de leefgebieden kan groter zijn dan de dispersiecapaciteit of het landschap is niet te doorkruisen vanwege barrières als wegen, stedelijke bebouwing en intensief gebruikt agrarisch gebied. Pas na verdichting van het netwerk, door de aanleg van nieuw leefgebied en verbindingszones, wordt het nieuwe areaal gekoloniseerd. Een voorbeeld van deze benadering in Nederland zijn de robuuste verbindingen die aan de EHS zijn toegevoegd. Deze hebben tot doel om de uitwisseling van weinig mobiele soorten mogelijk te maken door de aanleg van nieuwe leefgebieden en verbindingszones (Broekmeijer & Steingröver, 2001; Vos et al., 2005). Of deze verbindingen voldoende aansluiten bij de te verwachten areaalverschuivingen, moet nog onderzocht worden. Tevens dient de EHS aangesloten te worden op grensoverschrijdende netwerken.

### 3. Vergroten van interne heterogeniteit

Natuurlijke systemen moeten zo veerkrachtig mogelijk zijn om de gecombineerde effecten van milieuveranderingen, inclusief die van het klimaat, te kunnen opvangen. Eén van de mogelijkheden om dat te doen is het bieden van ruimte voor een grotere diversiteit aan functionele groepen en soorten. Natuurterreinen zullen om te beginnen een zo groot mogelijke deel moeten omvatten van de milieuheterogeniteit die aanwezig is in het landschap waar ze deel van uitmaken. Door daarnaast ruimte te bieden aan natuurlijke processen ontstaan gradiënten. Die vergroten de veerkracht van het systeem en daarom moeten abiotische gradiënten in natuurgebieden instandgehouden en ontwikkeld worden.

### 4. Vergroten van natuurgebieden

Daarnaast is vergroting van bestaande gebieden noodzakelijk. Alleen in grote leefgebieden met grote





(sleutel)populaties is de kans op lokaal uitsterven gering (Verboom *et al.*, 2001), ook als gevolg van extreme weersinvloeden. Daarnaast houdt een grotere populatieomvang de genetische diversiteit van soorten in stand en daarmee het vermogen om zich aan te passen aan veranderende milieucondities

Naast het vergroten van natuurgebieden moeten we behoedzaam omgaan met de kleinere natuurterreinen (<500 ha) in ons land want daar komt een belangrijk deel van de

huidige biodiversiteit voor die bovendien in stand wordt gehouden met een overwegend hafnatuurlijke en door de mens gestuurde beheerstrategie.

## 5. Geïntegreerde aanpak

Klimaatverandering zal grote gevolgen hebben, niet alleen voor de natuur, maar voor allerlei vormen van land- en watergebruik. Bij een geïntegreerde gebiedsgerichte aanpassing aan klimaatverandering kan zowel de natuur profiteren als ook de landbouw, het waterbeheer en de recreatie. Een regionale inbedding van de EHS in een zone met multifunctioneel cultuurlandschap, in een zogenaamde klimaatmantel (Vos *et al.*, 2006), draagt bij aan de klimaatbestendigheid van de EHS. Zo'n inbedding kan gerealiseerd worden dankzij nieuwe economische dragers van het platteland. We geven twee voorbeelden van de effecten voor de landbouw van zo'n integrale aanpak. Klimaatverandering leidt waarschijnlijk tot een uitvergroting van extremen in de waterhuishouding, enerzijds door drogere periodes in de zomer en anderzijds door extreme wateroverlast bij piekafvoeren. Aanpassing van de regionale waterhuishouding is nodig voor de veiligheid. Een voorbeeld is het herstel van beeksystemen, waarbij natuurlijke processen de ruimte krijgen. Dit draagt enerzijds bij aan de regionale natuurkwaliteit maar heeft ook duidelijke voordelen voor de landbouw, door het opvangen van piekafvoeren en het voorkomen van verdroging. Een tweede voorbeeld is het concentreren van groenblauwe dooradering in de klimaatmantel rond natuurgebieden. Door de aanleg van bloemrijke akkerranden, houtwallen en waterlopen, wordt de omgeving van de EHS voor planten en dieren beter doorlaatbaar en bewoonbaar. Dit bevordert het verschuiven van soorten tussen natuurgebieden en stimuleert de biodiversiteit in het agrarische gebied. Dat laatste biedt ook voordelen voor de landbouw. Groenblauwe dooradering kan de natuurlijke





Foto Aat Barendregt  
[www.geo.uu.nl/pictures/barendregt](http://www.geo.uu.nl/pictures/barendregt)  
Voorthuizen aan Zee.

plaagonderdrukking versterken. Akkerbouwers, waterbeheerders en natuur- en landschapsorganisaties in het Nationale Landschap De Hoeksche Waard herstellen en verstevigen de bij het landschap passende dooradering, onder andere door de ontwikkeling van natuurlijke akkerlanden (Geertsema *et al.*, 2004; [www.hwl.nl](http://www.hwl.nl)). Deze aanpak speelt in op de grotere risico's van ziekten en plagen door klimaatverandering en maakt het landschap meer klimaatbestendig.

## Conclusies

Klimaatverandering leidt tot een ongekende toename van verstoringen en continue verandering in soortensamenstelling van ecosystemen. Adaptatiestrategieën dienen daarom vooral gericht te zijn op het vergroten van de veerkracht en het herstelvermogen van ecosystemen. Dit kan door te streven naar grote eenheden natuur, met een hoge biodiversiteit, een grote mate van interne heterogeniteit en met voldoende ruimtelijke samenhang. Het na-

tuurbeleid zal zich door de toenemende onvoorspelbaarheid minder moeten richten op het behoud van specifieke soorten en meer op het creëren van gunstige condities.

Veel van de genoemde maatregelen zijn niet nieuw, zoals het streven naar ruimtelijke samenhang, grote natuurgebieden en integraal waterbeheer. Het lijkt echter aannemelijk dat veerkrachtige ecosystemen, onderhevig aan grotere weersextremen, meer ruimte nodig zullen hebben. Daarnaast dient ruimtelijke samenhang van natuurgebieden internationaal te worden gerealiseerd. De Natura 2000 gebieden en het tussenliggende landschap kunnen als uitgangspunt dienen voor een functioneel Europees ecologisch netwerk.

Vele sectoren zullen zich in de komende decennia aanpassen aan klimaatverandering. Multifunctionele klimaatadaptatie zou daarom de sturende factor dienen te zijn binnen de ruimtelijke ordening. Zo'n geïntegreerde aanpak biedt ook kansen voor natuur, vooral voor natte ecosystemen.

## Summary

### Climate change: possible adaptation strategies

Claire Vos & Loek Kuiters

Climate change, effects on nature, adaptation strategies, integrated approach

The climate is changing due to anthropogenic greenhouse gas emissions. An overview is given of the effects of climate change on species and ecosystems. Climate change affects physiological and phenological processes and causes shifts in geographical distribution. Different responses of species to climate change affect species

interactions, which influence ecosystem functioning. Habitat fragmentation increases the impact of climate change, when species are unable to follow their shifting suitable habitats. Because of a decreasing predictability of species distribution, nature policy should put less emphasis on protection of specific species. Adaptation strategies should focus on resilient ecosystems with high levels of biodiversity by enlarging ecosystems with optimal internal heterogeneity (gradients), increasing connectivity of ecological networks over a large international scale and creating multifunctional buffer-zones surrounding nature areas.

## Literatuur

- Bakkenes, M., J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans & J.B. Latour, 2002.** Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390-407.
- Both, C., S. Bouwhuis, C.M. Lessells & M.E. Visser, 2006.** Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81-83.
- Broekmeyer, M., & E. Steingröver, 2001.** Handboek Robuuste Verbindingen, ecologische randvoorwaarden (eds.). Wageningen. Alterra.
- Cushing, D.H., 1990.** Plankton production and year-class strength in fish populations – an update of the match-mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology* 26: 249-293.
- Duinen, G.J. van, R. Bobbink, C. van Dam, H. Esselink, R. Hendriks, M. Klein, A. Kooijman, J. Roelofs & H. Siebel, 2004.** Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit. 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur. Rapport EC-LNV nr. 2004/305. Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Dukes, J.S. & H.A. Mooney, 1999.** Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology and Evolution* 14: 135-139.
- Easterling, D.R., G.A. Meehl & P. Parmesan, 2000.** Climate extremes: observations, modelling and impacts. *Science* 289: 2068-2074.
- Elmqvist, T., C. Folke, M. Nyström, G. Peterson, J. Bengtsson, B. Walker & J. Norberg, 2003.** Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 488-494.
- Foppen, R.P.B., J.P. Chardon & W. Liefveld, 1999.** Understanding the role of sink patches in source-sink metapopulations: reed warblers in an agricultural landscape. *Conservation Biology* 14: 1881-1892.
- Geertsema, W., E. Steingrover, W. van Wingerden, F. van Alebeek & J. Rovers, 2004.** Groen-blauwe dooradering in de Hoeksche Waard: een schets van de gewenste situatie voor natuurlijke plaagonderdrukking. Alterra-rapport 1042. Wageningen.
- Hannah, L., 2005.** Designing landscapes and seascapes for change. In: L. Hannah & T. Lovejoy (eds.). *Climate Change and Biodiversity*, Yale University Press; pp. 329-341.
- Hill, J. K., C.D. Thomas, R. Fox, M.G. Telfer, S.G. Willis, J. Asher & B. Huntley, 2002.** Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proc. R. Soc. Lond. B* 269: 2163-2171.
- Hossell, J.H., H. Briggs & I.R. Hepburg, 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.
- Hooper, D.U., F.S. Chapin III, J.J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel, J. H. Lawton, D. Lodge, M. Loreau, S. Naeem, B. Schmid, H. Setälä, A. J. Symstad, J. Vandermeer, & D. A. Wardle, 2005.** Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75: 3-35.
- Hughes, L., 2000.** Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61.
- Inouye, D.W., M.A. Morales & G.J. Dodge, 2002.** Variation in timing and abundance of flowering by *Delphinium barbeyi* Huth (*Ranunculaceae*): the roles of snowpack, frost, and La Niña, in the context of climate change. *Oecologia* 130: 543-550.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.** 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.
- Johnson, K.H., K.A. Vogt, H.J. Clark, O.J. Schmitz & D.J. Vogt, 1996.** Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 372-377.
- Julliard, R., F. Jiguet & D. Couvet, 2004.** Common birds facing global changes: what makes a species at risk? *Global Change Biology* 10: 148-154.
- KNMI, 2003.** Brochure: De toestand van het klimaat in Nederland. De Bilt. KNMI.
- LNV, 1990.** Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing. Den Haag. SDU Uitgeverij.
- LNV, 1995.** Ecosystemen in Nederland. Den Haag.
- LNV, 1999.** Natuur voor mensen mensen voor natuur. Nota natuur bos en landschap in de 21e eeuw. Den Haag.
- Lodge, D.M., 1993.** Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 133-137.
- Menzel, A., T.H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-Kubler, P. Bissolli, O. Braslavskaja, A. Briede, F.M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, Å. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatczak, F. Mages, A. Mestre, Ø. Nordli, J. Peñuelas, P. Pirinen, V. Remisova, H. Scheffinger, M. Striz, A. Susnik, A.J.H. van Vliet, F.E. Wielgolaski, S. Zac & A. Züst, 2006.** European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12: 1969-1976.
- MNP, 2005.** Effecten van klimaatverandering in Nederland. MNP rapportnummer: 773001034. Bilthoven.
- Opdam, P. & D. Wasscher, 2004.** Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation* 117: 285-297.
- Pearson, R.G., T.P. Dawson, P.M. Berry & P.A. Harrison, 2002.** SPECIES: A spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological Modelling* 154: 289-300.
- Parmesan, C. & G. Yohe, 2003.** A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Sakai, A.K., F.W. Allendorf, J.S. Holt, D.M. Lodge, J. Molofsky, K.A. With, S. Baughman, R.J. Cabin, J.E. Cohen, N.C. Ellstrand, D.E. McCauley, P. O'Neil, I.M. Parker, J.N. Thompson & S.G. Weller, 2001.** The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 305-332.
- Sprugel, D.G., 1991.** Disturbance, equilibrium and environmental variability: What is natural vegetation in a changing environment? *Biological Conservation* 58: 1-18.
- Tamis, W.L.M., M. van 't Zelfde & R. van der Meijden, 2001.** Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the twentieth century explained by climatic and other environmental characteristics. In: H. van Oene, W.N. Ellis, M.M.P.D. Heijmans, D. Mauquoy, W.L.M. Tamis, F. Berendse, B. van Geel, R. van der Meijden & S.A. Ulenberg (eds.). Long-term effects of climate change on biodiversity and ecosystem processes. Bilthoven. NOP pp. 23-50.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumon, Y.C. Collingham, B.F.H. Erasmus, M. Ferreira de Siquera, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A. Townsend Peterson, O.L. Phillips & S.E. Williams, 2004.** Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
- Thomas, C.D., G.J. Bodsworth, R.J. Wilson *et al.*, 2001.** Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature* 411:577-581.
- Tilman, D., P.B. Reich & J.M.H. Knops, 2006.** Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* 441: 629-632.
- Visser, M.E., C. Both & M.M. Lambrechts, 2004.** Global climate change leads to mistimed avian reproduction. *Advances in Ecological Research* 35: 89-100.
- Voigt, W., J. Perner, A.J. Davis, T. Eggers, J. Schumacher, R. Bahrman, B. Fabian, W. Heinrich, G. Kohler, D. Lichter, R. Marsteller & F.W. Sander, 2003.** Trophic levels are differentially sensitive to climate. *Ecology* 84: 2444-2453.
- Verboom, J., R. Foppen, P. Chardon, P. Opdam & P. Luttikhuisen, 2001.** Introducing the key patch approach for habitat networks with persistent populations: an example for marshland bird. *Biological Conservation* 100: 89-101.
- Vos, C.C., J.M. Baveco & M. van der Veen, 2005.** Robuuste verbindingen. Een nadere onderbouwing van de ontwerpregels. Alterra-rapport 1206. Wageningen. Alterra.
- Vos, C.C., M. van der Veen & P.F.M. Opdam, 2006.** Natuur en klimaatverandering; wat kan het natuurbeleid doen? Wageningen. Alterra.
- Walther, G.R., E. Post, E.P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg & F. Bairlein, 2002.** Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Warren, M.S., J.K. Hill, J.A. Thomas, J.A. Asher, R. Fox, B. Huntley, D.B. Roy, M.G. Teffer, S. Jeffcoate, P. Harding, S.G. Willis, J.N. Greatorex-Davies, D. Moss & C.D. Thomas, 2001.** Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414: 65-69.