



ALTEERRA

WAGENINGEN UR



# Natuurdoelen en klimaatverandering

'State-of-the-Art'

Alterra-rapport 2135  
ISSN 1566-7197

A.A. Besse-Lototskaya, W. Geertsema, A. Griffioen, M. van der Veen en P.F.M. Verdonschot



---

## Natuurdoelen en klimaatverandering

---

---

In opdracht van ministerie van EL&I, in het kader van Terrestrische EHS en Natura 2000,  
project BO-11-006.02-001-ALT uit Subthema 2: Natuurdoelen en Klimaatverandering.  
Projectcode 5237718

---

---

# Natuurdoelen en klimaatverandering

State-of-the-Art

A.A. Besse-Lototskaya, W. Geertsema, A. Griffioen, M. van der Veen en P.F.M. Verdonschot

## **Alterra-rapport 2135**

Alterra, onderdeel van Wageningen UR  
Wageningen, 2011

---

## Referaat

Besse-Lototskaya, A.A., W. Geertsema, A. Griffioen, M. van der Veen en P.F.M. Verdonchot, 2010. *Natuurdoelen en klimaatverandering*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2135. 156 blz.; 28 fig.; 30 tab.; 114 ref.

Er bestaat geen twijfel meer over dat klimaatverandering belangrijke gevolgen zal hebben voor de Nederlandse natuur. Enerzijds is veel bekend over de directe mechanismen van klimaatverandering en anderzijds over de ecologische eigenschappen van organismen, maar het Nederlandse beleid vraagt kennis over de specifieke gevolgen van klimaatverandering op de natuurdoelen. Wat zijn de achterliggende mechanismen van klimaatverandering in relatie tot aquatische en terrestrische ecosystemen? Dit rapport biedt een gestructureerd overzicht van directe gevolgen van klimaatverandering voor natuurdoelen en adaptatiemaatregelen voor aquatische en terrestrische natuur. Het rapport beschrijft landschapsecologische processen en functionele relaties in aquatische en terrestrische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering, de invloed van nieuwe soortgroepen daarin, analyseert de kwetsbaarheid van natuurdoelen voor klimaatverandering en geeft een overzicht van adaptatie-maatregelen.

Trefwoorden: klimaatverandering, natuurdoel, aquatische ecosystemen, terrestrische ecosystemen, kwetsbaarheid, gevoeligheid, adaptatiemaatregel

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.rapportbestellen.nl](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

**Alterra-rapport 2135**  
Wageningen, maart 2011

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 KNMI-scenario's	13
2 Aquatische natuur	15
2.1 Processen in aquatische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering	15
2.1.1 Keuze werktypen	15
2.1.2 Effecten van klimaatverandering op landschapsecologische processen in aquatische systemen	16
2.1.2.1 Abiotische sturende processen	17
2.1.2.2 Biotische sturende processen	27
2.1.3 Effect van klimaatverandering op landschapsecologische processen per watertype	30
2.1.3.1 Stromende wateren	30
2.1.3.2 Stilstaande wateren	36
2.1.3.3 Moerassen	40
2.2 Nieuwe soortgroepen	42
2.2.1 Verschuiving van de geografische arealen	42
2.2.2 Weerstand en veerkracht van natuurlijke systemen/processen	52
2.2.3 Rol en invloed van nieuwe functionele soortgroepen	52
2.3 Gevolgen voor natuur(doelen)	53
2.3.1 Gevoeligheid van Nederlandse wateren voor klimaatverandering	53
2.4 Geografische duiding en gevoeligheid	54
2.4.1 Kwetsbaarheid Nederlandse wateren per regio	54
2.4.2 Kwetsbaarheid Nederlandse wateren per watertype	58
2.4.3 Kwetsbaarheid voor klimaatverandering van waternatuur in Natura 2000-gebieden	60
2.5 Klimaatgevoeligheid van maatregelen	67
2.5.1 Kleine stromende wateren	67
2.5.2 Grote stromende wateren	70
2.5.3 Kleine stilstaande wateren	70
2.5.4 Grote stilstaande wateren	72
2.5.5 Brakke wateren	73
2.5.6 Moerassen	74
2.6 Adaptatiemaatregelen	75
2.6.1 Mitigerende maatregelen in alle watertypen	76
2.6.2 Adaptatiemaatregelen in stromende wateren	77
2.6.3 Adaptatiemaatregelen in stilstaande wateren	77
2.6.4 Adaptatiemaatregelen in brakke wateren	78
2.6.5 Adaptatiemaatregelen in moerassen	78
2.7 Samenvatting Aquatische Natuur	78

3	Terrestrische natuur	81
3.1	Processen in terrestrische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering	81
3.1.1	Selectie natuurdoelen	81
3.1.2	Generieke effecten klimaatverandering terrestrische systemen	83
3.1.3	Effecten op soortensamenstelling	84
3.1.4	Standplaatsfactoren	85
3.2	Nieuwe soortgroepen	86
3.2.1	Verschuivende arealen	86
3.2.2	Verschuiven van soorten en Beheertypen	88
3.3	Adaptatiemaatregelen	94
3.3.1	Generieke klimaatadaptatiemaatregelen: vergroten van veerkracht	94
3.3.2	Ruimtelijke maatregelen	95
3.3.3	Vergroten heterogeniteit	95
3.3.4	Abiotische kwaliteit: nutriënten en waterbeheer	95
3.4	Effecten van klimaatverandering en opties voor klimaatadaptatie per beheertype	99
3.4.1	Beschrijvingen per beheertype en natuurtype	99
3.4.2	N05 Moerassen	100
3.4.3	N06 Voedselarme venen en vochtige heiden	104
3.4.4	N07 Droge heiden	110
3.4.5	N08 Open duinen	113
3.4.6	N09 Schorren of kwelders	115
3.4.7	N10 Vochtige schraalgraslanden	117
3.4.8	N11 Droge schraalgraslanden	120
3.4.9	N12 Rijke graslanden en akkers	121
3.4.10	N13 Vogelgraslanden	123
3.4.11	N14 Vochtige bossen	125
3.4.12	N15 Droge bossen	129
3.4.13	N16 Bossen met productiefunctie	132
3.4.14	N17 Cultuurhistorische bossen	132
3.5	Gevolgen voor natuur(doelen)	133
3.5.1	Synthese terrestrische Beheertypen	133
3.5.2	Onzekerheden	133
3.5.3	Geografische duiding en gevoeligheid	139
4	Discussie en conclusies	143
	Literatuur	145
Bijlage 1	Overzicht indeling klimaatresponsgroepen	153



# Woord vooraf

In het natuurbeleid moet rekening worden gehouden met klimaatverandering en de consequenties daarvan voor planten en dieren in Nederland. Klimaatverandering leidt tot het verschuiven van potentiële arealen van planten en dieren. De soortensamenstelling van natuurterreinen komt daardoor mogelijk niet meer overeen met de doelen. Koudeminnende soorten dreigen te verdwijnen en nieuwe soorten zullen zich mogelijk vestigen. Deze soortverschuiving is voornamelijk een temperatuurreactie die meestal in relatie wordt gebracht tot ruimtelijke knelpunten. Klimaatverandering betekent echter veel meer dan een verandering in temperatuur. Er is een grote behoefte aan kennis over het veel complexere plaatje van veranderingen in sturende processen en respons van soorten en de abiotische en biotische interacties daarin en de nog ingewikkeldere relaties bij interacties met de andere 'VER'-thema's (versnippering, verdroging, verzuring, vermesting). Er zullen natuurdoelen onder druk komen te staan of gaan verdwijnen als gevolg van klimaatverandering (temperatuurverhoging, zomerdroogte, langer groeiseizoen, meer verdamping, temperatuurextremen, (tijdelijke) extreme afvoeren, verzilting), maar daarbij spelen vragen over het hoe en waarom.

Hiervoor is het nodig om vooraf de bestaande kennis over klimaatveranderingen (temperatuur, afvoeren, e.d.) en de achterliggende mechanismen in relatie tot aquatische en terrestrische ecosystemen te bundelen. Wat weten we eigenlijk al over de relaties tussen temperatuurverhoging en verschuivingen in soorten, veranderingen in biomassa-verhoudingen, kortere of langere levensduur, snellere of tragere generatiewisselingen? En hoe werkt eigenlijk zomerdroogte of verhoogde winterafvoeren door op de natuur, met andere woorden wat zijn de onderliggende processen? Wat zijn hierbij de gevolgen van het optreden van extremen? Over welke klimaatgevoelige of -kwetsbare ecosystemen gaat deze problematiek? Na deze bundeling van kennis is de vertaling in gevolgen voor beheer en inrichting van even groot belang.

De uitdaging voor het beleid is enerzijds de EHS en Natura 2000-gebieden sterk genoeg te maken om klimaatverandering in al haar facetten aan te kunnen en anderzijds bij het plannen, formuleren van doelen en maatregelen en vormgeven van nieuwe natuur voldoende rekening te houden met toekomstige klimaatverandering. We weten niet of onder invloed van klimaatverandering de huidige natuurdoelen wel allemaal haalbaar zijn of wat we er aan kunnen doen om dat om te draaien. Dat is, mede vanuit nationale en internationale verplichtingen, niet wenselijk. Deze leemte aan kennis zet ook het natuurbeleid onder druk, omdat onbekend is of de natuurdoelen wel duurzaam, betaalbaar en legitiem zijn. De achterliggende gedachte is daarbij het bevorderen van veerkracht van ecosystemen als adaptatiestrategie bij klimaatverandering.



# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de 'state-of-the-art' gevolgen van klimaatverandering op natuurdoelen, aan de hand van literatuurstudie en expert judgement. De nadruk ligt vooral op de onderliggende landschapsecologische processen en veranderingen in het functioneren van ecosystemen en daaruit volgende adaptatiestrategieën.

De benaderingen van aquatische en terrestrische natuur samen leiden tot inzichten in de rol van ecologische veerkracht bij de respons van natuur op de gevolgen van klimaatverandering. Ook wordt duidelijk hoe die inzichten door te vertalen zijn in adaptatiemaatregelen voor verschillende natuurtypen. De klimaatverandering, de gevolgen hiervan, de kwetsbaarheid van de natuur, de adaptatie en veerkracht, de mitigerende maatregelen en ten slotte de win-win situatie tussen water en land zijn hierna kort samengevat.

## *Klimaatverandering*

Er is consensus over de te verwachten veranderingen in het klimaat in N.W.-Europa. Met het beeld van hogere temperaturen, nattere winters en drogere zomers met incidentele extreme neerslagperiodes en frequenter optreden van extreme weersomstandigheden over de hele linie is de doorwerking van klimaatverandering op aquatische en terrestrische natuur beoordeeld. Er is gekozen om de doorwerking op processen te richten omdat kennis van individuele soorten of gemeenschappen onvoldoende zijn. Bovendien biedt kennis over processen goede aanknopingspunten voor adaptatiemaatregelen.

## *Gevolgen*

De gevolgen van klimaatverandering werken direct en indirect in op aquatische en terrestrische natuur. Uiteraard zijn er interacties tussen het aquatische en het terrestrische systeem in overgangszones, zoals we die in moerassen, natte heide en hoogveencomplexen en in beekdalen vinden.

Aquatische natuur ondervindt alleen negatieve gevolgen, terwijl terrestrische natuur incidenteel ook positieve gevolgen laat zien. In het water en op het land zijn vijf processen direct en indirect verantwoordelijk voor de negatieve gevolgen. Het betreft:

- Toename in voedselrijkdom door versnelde mineralisatie veroorzaakt door hogere temperaturen eventueel in combinatie met verdroging.
- Droogte, leidend tot sterfte van planten en dieren, veroorzaakt door droge periodes, in de zomer gecombineerd met hoge temperaturen.
- Afspoeling en toevoer van nutriënten bij extreme neerslag.
- Meer inlaat van gebiedsvreemd water dat vaak van slechte kwaliteit is bij droogte.
- Verschuiven van klimaatzones leidt tot veranderingen in soortensamenstelling, waarbij meebewegen van soorten met geschikt klimaat belemmerd wordt door habitatfragmentatie.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de waterdynamiek door extremen in neerslag toeneemt en afvoeren en peilen wisselender worden, daarnaast leidt de toenemende verdroging tot versterking van verzilting, verzuring van de bodem en verzuiging.

Naast deze effecten op standplaatsfactoren worden ook verschuivingen in soortensamenstelling verwacht. Oorzaken zijn enerzijds verschuiving van geschikte klimaatzones die invloed hebben op het voorkomen van soorten. Anderzijds leiden verschillen in gevoeligheid van soorten op veranderingen in het klimaat tot veranderingen in interacties tussen soorten, die een verscheidenheid aan effecten op de soortensamenstelling van ecosystemen kan hebben. Al deze veranderingen leiden tot verlies van biodiversiteit.

Op het land kan de toename van de winterneerslag gunstig uitpakken voor de waterbeschikbaarheid van enkele natte en vochtige beheertypen. En zachtere winters zouden mogelijk gunstig kunnen zijn voor weidevogels. Droogte kan leiden tot afsterven van delen van vegetaties wat de dynamiek in de ecosystemen versterkt. Voor een aantal drogere systemen zoals stuifzanden en open duinen kan dit positieve gevolgen hebben voor de biodiversiteit. Toename van dynamiek in bossen door windworp is gunstig voor de variatie in het bos.

#### *Kwetsbaarheid*

De zeer uitgebalanceerde ecosystemen van hoogvenen, laagveenmoerassen, natte heides en venen hebben aquatische en terrestrische aspecten en behoren zowel aquatisch als terrestrisch tot de meest kwetsbare. Aquatisch zijn kleine systemen het meest kwetsbaar vooral wanneer ze ook temperatuurgevoelig zijn zoals bronnen en beekbovenlopen. Maar ook voedselarme of matig voedselrijke kleine wateren behoren tot de kwetsbaarste zoals kleine duinwateren en oligo- tot mesotrofe poelen.

De kwetsbare natte schraalgraslanden zijn afhankelijk van gebufferd (kwel)water en zullen in waarde achteruitgaan door droogte, daarbij schuilt ook het gevaar van de verslechterende waterkwaliteit wanneer droogte gecompenseerd wordt door inlaat met gebiedsvreemd water.

Op het land zullen natte duinvalleien vanwege zandsuppletie mogelijk beter gebufferd zijn tegen uitdrogen, omdat de duinstrook door zandsuppletie breder wordt en meer water kan bevatten, wat doorwerkt in de waterbeschikbaarheid voor de natte duinvalleien. Kwelders worden door de vergroting van overstromingsdynamiek gevarieerder, waardoor de kwetsbaarheid afneemt. Vochtige graslanden zouden vanwege de nattere winters meer veerkracht kunnen krijgen, wanneer de waterbalans gunstig uitpakt en mits het extra water van voldoende kwaliteit is.

#### *Natura 2000-gebieden*

De Natura 2000-gebieden bevatten meestal de meer voedselarmere en stabielere ecosystemen met een hogere biodiversiteit. De natuurlijke beekdalen, hoogvenen, mesotrofe laagveenmoerassen, oligotrofe natte heides en venen en vennen behoren tot de meest kwetsbare. Aquatische zijn dit vaak kleinere wateroppervlakken die het meest gevoelig zijn voor temperatuurswisselingen, eutrofiëring en of hydrologische dynamiek. Het betreft in de beekdalen de bronnen en beekbovenlopen, op de armere zandgronden en duinen de voedselarme of matig voedselrijke kleine wateren en in de laagveengebieden de mesotrofe petgaten en plasjes. In de Natura 2000-gebieden die deze typen oppervlaktewateren herbergen zouden bij voorrang mitigerende maatregelen moeten worden uitgevoerd om de huidige biodiversiteit zoveel mogelijk te behouden.

Bij de terrestrische typen in Natura 2000-gebieden zijn de natte heides, hoogvenen vooral kwetsbaar door de combinatie van gevoeligheid voor uitdroging en eutrofiëring met een hoog aandeel terugtrekkende soorten. Inzetten op verbeteren abiotische (hydrologische) kwaliteit én ruimtelijke samenhang zijn van belang. Vanwege een sterk versnipperde situatie is aandacht voor de huidige kwaliteit onmisbaar. Daarnaast zijn de vochtige bossen, ook vaak gekoppeld aan de eerder genoemde beekdalen, hoog- en laagveen, kwetsbaar door gevoeligheid voor uitdroging en dynamiek. Aandacht voor herstelvermogen via een robuuste ruimtelijke samenhang is van belang.

#### *Adaptatie en veerkracht*

In het kader van klimaatverandering is het streven naar veerkrachtige systemen een passende adaptatiestrategie. Veerkrachtige systemen zijn in staat om verstoringen op te vangen, zonder dat ze zich ontwikkelen naar een toestand die niet meer te vergelijken is met de oorspronkelijke toestand (in structuur en processen) (Kramer en Geijzendorffer, 2009). Een belangrijk kenmerk van klimaatverandering is dat het onzeker is wanneer en waar precies extremen optreden. Een kenmerk van veerkrachtige systemen dat ze beschikken over adaptief vermogen, waardoor ze zich kunnen aanpassen aan onvoorspelbare verstoringen en dynamiek, zoals de extremen in het weer.

De processen die zich als gevolg van klimaatverandering in aquatische en terrestrische systemen afspelen blijken zeer vergelijkbaar. In generieke zin zijn de adaptatiestrategieën daarom ook veelal gelijk, vooral waar het de aanpak van droogte en problemen met wateroverlast betreft. De belangrijkste adaptatiemaatregelen in dat kader zijn waterberging en waterretentie. We stellen voor dat adaptatiemaatregelen op regionale schaal en integraal uitgevoerd moeten worden. Op die manier helpen de adaptatiemaatregelen de veerkracht van ecosystemen te versterken, vooral voor de standplaatsfactoren. Adaptatiemaatregelen die daarnaast de veerkracht van terrestrische ecosystemen vergroten, zijn het vergroten van gebieden, het versterken van de gebiedsheterogeniteit en het vergroten van de connectiviteit tussen natuurgebieden onderling en met het omringende landschap. Aanpak binnen grote landschappelijke eenheden is het meest effectief (Opdam en Pouwels, 2006). In aquatische systemen kan de veerkracht worden versterkt door adaptatiemaatregelen op de schaal van het stroomgebied of de waterbeheereenheid. Daarmee worden eveneens zowel heterogeniteit als connectiviteit vergroot. Een goede ecologische kwaliteit van het ecosysteem speelt in aquatische systemen een belangrijke additionele rol: een natuurlijk systeem heeft grotere weerstand en veerkracht ten opzichte van een gestresst systeem.

Om de negatieve gevolgen van klimaatverandering op te vangen is er intensiever beheer nodig. Bijvoorbeeld, de toename in voedselrijkdom door versnelde mineralisatie als gevolg van klimaatgerelateerde temperatuurstijging kan in terrestrische en aquatische systemen deels worden opgevangen door vaker te maaien/baggeren en het maaisel/de bagger af te voeren. Echter, het risico van het intensiveren van verschalend beheer is dat de bodem- en vegetatiestructuur beschadigd worden. De opbouw van een humuslaag of het voltooiën van de levenscyclus (bijvoorbeeld produceren van zaad door planten) worden verstoord door dergelijke maatregelen. Een duurzame oplossing ligt in het bestrijden van de bronnen van nutriënten in water, bodem en lucht. De belangrijkste adaptatie op de negatieve gevolgen van grotere neerslagdynamiek en verdroging (nattere winters, drogere zomers en extreme neerslag) voor zowel aquatische als terrestrische natuur ligt in het vergroten van het waterbergend vermogen binnen bovenstroomse gebieden. Deze maatregelen zijn effectiever als ze op grotere schaal en als integraal waterbeheer uitgevoerd worden. Daarnaast gelden maatregelen die helpen lokaal de extremen op te vangen door verbeteren abiotische kwaliteit, voldoende heterogeniteit en waar mogelijk het vergroten van de oppervlakte van gebieden. De afweging welke van de afzonderlijke benaderingen (inzetten op kwaliteit, heterogeniteit of oppervlakte?) hangt af van de huidige situatie en mogelijkheden die in gebieden aanwezig zijn.

#### *Win-win*

Verslechtering van de waterkwantiteit en -kwaliteit is één van de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur. Dit geldt zowel voor aquatische als voor terrestrische ecosystemen. Een integrale aanpak van aquatische en terrestrische systemen, op grotere ruimtelijke schaal, zal voor beide systemen grote winst opleveren.



# 1 Inleiding

Er bestaat geen twijfel meer over dat klimaatverandering belangrijke gevolgen zal hebben voor de Nederlandse natuur. Enerzijds is veel bekend over de directe mechanismen van klimaatverandering en anderzijds over de ecologische eigenschappen van organismen, maar het Nederlandse beleid vraagt kennis over de specifieke gevolgen van klimaatverandering op de natuurdoelen. Wat zijn de achterliggende mechanismen van klimaatverandering in relatie tot aquatische en terrestrische ecosystemen? Dit rapport biedt een gestructureerd overzicht van directe gevolgen van klimaatverandering voor natuurdoelen en adaptatiemaatregelen voor aquatische en terrestrische natuur. Het rapport beschrijft landschapsecologische processen en functionele relaties in aquatische en terrestrische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering, de invloed van nieuwe soortgroepen daarin, analyseert de kwetsbaarheid van natuurdoelen voor klimaatverandering en geeft een overzicht van adaptatiemaatregelen.

## 1.1 KNMI-scenario's

De meest recente KNMI'06-klimaatscenario's voor 2050 (Van den Hurk et al., 2006) zijn te verdelen in gematigde en warme scenario's. Het gematigde scenario (G) gaat uit van een gemiddelde stijging van de wereldtemperatuur voor 2050 met 1 °C ten opzichte van 1990, terwijl het warme scenario (W) uitgaat van een stijging met 2 °C. Potentiële veranderingen in de luchtcirculatiepatronen boven Europa vormen de basis voor nog twee scenario's: (i) een sterke verandering in circulatiepatronen, met als gevolg warmere en vochtigere winters (door een toename in westelijke stromingen) en een grotere kans op droge en warme zomers (als gevolg van stromingen met een sterk oostelijk karakter in de zomer) en (ii) slechts een kleine verandering in circulatiepatronen (tabel 1).

**Tabel 1**

*KNMI'06-scenario's voor het klimaat van Nederland in 2050 (Van den Hurk et al., 2006).*

KNMI'06-scenario	Wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging in 2050 (t.o.v. 1990)	Verandering van luchtcirculatiepatronen
G	+1 °C	klein
G+	+1 °C	groot
W	+2 °C	klein
W+	+2 °C	groot

Hierop gebaseerd zijn de volgende veranderingen van het klimaat in Nederland te verwachten (Van den Hurk et al., 2006) (tabel 2).

### Neerslag

- In de winter worden weinig veranderingen in het aantal dagen met neerslag verwacht. In de zomer wordt een afname van de neerslagfrequentie verwacht van 10-20% voor de G+- en W+-scenario's.

- De toename van de gemiddelde neerslag in de winter wordt vooral veroorzaakt door een toename van de hoeveelheid neerslag op natte dagen. De mate waarin is sterk afhankelijk van de circulatie. In de zomer heeft een verandering van de luchtcirculatiepatronen een afname van het aantal dagen met neerslag (en daarmee de gemiddelde neerslag) tot gevolg, maar laat geen veranderingen in gemiddelde neerslag zien. De hoeveelheid neerslag op een dag met regen stijgt bij een veranderende circulatie (4-9%).
- De hoeveelheid extreme neerslag neemt toe, in de winter volgt dit de veranderingen in de gemiddelde neerslag. Ook in de zomer neemt extreme neerslag in alle scenario's toe, de mate waarin verschilt per scenario.

## Temperatuur

- *Winter*  
Een verandering in de luchtcirculatiepatronen heeft grote invloed op de gemiddelde en laagste temperatuur in de winter: de temperatuur op de koudste dagen stijgt meer dan gemiddeld en de gemiddelde temperatuur stijgt meer dan de wereldtemperatuur voor dat scenario. Bij een onveranderde circulatie vertonen de laagste en gemiddelde temperatuur een gelijke stijging. Deze toename is minder dan de gemiddelde toename op wereldschaal.
- *Zomer*  
De circulatie heeft een verschillend effect op de gemiddelde temperatuurstijging en de temperatuur van de warmste dagen. Een verandering in luchtcirculatiepatronen heeft een temperatuurstijging tot gevolg die groter is dan het regionale gemiddelde, met een nog grotere stijging van extreme temperatuurwaarden. Slechts een kleine verandering in circulatie veroorzaakt een klein verschil tussen de toename in gemiddelde en extreme waarden en een toename die minder is dan de gemiddelde wereldwijde temperatuurstijging.

**Tabel 2**

*Overzicht van de klimaatveranderingen corresponderend met de KNMI'06-scenario's voor verschillende temperatuur- en neerslagvariabelen (Van den Hurk et al. 2006).*

Variabele	G	G+	W	W+
<i>Zomer</i>				
Gemiddelde temperatuur (K)	+0,9	+1,4	+1,7	+2,8
Temperatuur warmste dag (K)	+1,0	+1,9	+2,1	+3,8
Gemiddelde neerslag (%)	+2,8	-9,5	+5,5	-19,0
Frequentie optreden natte dagen (%)	-1,6	-9,6	-3,3	-19,3
Gemiddelde neerslag op natte dag (%)	+4,6	+0,1	+9,1	+0,3
Neerslag op 1% natste dagen (%)	+12,4	+6,2	+24,8	+12,3
<i>Winter</i>				
Gemiddelde temperatuur (K)	+0,9	+1,1	+1,8	+2,3
Temperatuur koudste dag (K)	+1,0	+1,5	+2,1	+2,9
Gemiddelde neerslag (%)	+3,6	+7,0	+7,3	+14,2
Frequentie optreden natte dagen (%)	+0,1	+0,9	+0,2	+1,9
Gemiddelde neerslag op natte dag (%)	+3,6	+6,0	+7,1	+12,1
Neerslag op 1% natste dagen (%)	+4,3	+5,6	+8,6	+11,2
Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar (%)	0	+2	-1	+4



## 2 Aquatische natuur

### 2.1 Processen in aquatische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering

Het proces van klimaatverandering kan worden vertaald naar een aantal landschapsecologische processen die op hun beurt kunnen worden gekoppeld aan veranderingen in aquatische levensgemeenschappen. De landschapsecologische processen verschillen per type waterlichaam, daarom zijn in dit rapport eerst de belangrijkste processen/stuurfactoren als gevolg van klimaatverandering op landschapsschaal beschreven en vervolgens zijn deze processen gekoppeld aan waterlichamen (een aantal gekozen 'werktypen').

#### 2.1.1 Keuze werktypen

In het natuurbeleid wordt momenteel gewerkt met beheertypen uit de Index NL (Schipper en Siebel, 2008). Omdat de indeling van beheertypen voor aquatische natuur voor het doel van deze studie te grof is, is aan de hand van de beheertypen en de hoofdtypen van het Aquatisch Supplement een keuze gemaakt van een aantal werktypen (tabel 3). Deze zeventien werktypen sluiten het beste aan bij de variatie in landschapsecologische processen die relevant zijn voor oppervlaktewateren in Nederland.

**Tabel 3**

*Keuze van werktypen voor deze studie, aan de hand van de koppeling tussen beheertypen Index NL en Aquatisch Supplement hoofdtypen.*

Btcode	Beheertype	Werktype	Aquatisch Supplement hoofdtype	Boekdeel
N02.01	Rivier	rivier	wateren in het rivierengebied	3
N03.01	Beek en bron	bron	bronnen	1
		droogvallend	beken	2
		permanent		
		riviertje		
N04.01	Kranswierwater	meer	rijksmeren	9
N04.02	Zoete plas	plas	laagveenwateren, wingaten	7, 8
		sloot	sloten	6
N04.03	Brak water	brak water	brakke binnenwateren	4
N05.01	Moeras	broekmoeras		
		hoogveen moeras		
		laagveen moeras		
N06.01	Veenmosrietland en moerasheide			
N06.05	Zwakgebufferd ven	ven	vennen	13
N06.06	Zuur ven of hoogveenven			
N08.03	Vochtige duinvallei	duinwater (groot en klein)	zoete duinwateren	12
N18.01	Poel en klein historisch water	poel	poelen	5
		kanaal	regionale/rijkskanalen	10/11
		Totaal=17		

## 2.1.2 Effecten van klimaatverandering op landschapsecologische processen in aquatische systemen

De KNMI-klimaatscenario's (2006) kunnen worden vertaald naar de volgende effecten van klimaatverandering op aquatische systemen (Verdonschot et al., 2005; Besse-Lototskaya et al., 2007):

- Watertemperatuurstijging van ca. 2 °C (verhoging van minimale, gemiddelde en maximale watertemperatuur).
- Stijging van de gemiddelde neerslag in de winter.
- Toename in frequentie en duur van perioden van droogte (warmere drogere zomers).
- Toename in frequentie van extreme neerslagincidenten.
- Toename in windsnelheid.

De bovengenoemde veranderingen sturen op hun beurt een aantal abiotische en biotische landschapsecologische processen in Nederlandse wateren. De meest sturende processen zijn opgesomd in tabel 4.

**Tabel 4**

*Overzicht van belangrijke parameters/processen van klimaatverandering op de landschapsecologische processen in Nederlandse wateren.*

Drivers	Landschapsecologische processen	Temperatuur		Neerslag		Wind
		stijging	winter natter	zomer-droogte	zomer-neerslag-extremen	
abiotisch						
	nutriëntenhuishouding <i>eutrofiering (algen, troebel, lichtlimitatie)</i>	mineralisatie/sulfaatreductie uitspoeling (nutriënten uit oevers)	x		x	
		afspoeling (nutriënten, org. materiaal, sediment)		x		x
		inlaat			x	
	waterhuishouding	golfslag (erosie en resuspensie)				x
		waterbeweging		x	x	
		peilwisseling (oevermineralisatie/indamping)	x	x	x	
		afvoerwisseling (erosie)		x	x	x
		inundatie (uitwisseling nutriënten)		x		x
	zuurstofhuishouding	zuurstofdaling	x			
	droogval	opdrogen			x	
	stratificatie	instraling	x			
		wind				x
	chloride	saltspray				x
		indamping	x		x	
		zoute kwel			x	

**Tabel 4 (vervolg)**

Overzicht van belangrijke parameters/processen van klimaatverandering op de landschapsecologische processen in Nederlandse wateren.

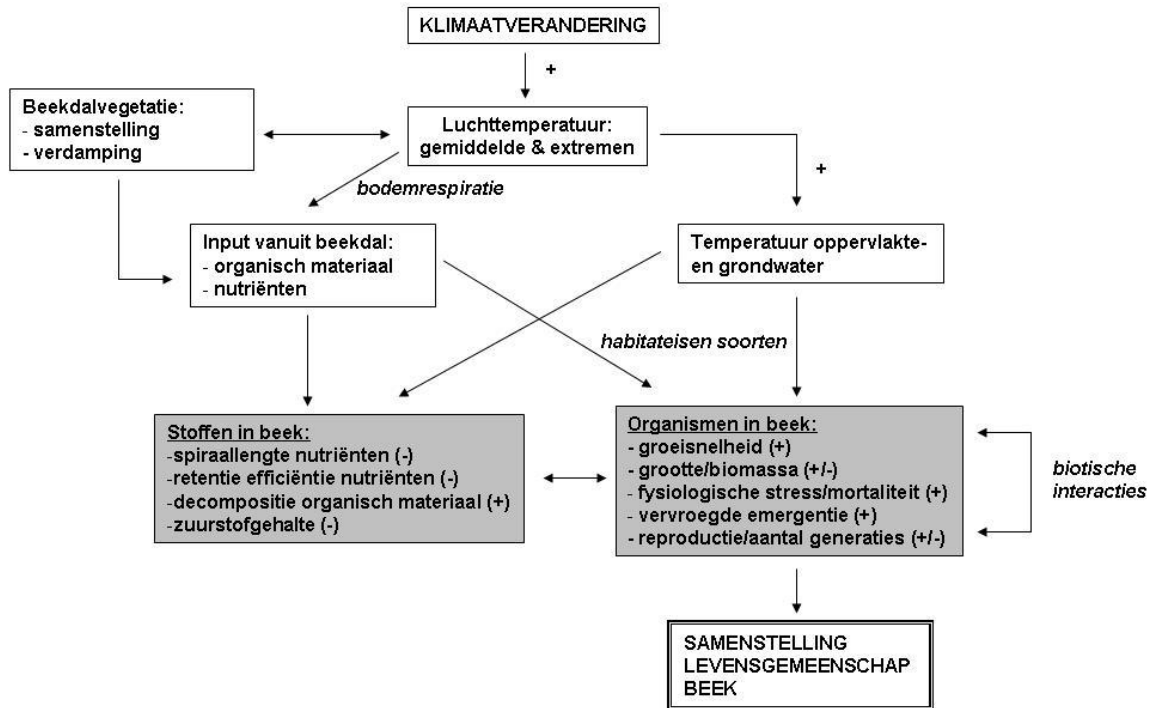
Drivers	Landschapsecologische processen		Temperatuur		Neerslag		Wind	
			stijging	winter natter	zomer-droogte	zomer-neerslag-extremen		
biotisch	verlanding	successie	x	x	x	x		
		algenontwikkeling	bloei	x	x	x	x	
	dispersie		flab	x	x	x	x	
			blauwwierbloei	x	x	x	x	
			exoten	x				
			ziekten	x				x
	connectiviteit	verbindingen		x	x		x	
	voedselketen		mismatch	x				
			fenologie	x				
			biomassa	x				
	thermofilie	koud stenotherme verdwijnen	x					

### 2.1.2.1 Abiotische sturende processen

De belangrijkste abiotische sturende processen die door klimaatverandering worden beïnvloed treden op in temperatuur-, water-, nutriënten- en zuurstofhuishouding. Ook spelen droogval en veranderingen in stratificatie en chlorideconcentratie een belangrijke rol in aquatische systemen.

#### Temperatuurhuishouding

Veranderingen in de temperatuurhuishouding hebben directe effecten op de flora en fauna van oppervlaktewater. Dit is voor stromende wateren geïllustreerd in figuur 1. Veranderende concurrentieverhoudingen (sommige soorten groeien bijvoorbeeld sneller, maar de uiteindelijke grootte is kleiner -> minder nakomelingen, terwijl andere soorten meer generaties voortbrengen) kunnen zorgen voor veranderende soortensamenstelling. Ook het optreden van vervroegde emergentie en reproductie kan invloed hebben. Op het niveau van levensgemeenschappen is dit echter onvoldoende onderzocht. Duidelijk is dat de effecten sterk per systeem en per soort/genus verschillen. Ook verhoogt de toename in de biomassa van macrofyten de gemiddelde watertemperatuur en amplitude van de dagelijkse variaties.



**Figuur 1**

De effecten van een temperatuurstijging op ecosystemen van stromende wateren als gevolg van klimaatverandering. Onderlinge relaties worden weergegeven met pijlen. De verandering heeft een toename (+) of een afname (-) van bepaalde processen tot gevolg. In de grijze blokken worden de effecten op het beekecosysteem gegeven, onderverdeeld in de effecten op stoffen (zie ook hoofdstuk 6) en organismen. Aan de morfologie en samenstelling van de levensgemeenschap van de beek (blokken met een dubbele omlijning) kunnen de veranderingen in het ecosysteem als gevolg van klimaatverandering worden afgelezen.

## Waterhuishouding

### Golfslag

Als gevolg van de toename in windwerking wordt het bodemsediment in wateren met een groter oppervlak herverdeeld. Dit versterkt erosie en slibafzettingen. Sterkere windwerking zorgt voor sterkere opwerveling, vertroebeling en zuurstofverarming van het water, vooral in wateren met kleiige en slibrijke bodem. Deze factoren leiden tot limitatie van primaire productie door gebrek aan licht en zuurstof. Niet-wortelende macrofyten kunnen zich niet handhaven op plaatsen waar veel waterbeweging is en zullen naar een beschutte plaats drijven.

In grote, weinig beschutte wateren kan ook een golfslagzone worden aangetroffen op de meest aan de wind geëxposeerde zijde (meestal aan de oost-oever). Ook op de oever kan de wind effect hebben. Erosie en oeverafslag treden op indien een oever op de wind ligt. Een eroderende oever herbergt over het algemeen weinig organismen en verlanding treedt niet op. In grote wateren kunnen oevers sterk verschillen afhankelijk van de beschutting. Klimaatverandering zal deze dynamiek (erosie, verlanding, golfslag en circulatiestromen) verder versterken. De levensgemeenschappen zullen hierdoor meer stress ervaren, zoals minder beschutting door vegetatie en instabieler sediment.

#### *Waterbeweging*

Door de veranderingen in het neerslagpatroon wordt ten opzichte van de huidige situatie in de winterperiode de verblijftijd van het water korter; in de zomerperiode wordt de verblijftijd langer. Deze veranderingen leiden mogelijk tot verlaging van de nutriëntenverrijking in de winter en verhoging van de nutriëntenverrijking in de zomer. In stilstaande, lijnvormige wateren zal de stromingsdynamiek groter worden en zullen de soorten zich moeten aanpassen aan de perioden met sterkere en zwakkere waterbeweging.

#### *Peilwisseling*

In stilstaande wateren zal de toename in de winterneerslag leiden tot een hoger waterpeil in de winter (meer volume water). De toename in de duur en frequentie van perioden van droogte in de zomer leidt tot een lager waterpeil waardoor de oeverzone vaker uitdroogt en verder mineraliseert. Bij frequente afwisseling tussen nat en droog zal echter fosfaat beter in de bodem vastgehouden worden en zal dus minder uitspoelen dan bij langere perioden van inundatie of waterverzadiging.

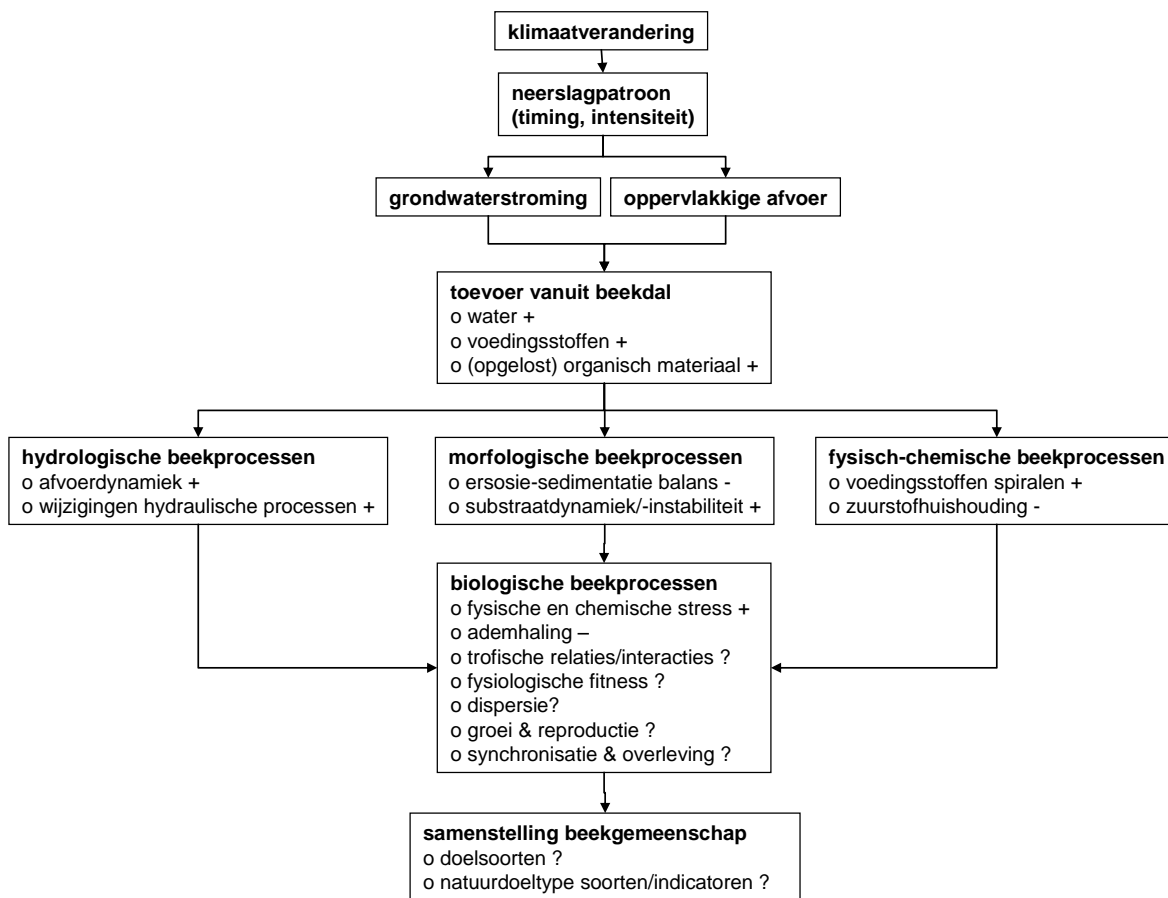
De vergrote dynamiek van het waterpeil als gevolg van veranderingen in het neerslagpatroon zorgt voor de versnelling van de mineralisatie van de oeverzone waardoor grotere schommelingen in voedselrijkdom in de waterkolom optreden. In kalkhoudende wateren leidt peilwisseling tot schommelingen in het bicarbonaatgehalte (Verdonschot en Janssen, 2000). Deze schommelingen hebben een destabiliserend effect op de levensgemeenschappen in het water.

#### *Afvoerwisseling*

In stromende wateren werken klimaatgerelateerde veranderingen in het neerslagpatroon door op de afvoerdynamiek met als gevolg:

- een toename van de gemiddelde afvoer;
- een toename in de frequentie en duur van extreme (hoge en lage) afvoeren.

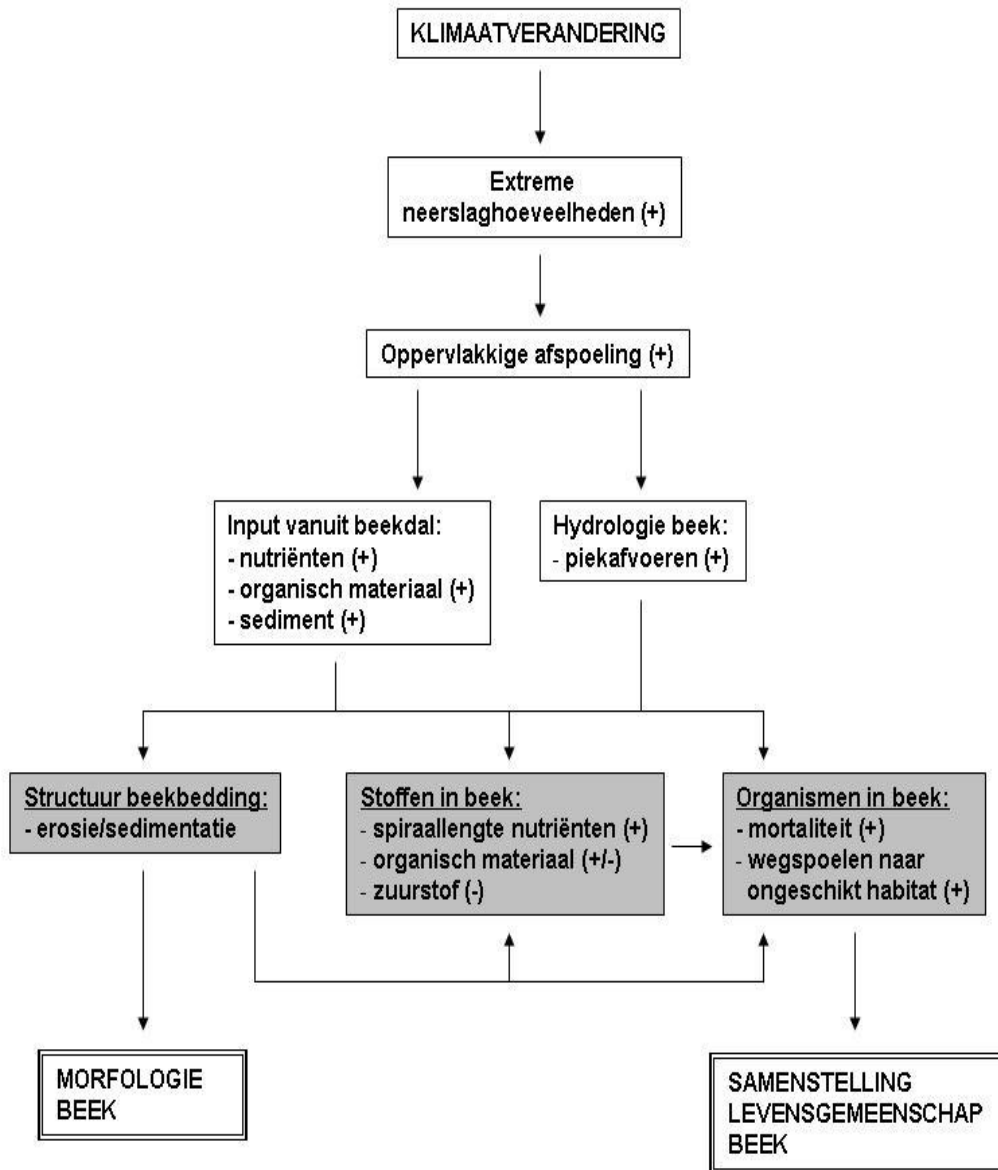
Figuur 2 geeft schematisch de effecten van een toename van de gemiddelde afvoer in stromende wateren, zoals die voorspeld worden voor het winterhalfjaar. Dit heeft vooral effecten op de langere termijn.



**Figuur 2**

*De effecten van een verandering van de afvoer in het winterhalfjaar voor ecosystemen van stromende wateren.*

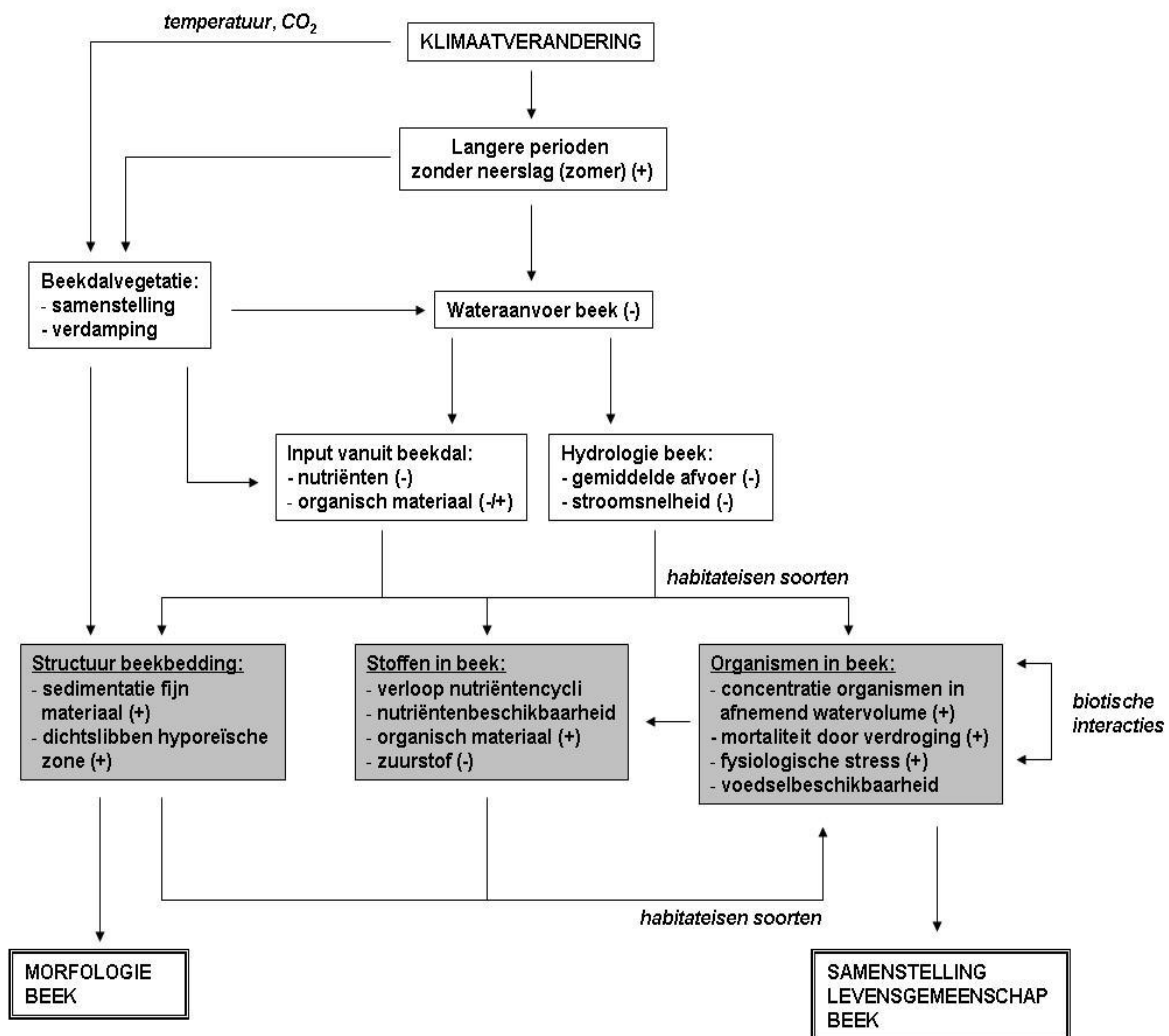
Figuur 3 geeft schematisch de effecten weer op ecosystemen van stromende wateren bij een toename van extreme neerslaghoeveelheden als gevolg van klimaatverandering, dat zich uit in de vorm van extremere (hogere) piekafvoeren.



**Figuur 3**

De effecten van een toename van piekafvoeren op ecosystemen van stromende wateren als gevolg van een klimaatverandering. Onderlinge relaties worden weergegeven met pijlen. De verandering heeft een toename (+) of een afname (-) van bepaalde processen tot gevolg. In de grijze blokken worden de effecten op het beekecosysteem gegeven, onderverdeeld in structuur van de beekbedding, stoffen (zie ook hoofdstuk 6) en organismen. Aan de morfologie en samenstelling van de levensgemeenschap van de beek (blokken met een dubbele omlijning) kunnen de veranderingen in het ecosysteem als gevolg van klimaatverandering worden afgelezen.

Figuur 4 beschrijft schematisch de effecten van een toename van de frequentie en duur van perioden met een lage afvoer in de zomer. In sommige beken leidt dit tot verdroging.



**Figuur 4**

De effecten van een toename van de frequentie en duur van verdroging in de zomer voor ecosystemen van stromende wateren. Onderlinge relaties worden weergegeven met pijlen. De verandering heeft een toename (+) of een afname (-) van bepaalde processen tot gevolg. In de grijze blokken worden de effecten op het beekecosysteem gegeven, onderverdeeld in structuur van de beekbedding, stoffen (zie ook hoofdstuk 6) en organismen. Aan de morfologie en samenstelling van de levensgemeenschap van de beek (blokken met een dubbele omlijning) kunnen de veranderingen in het ecosysteem als gevolg van klimaatverandering worden afgelezen.

In stromende wateren zorgen de veranderingen in het neerslagpatroon dus voor een toename in wisseling in de afvoeren. In kleine stromende wateren (zoals bronnen, boven- en middenlopen) is het effect het grootst. In de zomer zullen deze wateren sneller stil vallen of uitdrogen. Omgekeerd zorgt een toename in de frequentie van extreem hoge neerslag voor frequentere en hogere piekafvoeren, die op hun beurt negatief effect hebben op de heterogeniteit van de substraten en de biodiversiteit in een beek (figuur 2). De totale vergroting van de afvoerdynamiek (wisseling tussen de afvoerextremen) is een additionele stressor voor ecosystemen van



stromende wateren. De veerkracht van een ecosysteem tegen de vergrote dynamiek speelt hier een belangrijke rol. De verstoringgraad van een systeem bepaalt de mate van het effect op de levensgemeenschap. Bijvoorbeeld de effecten van vergrote afvoerdynamiek als gevolg van klimaatverandering zullen in een natuurlijke, meanderende beek minder sterk zijn dan die in een voedselrijke, gekanaliseerde beek.

Erosie van de oevers als gevolg van vergrote afvoerdynamiek speelt ook een rol in stromende wateren en kan leiden tot vergroting van de bodeminstabiliteit. Lage afvoeren leiden tot verslibbing van de bodem. Verslibbing zelf leidt tot sterfte van bodembewonende organismen als direct gevolg maar ook via het verlies van substraatheterogeniteit.

#### *Inundatie*

In niet-gekanaliseerde, stromende systemen zullen de effecten van vergrote afvoerdynamiek zich uiten in het (frequentere) voorkomen van inundatie van beek- en rivieroevers. Omdat inundaties zorgen voor de uitwisseling van nutriënten tussen de beek/rivier en het beek- of rivierdal zal de toename van inundaties meestal leiden tot voedselverrijking van het water in de beek/rivier zelf.

### **Droogval**

#### *Wateren met peilbeheer*

In wateren met een waterafvoerende functie die in natuurgebieden liggen wordt een natuurlijker peil gehandhaafd. Zonder gericht menselijk ingrijpen overheerst in de winterperiode, wanneer er sprake is van een neerslagoverschot, een hoge grondwaterstand en een hoog waterpeil. De wateren voeren dan water af, in de droge en warme zomerperiode daalt het peil door afname van de watertoevoer en toename van de verdamping, de oppervlakkige grondwaterstroming stagneert dan vrijwel of slaat om in een toestand waarbij water indringt in de bodem en/of het omringende gebied. In het uiterste geval zijgt het water weg en valt het waterlichaam droog (dit zal op zandgrond het snelste optreden). Onder de invloed van klimaatverandering zal deze situatie, waarbij de wateren in de zomer dreigen droog te vallen, vaker voorkomen. Om deze wateren in natuurgebieden niet droog te laten vallen moet de natuurlijke peilhandhaving vervangen worden door actief peilbeheer, het alternatief is de wateren droog te laten vallen en voor een ander type natuur te kiezen. In de zomer dient dan (meer) voedselrijker en/of gebiedsvreemd water te worden ingelaten om het waterlichaam nat te houden. De meest geïsoleerde wateren met een hogere natuurwaarde en vaak gebiedseigen voedselarm water worden dan het meest beïnvloed.

#### *Wateren zonder peilbeheer*

Door klimaatverandering zullen stromende wateren en stilstaande wateren waar geen peilbeheer wordt toegepast (vaker) droogvallen. Wateren die normaal gesproken in de zomer alleen gedeeltelijk droogvallen zullen waarschijnlijk in de toekomst volledig droogvallen. Droogval leidt tot mineralisatie van de waterbodem, wat nadat het waterlichaam weer water bevat, leidt tot eutrofiëring of saprobiëring. Na een periode van droogte volgt een periode van een 'pionierstoestand', het eerste stadium van successie, waarbij alleen kolonisatoren de kans krijgen om zich in het water te vestigen. Het kan enige tijd duren tot de biodiversiteit zich heeft hersteld. Het kan zijn dat de volgende periode van droogte plaats vindt voordat de levensgemeenschap zich geheel heeft kunnen herstellen, dan blijft dit water in een continue 'pionierstoestand'.

### **Morfologie**

#### *Instraling (stratificatie)*

In diepe, stilstaande wateren (>6 m) wordt gedurende de zomerperiode vaak stratificatie waargenomen (Jaarsma en Verdonschot, 2000c). Stratificatie ontstaat wanneer gedurende windstille perioden met veel zoninstraling de bovenlaag sterk in temperatuur oploopt. Er ontstaan dichtheidsverschillen tussen de ondiepe en de diepe delen waarna geen menging meer optreedt. Tijdens de stratificatieperiode kan het hypolimnion

(de onderste laag) door de afbraak van organisch materiaal zuurstofarm of zelfs zuurstofloos worden waardoor het hypolimnion vaak ongeschikt wordt voor macrofauna en vissen. Er zijn maar weinig faunasoorten aangepast aan deze lage zuurstofgehalten aan de bodem.

In het najaar dalen de temperatuur en de lichtintensiteit en koelt het epilimnion af. De temperatuurs- en dus ook dichtheidsverschillen tussen de waterlagen nemen af tot het moment dat, al dan niet door windwerking, weer menging optreedt (destratificatie). Wanneer in het najaar destratificatie optreedt, mengt zich het water uit het hypolimnion met het bovenste water. Afhankelijk van de volumeverhouding tussen de verschillende lagen en het zuurstofgehalte in het hypolimnion kunnen er problemen optreden in de zuurstofhouding. Hoe groter het volume van het (zuurstofarme) hypolimnion ten opzichte van het (zuurstofrijke) epilimnion, hoe groter het zuurstofprobleem in het gehele waterlichaam bij destratificatie.

In de winter kan omgekeerde stratificatie optreden, waarbij het water onderin een temperatuur van 4 graden Celsius heeft. Bij deze temperatuur heeft water de hoogste dichtheid en kan kouder water bovenop het warmere drijven.

Het wel of niet optreden van stratificatie is afhankelijk van de diepte van het water. Daarbij bestaat een positieve correlatie met de strijklengte en de begindiepte van het metalimnion (overgangslaag).

Het gevolg van de klimaatgestuurde temperatuurstijging op het temperatuurverloop in diepe, stilstaande wateren is seizoensafhankelijk. Met name zijn er effecten in de zomer te verwachten wanneer door temperatuurstijging het hypolimnion zich uitbreidt:

- Verarming van de fauna in het hypolimnion door de verlenging van de zuurstofarme periode. Temperatuurverhoging zal resulteren in een langere periode van zomerstratificatie en de stratificatie zal sterker zijn door de hogere primaire productie. Door een langere stratificatieperiode zal zuurstofloosheid in de zomer optreden en ontstaan mogelijke zuurstofproblemen (zoals vissterfte) in het najaar bij destratificatie.
- Verschuiving van de benthische gemeenschappen over de verticale gradiënt bij het veranderen van het stratificatiepatroon. Er is weinig bekend over de verspreiding van benthische gemeenschappen over verticale gradiënt in relatie tot fysische factoren, zoals temperatuur en zuurstofgehalte. Van soorten die vrij in de waterkolom leven is bekend dat bepaalde vissoorten de temperatuurgradiënt in het water volgen. In combinatie met de verlenging van de zuurstofarme periode in het hypolimnion kan dit extra nadelige gevolgen hebben voor benthische gemeenschappen.
- Veranderingen in de nutriëntenvoorziening van het fytoplankton bij langere stratificatieperioden: verschuivingen in soortensamenstelling, bijvoorbeeld het optreden van blauwalgenbloei.

### *Wind*

De waterkolom van grotere wateren wordt beïnvloed door windwerking waarbij golfslag en waterbewegingen optreden (Jaarsma en Verdonshot, 2000c). Een toename van windwerking door klimaatverandering zal een remmende werking hebben op de stratificatie van de waterkolom (omgekeerd effect ten opzichte van wat optreedt door temperatuurstijging).

## **Nutriëntenhuishouding**

### *Mineralisatie, sulfaatreductie*

Door voortgaande stijging van de temperatuur en de toename in frequentie en duur van perioden van droogte worden microbiële afbraakprocessen gestimuleerd en processen zoals sulfaatreductie en mineralisatie versneld. Hierdoor neemt de afbraak van in de bodem geaccumuleerde organische stof sterk toe, waaruit o.a. fosfaat vrij komt en als gevolg interne eutrofiëring optreedt (Moss et al., 2003; Van Dam en Mertens, 2008). Deze processen leiden tot veranderingen in de voedselwebstructuur, waarbij dominantie optreedt van vis en fytoplankton in plaats van zooplankton en waterplanten. In ondiepe meren kan verrijking door nutriënten leiden tot een abrupte omkering van een transparant door macrofyten gedomineerd systeem naar een troebel fytoplankton gedomineerde staat (Scheffer et al., 1993). Klimaatverandering (vooral via eutrofiëring door temperatuurstijging) zal hierdoor een negatief effect hebben op de helderheid van ondiepe meren (Mooij et al., 2005).

### *Uitspoeling*

Een toename van perioden van droogte zal mineralisatie en uitspoeling van in de oeverbodem opgeslagen (zwavel)verbindingen versnellen waardoor de eutrofiëringseffecten worden versterkt.

### *Afspoeling*

Erosie van omliggende gebieden als gevolg van veranderende timing en intensiteit van het neerslagpatroon leidt tot:

- verhoging van de nutriëntenaanvoer met als gevolg eutrofiëring;
- verhoging van de aanvoer van organisch materiaal die tot saprobiëring leidt;
- verhoogde resuspensie van het bodemsediment, vertroebeling van het water en tijdelijke limitatie van primaire productie.

En omgekeerd, door het minder frequent voorkomen en het korter duren van perioden met een ijsdek zal er minder erosie van de oevers optreden. Hierdoor nemen resuspensie en troebelheid van het water af en neemt primaire productie toe. Echter, dit laatste proces is wat betreft omvang waarschijnlijk veel kleiner dan de op landschapsschaal optredende afspoeling.

### *Inlaat*

Een toename in de duur en frequentie van de perioden van droogte zal invloed hebben op het waterpeil. In wateren waar het peil kunstmatig beheerd wordt moet, wanneer niet voor een droogval situatie wordt gekozen, in de zomer een tekort aan water worden voorkomen door gebiedsvreemd water in te laten. Dit gebiedsvreemd water is vaak afkomstig uit een nabij gelegen rivier of kanaal en heeft vaak een andere chemische samenstelling (vaak voedselrijker) dan het gebiedseigen water. Dit heeft grote effecten, niet alleen op de chemische samenstelling van het waterlichaam maar ook op de ecologie. De grootste effecten zijn te verwachten in oligotrofe wateren (bijvoorbeeld sloten) waarvan de chemische samenstelling significant afwijkt van die van het voedselrijke inlaatwater.

## **Zuurstofhuishouding**

### *Zuurstofdaling*

De temperatuurstijging versnelt het afbraakproces van organisch materiaal door bacteriën waardoor het zuurstofgehalte van het water daalt. Zuurstofverarming of zuurstofloosheid van het water leidt tot sterfte. In een veranderend klimaat is vooral in ondiepe wateren met veel organisch materiaal op de bodem de verarming van de fauna en flora door de toename in anaërobe perioden groot. Hierbij speelt het gegeven dat bij hogere temperaturen ook minder zuurstof in het water in oplossing kan zijn.

### *Chloride*

De aanpassing aan wisselend lage zoutgehalten is voor de organismen moeilijker dan aan permanent lage zoutgehalten. In een stabiele zoutgradiënt kunnen euryhalien-mariene soorten tot veel lagere zoutgehalten voorkomen dan in een fluctuerende gradiënt (Den Hartog, 1964). Brakke wateren met een fluctuerend zoutgehalte zijn soortenarmer dan die met een constanter zoutgehalte (Heerebout, 1970). Organismen die leven in brakke milieus, waarin regelmatig fluctuaties in zoutgehalte voorkomen, hebben veelal morfologische en/of gedragsaanpassingen ontwikkeld. Morfologische aanpassingen zijn met name reductie in grootte en vormveranderingen (Remane en Schlieper, 1971). Gedragsaanpassingen zijn o.a. migratie van fauna (in getijdewateren), zich ingraven (bij borstelwormen) en het sluiten van huisjes bij slakken en schelpdieren, om extreme schommelingen in het zoutgehalte en droogte te overleven (De Boer en Wolff, 1996). Sommige plantensoorten hebben mechanismen ontwikkeld om opgenomen chloride-ionen actief uit te scheiden via secretiecellen. Daarnaast zijn er plantensoorten (o.a. van het geslacht *Ruppia*) die door aanmaak van niet-toxische en goed oplosbare organische verbindingen de osmotische waarde van het cytoplasma in hun cellen verhogen, tot

deze gelijk is aan die van de omgeving. Op deze wijze kunnen ze waterverlies voorkomen (Bloemendaal en Roelofs, 1988).

Remane en Schlieper (1971) beschreven het verband tussen het zoutgehalte van een water en de soortenrijkdom in de zogenaamde 'Kromme van Remane'. Beneden de grens van 300 mg Cl/l komen geen brakwaterorganismen meer voor. Het verdwijnen van sommige echte zoetwatersoorten begint al bij 300 mg Cl/l, en boven de 1000 mg Cl/l nemen deze sterk in aantal af. In het tussenliggende traject kunnen zich nog een groot aantal braktolerante zoetwatersoorten handhaven, vooral insecten zoals vedermuggen, waterwantsen en waterkevers. De 1000 mg/l wordt ook vaak als een grenswaarde beschouwd, omdat er tot deze waarde nog verscheidene zoetwatersoorten van nutriëntenrijke (belaste) wateren kunnen voorkomen. Boven deze waarde kunnen vrijwel alleen de echte brakwatersoorten zich handhaven.

Met het verder stijgen van het chloridegehalte daalt het aandeel van de insecten, en stijgt het aantal soorten kreeftachtigen (Krebs et al., 1995). Voor de echte brakwaterorganismen ligt het optimum tussen de 3.000 en 5.000 mg Cl/l. Rond de 10.000 mg Cl/l bereiken ze hun maximumgrens van voorkomen (WEW, 1995). In het gebied tussen de 3.000 en 5.000 mg Cl/l, het optimum van de échte brakwatersoorten, wordt juist ook het minimum aan soorten gevonden (Remane en Schlieper, 1971). Dit traject, waarin grote veranderingen optreden in de ionensamenstelling van het water, vormt min of meer de grens in het voorkomen tussen de zout- en zoetwaterorganismen. Het bovengenoemde soortenminimum komt voor bij macrofauna, macro-algen en vissen (De Boer en Wolff, 1996).

#### *Droogval*

Kleine, geïsoleerde brakke wateren zoals ringdobben kunnen in de zomer gedeeltelijk of geheel droogvallen als gevolg van een tekort aan neerslag en een hoge verdamping en/of wegzijging. Veel organismen die in dit watertype voorkomen, hebben dan ook een aangepaste levensstrategie aan de droogval in combinatie met een toename in chloridegehalte. Sommige plantensoorten (bijvoorbeeld *Zannichellia palustris subsp. pedicellata*) volbrengen hun levenscyclus in een korte periode, voordat hun groeiplaats uitdroogt. Ze zorgen voor een vroege en zeer rijke zaadproductie, en hun zaden kiemen zeer goed en snel zodra de bodem weer vochtig wordt. Een soort als zilte waterranonkel kan droge perioden overleven door de ontwikkeling van een landvorm (Van Vierssen en Verhoeven, 1983). Ook macrofaunasoorten kennen verschillende aanpassingen aan droogval van hun biotoop.

#### *Saltspray*

Het salt-spray regime (hogere chloridegehalte bij sterkere zeewind) is een belangrijke factor voor duinwateren in de kustgebieden. In een veranderend klimaat met een ander salt-spray regime in de zomer zal het ecosysteem van deze wateren zich moeten aanpassen aan dynamischere chloridegehalten. Deze aanpassing betekent vaak soortenarmere gemeenschappen. Omdat de effecten van de salt-spray zijn gerelateerd aan het oppervlak van het water, zijn de veranderingen in het salt-spray regime vooral belangrijk voor kleine duinwateren.

#### *Indamping*

In duinwateren zal klimaatverandering via de combinatie van temperatuurstijging en de toename in verdroging leiden tot meer indamping. Hierdoor nemen de chloride en andere concentraties van zouten toe. Het effect van indamping op de ecologische waterkwaliteit is groter naarmate het oppervlak groter is en de diepte geringer. De hardheid en de buffercapaciteit van het resterende water kan daardoor sterk toenemen (Brouwer et al., 1996).

#### *Zoute kwel*

##### – Verzilting

Een afgeleid effect van verdroging in laag Nederland is verzilting. In droge perioden neemt brakke kwel in veel zeekleipolders toe. Wanneer dit onvoldoende gecompenseerd kan worden door de aanvoer van

zoetwater, treedt verzilting op. Te hoge zoutconcentraties kunnen problemen veroorzaken in zoetwater afhankelijke natuur, zoals moerasheide en zwakgebufferde sloten (Paulissen et al., 2007).

– Schommelingen in chloride-gehalte

Door intensivering van neerslagpieken en frequentere en langere perioden van droogte worden (seizoens)-fluctuaties in het zoutgehalte in brakke wateren sterker. Aangezien de extreme chlorideconcentraties in hoge mate bepalen welke soorten in een water voorkomen schuift de levensgemeenschap op naar een soortenarmere gemeenschap met alleen euryhaline soorten.

### 2.1.2.2 Biotische sturende processen

#### Thermofilie

Een temperatuurstijging door klimaatverandering heeft niet alleen gevolgen voor de levensgemeenschappen op het niveau van de organismegroepen maar ook op het soortsniveau:

- Grote temperatuurfluctuaties hebben effect op de soortensamenstelling van de macrofauna. Voor sommige soorten kan in de zomer de letale maximumtemperatuur bereikt worden. Uitwijkmogelijkheden, zoals het koelere hypolimnion in diepe meren, zijn in ondiepe wateren veel minder voorhanden. Om hier concrete voorspellingen over te doen is meer kennis over de letale maximumtemperatuur voor de Nederlandse macrofauna noodzakelijk.
- Sommige eurytherme en warmteminnende macrofauna kunnen profiteren, maar er kunnen ook veranderingen optreden in concurrentieverhoudingen die op hun beurt weer zorgen voor een veranderende soortensamenstelling. Zo groeien sommige soorten bijvoorbeeld sneller maar de grootte van de volwassen dieren blijft dan kleiner. Het gevolg hiervan is dat er minder nakomelingen zijn terwijl bijvoorbeeld andere soorten groter worden en meer generaties voortbrengen. Op het niveau van levensgemeenschappen is dit echter onvoldoende onderzocht. Duidelijk is dat de effecten sterk per systeem en per soort/genus verschillen. Hoofdstuk 2.2 beschrijft de effecten van stijgende temperatuur op de komst van nieuwe soorten.
- Eurytherme vissoorten profiteren van een temperatuurstijging en dat leidt tot betere groei en meer reproductie, mits er voldoende voedsel aanwezig is.

#### Verlanding/successie

Mesotrofe en vooral eutrofe ondiepe stilstaande wateren in Nederland zijn hoog productief, waarbij de afgestorven vegetatie een snelle ophoging van de bodem veroorzaakt. Kleine wateren groeien snel dicht en verlanden in enkele tientallen jaren volledig. De verlanding verloopt hier vanaf de westelijke oever. De meest westelijke winden stuwen het water op naar de oost-oever, waar het via de bodem naar de west-oever terugvloeit, daarbij organisch materiaal meevoerend dat zich ophoopt aan de westoever (Segal, 1965). Op deze dikker wordende laag detritus komt de verlanding sneller tot stand, waarbij in laagveenwateren krabbescheer (*Stratiotes aloides*) dikwijls de initiator is. Aan de landzijde vormen zich drijfzillen, aan de open-waterkant groeit een krabbescheervegetatie. Binnen 40 jaar kan open water van een plas veranderd zijn in een trilveen. Als gevolg van temperatuurstijging kan in ondiepe wateren interne eutrofiëring optreden, die zorgt voor een toename van de biomassa van macrofyten en een versnelde successie. De combinatie van temperatuurstijging en een lager peil in de zomer zal het proces van verlanding mogelijk versnellen. Voor stilstaande wateren die beheerd worden zal klimaatverandering om intensiever beheer vragen.

#### Algenontwikkeling

##### *Bloei*

Door interne eutrofiëring als gevolg van klimaatverandering zal in grotere stilstaande wateren in het voorjaar de kans op fytoplanktonbloei toenemen. Omdat fytoplankton veel nutriënten uit het water verbruikt krijgen macrofyten, die later in het voorjaar groeien, te maken met P-limitatie. Deze situatie leidt tot een abrupte

omkering van een transparant, macrofyten-gedomineerd systeem naar een troebele fytoplankton (of kroos) en vis-gedomineerde toestand (Scheffer et al., 1993).

### *Flab*

Een andere verschijnsel bij het optreden van fytoplanktonbloei (zie vorig paragraaf) is het vormen van flab ('floating algal beds') door drijvende algen. Naast P-limitatie leidt het optreden van flab ook tot lichtlimitatie voor de macrofytengemeenschap. Klimaatverandering zal de frequentie en de duur van de perioden met flab vergroten en zal eerder leiden tot een minder geschikt habitat voor macrofyten. Net als bij het toenemen van het fytoplankton zal de toename van flab (of kroos) leiden tot een abrupte omkering van een transparant, macrofyten-gedomineerd systeem naar een troebel fytoplankton (of kroos) en vis -edomineerde toestand (Scheffer et al., 1993).

### *Blauwalgenbloei*

Blauwalgen (cyanobacteriën) horen bij een natuurlijke soortensamenstelling van algen in het stilstaande oppervlaktewater. Ze komen het hele jaar voor, met doorgaans een piek in de (na)zomer. Veel blauwalgen vertonen een optimale groei bij temperaturen tussen 20 en 30 °C en een stabiele waterkolom. Daarom vindt de ontwikkeling van blauwalgen of de vorming van drijfvlagen vaak plaats vanaf juli. Maxima in de biomassa van blauwalgen worden gevonden in augustus en september. Grote hoeveelheden nutriënten (met name stikstof en fosfaat) samen met hoge temperaturen vergroten en versterken de groei van blauwalgen (bloei). De afstervende algen leiden tot een verhoogde bacterie-activiteit met vooral in de nacht zuurstofloosheid tot gevolg, waardoor andere aquatische organismen sterven. Tijdens een algenbloei ziet het water er niet aantrekkelijk uit en veroorzaken de afstervende algen overlast door stank. Onder invloed van klimaatverandering (temperatuurstijging in combinatie met eutrofiëring) zal de fytoplanktongemeenschap eerder gedomineerd worden door blauwalgen. De toenemende dominantie van blauwalgen kan problematisch worden voor algenetende organismegroepen, zoals zooplankton en benthos, omdat deze blauwalgen meestal niet als voedsel kunnen gebruiken.

Ook zal de toename van blauwalgen de gezondheidsrisico's voor de mens vergroten. Van verschillende blauwalgen is bekend dat zij giftige stoffen - cyanotoxines - produceren. De productie van toxines kan door doorvergiftiging naar vogels en vissen tot diersterfte leiden. Er zijn verschillende soorten toxines bekend. Tot op heden zijn in Nederland alleen microcystines gevonden (RIZA, 2002). Neurotoxines (anatoxine, saxitoxine) hebben effecten op het zenuwstelsel met als gevolg duizeligheid, ademhalingsproblemen en krampen. Hepatoxines (microcystine, modularine) en cylindrospermopsines kunnen leverschade veroorzaken, maar ook leiden tot misselijkheid, buikpijn, diarree, hoofdpijn en geïrriteerde ogen. Dermatoxines kunnen blaasjes of vlekken op de huid veroorzaken. Toxines zijn vooral intracellulair aanwezig en worden niet actief uitgescheiden. Zij komen vrij door lekkage van de cellen of als de blauwalgen afsterven en de cellen openbreken. Dieren nemen toxines op door het inslikken van water of het eten van fytoplankton. De mogelijke gevolgen van de opname van toxines voor vissen zijn leverschade en sterfte; vogels en huisdieren kunnen ook vergiftigd worden.

## **Dispersie**

### *Exoten*

Hogere wintertemperaturen in een veranderd klimaat kunnen tot gevolg hebben dat bepaalde habitats geschikt worden voor warmteminnende soorten. Dit kunnen exoten zijn, maar ook soorten met een meer zuidelijke verspreiding die hierdoor hun areaal kunnen uitbreiden. Voor Nederlandse wateren is tot op heden het Ponto-Kaspisch gebied de belangrijkste bron van invasieve soorten (Mooij et al., 2005). De problematiek van exoten speelt zich af in alle typen Nederlandse oppervlaktewateren.

### *Ziekten*

Temperatuurstijging door klimaatverandering leidt tot een toename in de kans op ziekten en parasieten bij vissen en een toename in gevallen van botulisme onder watervogels (Mooij et al., 2005).

In een veranderd klimaat worden ook belangrijke effecten op de verspreiding van steekmuggen en knutten verwacht. Steekmuggen ontwikkelen zich vooral talrijk in moerassen, plas-dras situaties (al dan niet oever) en korte tijd aanwezige watermilieus. Knutten ontwikkelen zich vooral in natte graslanden. Voor beide groepen zijn het al dan niet permanent aanwezig zijn van water, de wisselingen daarin en de temperatuur van groot belang. Een verhoogde voedselrijkdom draagt extra bij aan de ontwikkelingen van deze dieren. Het warmere klimaat en de nattere winters en heftige zomerbuien tijdens droge, warme zomers dragen bij aan versterkte wisselingen in waterpeilen. Dit betekent ook dat klimaatverandering leidt tot uitbreiding van geschikte leefmilieus voor steekmuggen en knutten (Verdonschot, 2009). De kans op vestiging van nieuwe soorten die nieuwe ziekten kunnen overdragen wordt groter. Dit betreft niet specifiek gebiedstypen aanwezig in het landelijk gebied, maar betreft alle situaties waar tijdelijke, ondiepe wateren kunnen ontstaan.

### **Connectiviteit/verbindingen**

Sommige wateren (bijvoorbeeld duinwateren) zijn door hun vrijwel ononderbroken noord-zuidverbinding van groot belang voor de verspreiding van plantensoorten en de trek en migratie van vele dieren (Verdonschot en Janssen, 2000). Andere wateren, zoals poelen, vervullen een belangrijke functie als 'stapstenen' tussen grotere gebieden. Soorten kunnen zich via deze verbindingzones verplaatsen van het ene naar het andere gebied. Met name voor amfibieën is dit van groot belang. Vooral in agrarische gebieden kunnen deze wateren een belangrijke functie vervullen en de stabiliteit van de populaties van soorten in het gebied in stand houden. Frequentere en langere perioden van verdroging door klimaatverandering zullen deze verbindingen zwakker maken en de functie van een stabiliserend netwerk verminderen.

### **Voedselketen**

#### *Mismatch*

In grotere stilstaande wateren kan een vervroegde fytoplanktonbloei door een klimaatgestuurde temperatuurstijging leiden tot een 'voedsel-mismatch' met bepaalde soorten primaire consumenten (zoöplankton dat zich te laat ontwikkeld). Dit kan vervolgens doorwerken in de rest van de voedselketen en daardoor het gehele ecosysteem sterk beïnvloeden.

#### *Fenologie*

Een temperatuurstijging in grotere stilstaande wateren kan ook leiden tot veranderingen in de soortensamenstelling van het fytoplankton. Temperatuurstijging is in het voordeel van groepen van soorten met een hoog temperatuuroptimum en een grote concurrentiekracht, zoals blauwalgen. Dit leidt ook tot veranderingen in de voedingswaarde voor de primaire consumenten (zoöplankton), blauwalgen zijn bijvoorbeeld oneetbaar voor veel organismen.

De temperatuurstijging heeft ook invloed op het groeipatroon van macrofyten: het groeiseizoen zal onder invloed van klimaatverandering eerder beginnen, net als de timing van bloei en zaadzetting, en ook zal de totale biomassa toenemen. Deze verandering kunnen leiden tot andere concurrentieverhoudingen tussen plantensoorten. Soorten die reageren op daglengte zijn bijvoorbeeld in het nadeel ten opzichte van soorten die op watertemperatuur reageren.

#### *Biomassa*

De toename in de vegetatiebiomassa door meer voedselrijkdom als gevolg van klimaatverandering kan leiden tot verhoging van de gemiddelde watertemperatuur en amplitude van de dagelijkse variaties. De toename in

de biomassa van macrofyten heeft ook tot gevolg dat er meer geschikt habitat ontstaat voor de macrofauna die hiervan afhankelijk is.

### **2.1.3 Effect van klimaatverandering op landschapsecologische processen per watertype**

De hiervoor (hoofdstuk 2.1.2) beschreven landschapsecologische processen, die zich onder de invloed van klimaatverandering afspelen, zijn van toepassing op alle Nederlandse oppervlaktewateren. Het betreft samenvattend:

- *Abiotische sturende processen*
  - Waterhuishouding (golfslag, waterbeweging, peilwisseling, afvoerwisseling en inundatie)
  - Droogval (wateren met peilbeheer en wateren zonder peilbeheer)
  - Morfologie (instraling/stratificatie en wind)
  - Nutriëntenhuishouding (mineralisatie, sulfaatreductie, uitspoeling, afspoeling en inlaat)
  - Zuurstofhuishouding (zuurstofdaling)
  - Chloride (saltspray, indamping en zoute kwel)
- *Biotische sturende processen*
  - Thermofilie
  - Verlanding/successie
  - Algenontwikkeling (bloei, flab en blauwalgenbloei)
  - Dispersie (exoten, ziekten)
  - Connectiviteit / verbindingen
  - Voedselketen (mismatch, fenologie en biomassa)

Echter, het belang en de rol die elk proces speelt verschilt per watertype. De effecten van klimaatverandering op deze processen zijn afhankelijk van onder andere de huidige waterkwaliteit: bijvoorbeeld, voedselrijke wateren zijn veel minder kwetsbaar voor eutrofiëring als gevolg van klimaatverandering dan de veel kwetsbaardere mesotrofe. De effecten zijn ook verschillend voor peilbeheerde en natuurlijke wateren. In peilbeheerde sloten zijn de effecten van peilwisselingen nu nog niet relevant, maar er is in de toekomst wel meer peilbeheer nodig. Voor wateren met een natuurlijk peil zijn de effecten van peilwisseling groter. De veerkracht/natuurlijkheid van het ecosysteem bepaalt dan haar bestendigheid tegen de nadelige effecten van klimaatverandering.

#### **2.1.3.1 Stromende wateren**

In tabel 5 is samengevat welke veranderingen in de Nederlandse stromende wateren kunnen worden verwacht op basis van de klimaatscenario's.



**Tabel 5**

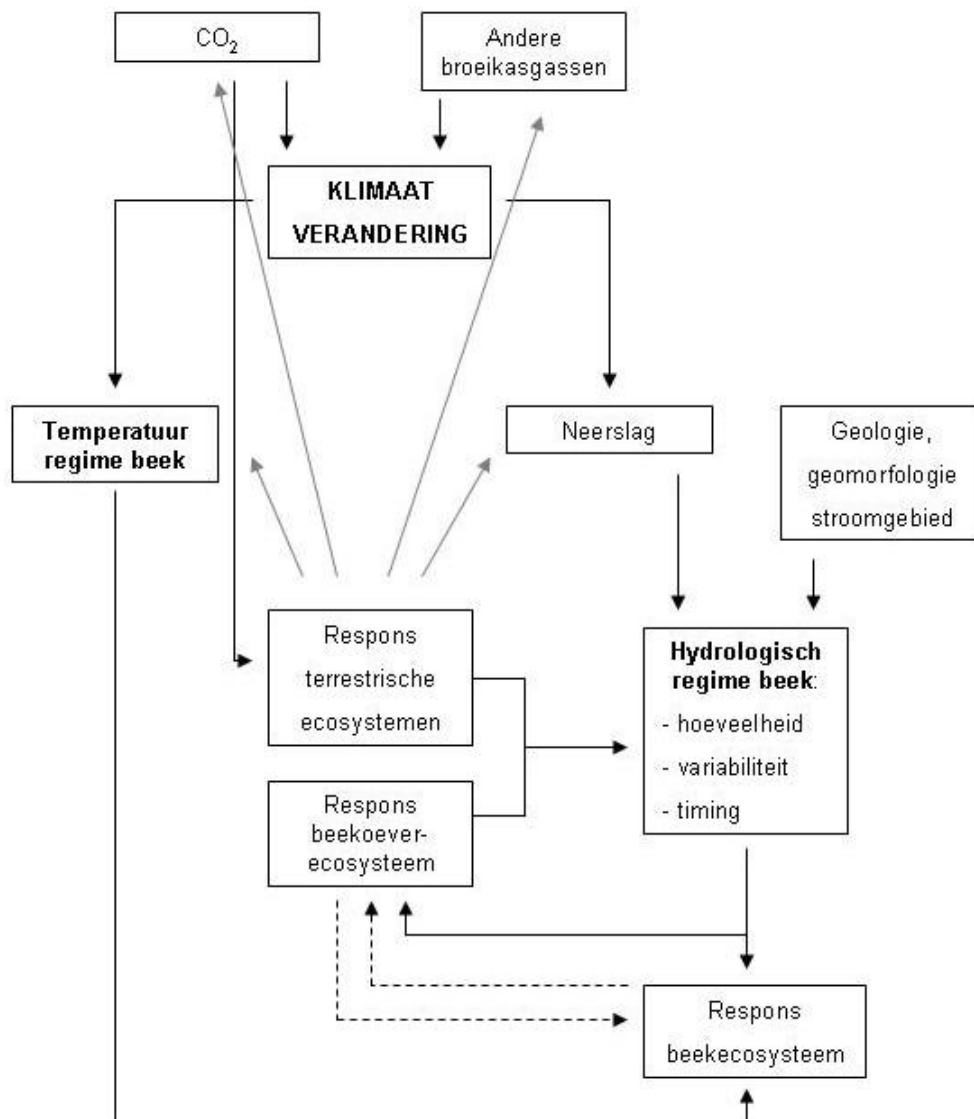
*Mogelijke veranderingen in Nederlandse stromende wateren als gevolg van klimaatverandering. + = toename.*

*Gebaseerd op Arnell (1996), Van Walsum et al. (2001), Frederick en Gleick (2003), Caissie (2006) en Van den Hurk et al. (2006).*

Variabele	Als gevolg van verandering in	Mogelijk effect	
		winter	zomer
<i>Hydrologie</i>			
Perioden met hoge afvoer	Toename gemiddelde neerslag	+	
Perioden met lage afvoer	Langere perioden zonder neerslag in de zomer		+
Geïndeerde/vochtige zones langs beek	Toename gemiddelde neerslag	+	
Oppervlakkige afstroming naar beek	Extremere hoeveelheden neerslag	+	+
Droogval	Langere perioden zonder neerslag in de zomer		+
Extreme piekafvoeren	Extremere hoeveelheden neerslag	+	+
<i>Temperatuur</i>			
Temperatuur oppervlaktewater	Stijging luchttemperatuur	+	+
Temperatuur van in bron uitdrendend grondwater/kwel	Stijging bodemtemperatuur	+	+

Voorspeld wordt dat de meest duidelijke en directe effecten van klimaatverandering op ecosystemen van stromende wateren kunnen worden gerelateerd aan veranderingen in het thermische en hydrologische regime (Carpenter et al., 1992a; Grimm, 1993; Allan, 1995; Meyer et al., 1999).

De (potentiële) ecosysteemveranderingen als gevolg van klimaatverandering staan niet los van elkaar, zoals door Grimm (1993) schematisch is weergegeven (figuur 5). Het thermische en hydrologische regime hebben, samen met de interacties tussen de beek/rivier en de oever, grote invloed op het functioneren van het ecosysteem. Er is bijvoorbeeld een directe relatie tussen klimaatverandering, neerslag, hydrologie en de reactie van de levensgemeenschap in de beek/rivier hierop. Maar andere factoren kunnen op hun beurt weer (een op dit moment nog grotendeels onbekende) invloed uitoefenen in de vorm van terugkoppelingen en veranderingen in ecologische interacties. Wanneer bijvoorbeeld de oevervegetatie verandert, heeft dit effecten op de levensgemeenschap in de beek/rivier, maar mogelijk ook op de hoeveelheid evapotranspiratie. Dit heeft weer invloed op de hoeveelheid water in de bodem en bepaalt daarmee mede de voeding van de beek/rivier en uiteindelijk de hydrologie (Grimm, 1993).



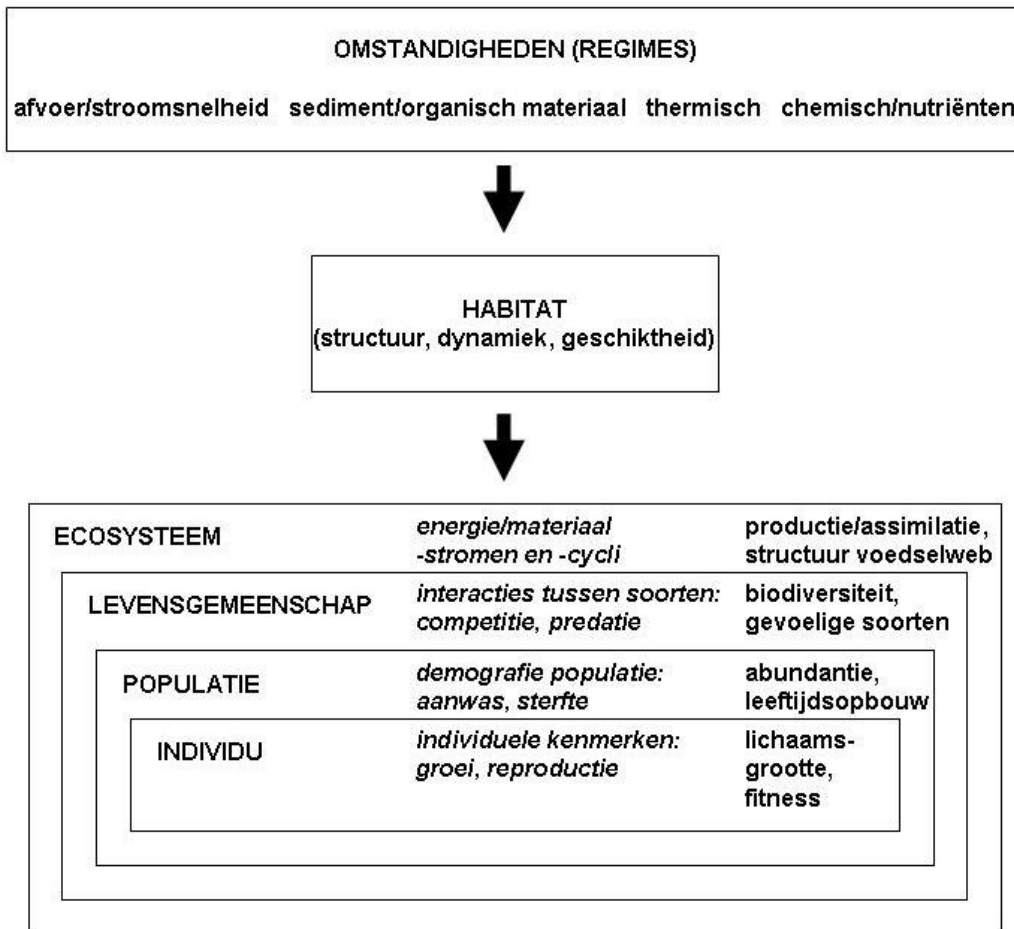
**Figuur 5**

Factoren die potentieel de effecten van klimaatverandering op ecosystemen van stromende wateren beïnvloeden. Zwarte pijlen geven directe relaties weer. Deze relaties kunnen worden beïnvloed door terugkoppeling (grijze pijlen) en ecologische interacties (onderbroken pijlen). Zie tekst voor verdere verklaring (gewijzigd naar Grimm, 1993).

De ecologische effecten van veranderingen in de thermische en hydrologische regimes zijn afhankelijk van de volgende componenten: hoeveelheid/omvang, frequentie en timing. De respons van het ecosysteem op een verandering in de afvoerdynamiek hangt bijvoorbeeld af van de hoeveelheid; hoe groot is de afvoer (piek), hoe lang duurt een piek, hoe vaak treden piek- of lage afvoeren op (frequentie) en wanneer, hoe is het gespreid over het jaar en hoe snel is de respons na regenval (timing).

Variabiliteit in de verschillende regimes speelt een belangrijke rol in het bepalen van de geschiktheid, structuur en dynamiek binnen een habitat en stuurt ecologische processen op verschillende hiërarchische schaalniveaus binnen het ecosysteem (Poff en Ward, 1990; Townsend en Hildrew, 1994; Poff, 2002) (figuur 6). Klimaat, geologie, topografie, vegetatie en antropogene invloeden beïnvloeden de verschillende regimes. Wijzigt er iets in een regime, bijvoorbeeld door klimaatverandering, dan kunnen er (afhankelijk van de omvang, frequentie en

timing) veranderingen optreden in het habitat. Dit beïnvloedt vervolgens de uitkomst van ecologische processen, met als gevolg een verandering in de structuur en functies binnen het ecosysteem (Poff, 2002).



**Figuur 6**

*Ecologische organisatie binnen het ecosysteem van het stromende water. Het diagram laat zien hoe de belangrijkste regimes binnen een stroomgebied de habitat bepalen en daarmee invloed uitoefenen op de uitkomst van ecologische processen op verschillende schaalniveaus. De regimes worden gestuurd door klimaat, geologie, topografie, vegetatie en antropogene invloeden binnen het stroomgebied (gewijzigd naar Poff, 2002). Zie tekst voor verdere uitleg.*

Een temperatuurstijging heeft in stromende wateren een additioneel effect op het temperatuurverloop in longitudinale richting (effect verschilt per beekorde). De watertemperatuur volgt de luchttemperatuur, een stijging van de luchttemperatuur heeft dus een stijging van de watertemperatuur over het gehele systeem tot gevolg. Echter, de watertemperatuur wordt hoger stroomafwaarts en hier wordt dus ook de hoogste maximumtemperatuur verwacht. Ook kan een aan klimaatverandering gerelateerde stijging van de grondwatertemperatuur aanzienlijke effecten hebben op het temperatuurverloop (vooral) in de bovenstroomse delen (Verdonschot et al., 2007).

Alle landschapsecologische processen als gevolg van klimaatverandering voor stromende wateren zijn per werktipe opgesomd in tabel 6.

**Tabel 6**

Overzicht van de doorwerking van door klimaatverandering gestuurde processen (zie tabel 1.2) op de stromendwatertypen.

Effecten	Beschrijving effecten	Bronnen	Droogvallende stromende wateren	Kleine permanente stromende wateren	Grote permanente stromende wateren	Rivieren
nutriëntenhuishouding	mineralisatie/denitrificatie/ sulfaatreductie	x	x	x		
eutrofiëring (algen, troebel, lichtlimitatie)	uitspoeling	x	x	x	x	x
waterhuishouding	afspoeling (nutriënten, organisch materiaal, sediment)	x	x	x	x	x
	inlaat (nutriënten e.a. stoffen)		x	x	(x)	
	golfslag (erosie en resuspensie)					
	waterbeweging (peilbeheer)					
zuurstofhuishouding	peilwisseling		x	x		
	afvoerwisseling (stromende wateren; erosie)	x	x	x	x	x
	geïnundeerd worden (incl. verslibben)					
droogval	inunderen (stromende wateren)		x	x	x	x
stratificatie chloride	zuurstofdaling	x				
	opdrogen	x	x	x		
verlanding	instraling, wind					
	saltspray			alleen duinbeken		
	indamping (watervolume verkleinen)		x			
algenontwikkeling	zoute kwel					
	successie					
	bloei		x	x	x	x
dispersie	flab		x	x		
	blauwwierbloei		x	x	x	x
	exoten	x	x	x	x	x
connectiviteit	ziekten		x	x	x	x
	Verbindingen		x	x (stuwen, reservoirs/ zandvangen)	x	x
voedselketen	mismatch					
	fenologie	x	x	x	x	x
thermofilie	biomassa				x	x
	koud stenotherme verdwijnen	x	x	x		

### Bronnen

Eén van de meest karakteristieke eigenschappen van bronwater is de weinig schommelende, lage temperatuur van 8-11 °C door de constante voeding met grondwater (Odum, 1971; Verdonschot, 2000a). De temperatuur is de verklarende factor voor het bestaan van uitsluitend in bronnen voorkomende koud stenotherme (= smalle temperatuurrange bij lage waarde; Thiennemann, 1922) soorten. De temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering zal de watertemperatuur van de bron doen stijgen waardoor koud-stenotherme soorten zullen gaan verdwijnen, omdat de letale maximumtemperatuur overschreden wordt.

De kwaliteit en kwantiteit van het bronwater hangen mede af van de aard, omvang en locatie van het infiltratiegebied. Het grondgebruik in het infiltratiegebied heeft grote invloed op de chemische samenstelling van het bronwater (Verdonschot, 2000a) en de intensiteit van drainage beïnvloedt in sterke mate het debiet van een

bron. Beide invloeden zijn sterker naarmate de afgelegde weg van het geïnfiltreerde regenwater korter is. Is het infiltratiegebied klein en/of is de afgelegde weg van het water relatief kort dan kunnen bronnen in de zomer droogvallen. Tijdens hevige regenval kunnen piekafvoeren optreden. Piekafvoeren zorgen voor sterke erosie en worden beschouwd als catastrofes voor het natuurlijke bronsysteem (Verdonschot, 2000a). Daarnaast speelt ook oppervlakkige afspoeling van stoffen en deeltjes een belangrijke rol in de samenstelling van het bronwater. Onder invloed van klimaatverandering zullen bronnen voedselrijker worden. Verstoring door inundaties is groter indien de bron in een beekdal is gelegen.

#### *Droogvallende, stromende wateren*

Droogvallende stromende wateren zijn meestal gevoed door neerslag en/of inzijging. Ze hebben geen constante afvoer en vallen minimaal zes weken per jaar droog. De sterke variatie in afvoer zorgt in deze beken voor een grote dynamiek in erosie en sedimentatie. De levensgemeenschappen van droogvallende beken zijn aangepast aan deze dynamiek en bevatten vooral pionierssoorten die bestendig zijn tegen vergrote afvoerdynamiek en de gevolgen daarvan.

De additionele effecten van klimaatverandering gerelateerd aan droogval zijn:

- meer indamping door temperatuurstijging wat leidt tot versnelde droogval;
- ontwikkelen van flab door stagnatie (en eutrofiering) voorafgaand aan droogval.

Vanwege de huidige adaptatie van organismen aan droogval zijn de gevolgen van klimaatverandering voor de levensgemeenschappen van droogvallende systemen minder ingrijpend dan voor permanente stromende wateren.

#### *Kleine en grote, permanente, stromende wateren*

Doorgaans zijn de kleine, bovenstroomse, permanente stromende wateren meer beschadwd, kouder en minder aan temperatuurschommelingen onderhevig dan de minder beschadwde grote, benedenstroomse trajecten (Verdonschot, 2000b). Beschaduwing dempt de schommelingen in luchttemperatuur. Bovenstroomse trajecten hebben vaak ook een groter aandeel grondwater dat gemiddeld een meer constante temperatuur heeft. Minder snelstromende, open, kleine, stromende wateren volgen de luchttemperaturen meer direct dan grote. Omdat het temperatuurregime in kleine en grote beken sterk verschilt zal temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering kleine en grote beken in verschillende mate beïnvloeden. In beken met constante temperatuur (zoals grondwater gevoede bovenloopjes) zal temperatuurstijging mogelijk leiden tot het verdwijnen van koud-stenotherme soorten en de komst van exoten. Ook zal temperatuurstijging via versnelde mineralisatie leiden tot interne eutrofiëring en algenontwikkeling (zoals bloei van o.a. blauwalg en vormen van flab). Op de plekken waar weinig beschaduwing aanwezig is of/en de stroming traag is, worden deze effecten verder versterkt. In grote, permanente beken zullen de effecten van temperatuurstijging op de bovengenoemde processen minder uitgesproken zijn. Wanneer de watertemperatuur stijgt, komt het verspreidingsgebied van koud-stenotherme soorten stroomopwaarts te liggen, omdat de rest van het stroomgebied te warm is geworden. Aan de andere kant kunnen bepaalde eurytherme soorten (afhankelijk van hun mobiliteit en tolerantie voor bijvoorbeeld hogere stroomsnelheid) hun verspreidingsgebied in bovenstroomse richting uitbreiden.

Daarnaast heeft klimaatverandering belangrijke effecten op de afvoerdynamiek in beken.

De toename van perioden van droogte, vraagt om extra beheermaatregelen zoals waterinlaat. Voor meso- tot eutrofe benedenlopen en riviertjes zal dat leiden tot een toename in voedselrijkdom omdat gebiedsvreemd water meestal eutroof is.

### *Rivieren (en nevengeulen)*

Klimaatverandering heeft een grote invloed op de waterhuishouding in de grote rivieren. De toename van piekafvoeren van de rivieren in de winter door toename van gemiddelde en extreme neerslag zal kunnen leiden tot overstromingen. De zomerdroge perioden zullen leiden tot daling van het waterpeil. In de Maas als regenrivier zullen de gevolgen duidelijk zichtbaar worden. Maar door de afname van de omvang van gletsjers in de Alpen, dat zal leiden tot afname van de basisaanvoer van water in de Rijn, zal ook de Rijn lagere zomerafvoeren krijgen. Hevige zomerbuien zullen in beide rivieren leiden tot plotselinge hoge piekafvoeren.

Een stijgende zeespiegel zal in combinatie met de afname van de rivierafvoer in de zomer tot verder landinwaarts doordringen van zout water via rivieren en via grondwater (zoute kwel) leiden. Dit resulteert niet alleen tot verzilting van delen van het rivierdal, maar door waterinlaat in de achterliggende gebieden zullen ook die verziltingsproblemen ondervinden.

Daarbij leidt een stijgende zeespiegel ook tot een afname van het areaal natuurlijke overgangen tussen land en water zoals wadplaten en kwelders.

De dalende rivierwaterstanden kunnen ook gevolgen hebben voor de grondwaterstanden in de rivierdalen, ook deze zullen dalen.

Daarnaast zijn de rivieren in Nederland voedselrijk. De processen van klimaatverandering in de vorm van toename in afvoerdynamiek en verdere eutrofiëring hebben in dit opzicht vooral effecten op de rivierbegeleidende wateren die nu nog meso- tot eutroof zijn. Vaker en langduriger zullen daardoor hogere temperaturen in de stilstaande rivierbegeleidende samen met hogere stoffenconcentraties leiden tot zuurstofgebrek in het water, botulisme en overlast van blauwalgen.

De te verwachten belangrijkste gevolgen voor rivierdalecosystemen zijn:

- afname van biodiversiteit;
- toename in de aandeel van algen ten opzichte van hogere waterplanten;
- mogelijke bloei van blauwalgen;
- toename in exoten en daarmee gerelateerde ziekten;
- toename in biomassa;
- fenologische veranderingen.

### **2.1.3.2 Stilstaande wateren**

De landschapsecologische processen die optreden als gevolg van klimaatverandering in stilstaande wateren zijn opgesomd in tabel 7.

**Tabel 7**

Overzicht per watertype van landschapsecologische processen gestuurd door klimaatverandering in Nederlandse stilstaande wateren.

Effecten	Beschrijving effecten	Kanalen	Meren	Plassen	Grote duinwateren	Sloten	Poelen	Kleine duinwateren	Vennen	Brakke wateren
nutrientenhuishouding	mineralisatie/denitrificatie/sulfaatreductie	x	x	x	x	x	x	x	x	x
eutrofiëring (algen, troebel, lichtlimitatie)	uitspoeling		x	x	x		(x)	x	x	
waterhuishouding	afspoeling	x				x				x
	inlaat	x	x			x				x
	golfslag		x	(x)	x					x alleen grote
	waterbeweging (peilbeheer)	x	x	x		x				x
zuurstofhuishouding	peilwisseling				x		x	x	x	
	afvoerwisseling									
	geïnundeerd worden inunderen			x			x			x zee
zuurstofhuishouding	zuurstofdaling	x	x	x	x	x	x	x org. bodem	x	
droogval stratificatie chloride	opdrogen		x oever	x oever	x oever	x	x	x	x	x klein
	instraling, wind saltspray		x diep	x wingaten	x diep					x diep
verlandig	indamping			x kleinere		x (geen peilbeheer)	x	x	x	
	zoute kwel				x	x kustzone		x		x
	successie			x		x of meer onderhoud	x	x		x
algenontwikkeling	bloei	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	flab			x		x	x	x		x
dispersie	blauwwierbloei	x	x	x	x	x	x	x		x
	exoten	x	x	x	x	x	x	x	x	x
connectiviteit voedselketen	ziekten	?	?	?	?	x	x	x	(x)	x
	verbindingen				x		x	x		
thermofilie	mismatch		x	x	x					x groot
	fenologie	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	biomassa	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	koud stenotherme verdwijnen					x beschaduwd	x			

### Kanalen (incl. vaarten en boezemwateren)

Kanalen zijn vaak voedselrijk tot zeer voedselrijk en kennen geen tot een redelijke waterbeweging (Jaarsma en Verdonschot, 2000b). Klimaatverandering zal verschillende gevolgen voor kanalen hebben. Temperatuurstijging en interne eutrofiëring zullen leiden tot zuurstofdaling, vooral bij de bodem. Kanalen zullen nog voedselrijker worden door mineralisatie, afspoeling van nutriënten, organisch materiaal en sediment, en door vergroting

inlaat van gebiedsvreemd water. Hogere voedselrijkdom, samen met hogere temperaturen, zullen in ondiepere kanalen de plantengroei stimuleren met snellere successie als gevolg. Hierbij wordt actief beheer (baggeren of opschonen) belangrijker. Grotere voedselrijkdom kan mogelijk ook leiden tot blauwalgenbloei, vooral in grote kanalen.

In een nieuwe neerslagpatroon van het veranderend klimaat zal de waterbeweging in kanalen groter worden en zullen de soorten zich moeten aanpassen aan de perioden met en zonder waterbeweging.

Rijkskanalen kennen een grote dynamiek als gevolg van de intensieve scheepvaart en andere antropogene activiteiten. Ten opzichte van de antropogene effecten zullen de gevolgen van de klimaatverandering voor deze wateren in het algemeen gering zijn. Wel heeft het veranderende neerslagpatroon belangrijke gevolgen voor het peilbeheer in de rijkskanalen.

## **Meren**

Meren verschillen onderling sterk in morfologie, chemische samenstelling, waterbeheer en levensgemeenschappen. De waterstand in een meer wordt bepaald door het volume, de waterdiepte en de aanvoer. Karakteristiek is een peil dat vertraagt de toevoer (en afvoer) van water volgt (Van der Molen, 2000). Dat wil zeggen een hoge waterstand in het voorjaar en een lage in het najaar. Onder natuurlijke omstandigheden beïnvloedt verder de achtergrondextinctie, als gevolg van het aanwezige opgelost en zwevend materiaal, de helderheid van het water. De diepte van het water is ook van invloed op de relatie tussen lucht- en watertemperatuur. Ondiepe delen reageren sneller en in diepere systemen kan stratificatie optreden. Temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering leidt tot versnelde mineralisatie, verhoogde eutrofiëring en in diepe meren tot een langere periode van zomerstratificatie met meer zuurstofloosheid. Anderzijds zorgen onstabielere weersomstandigheden (golfslag door windwerking) voor minder stratificatie.

Het veranderde neerslagpatroon zal vooral in kleinere meren leiden tot de versterking van peilwisselingen, wat een destabiliserend effect heeft op de levensgemeenschappen van de oevers.

Sterkere windwerking in een veranderend klimaat zorgt voor sterkere opwerveling, vertroebeling en zuurstofverarming van het water, vooral in de meren met kleiige bodem.

## **Plassen**

### *Laagveenplassen*

Door de veranderingen in het neerslagpatroon en door temperatuurstijging zal het peilbeheer aangepast moeten worden, waarbij de kans groot is dat meer eutroof gebiedsvreemd water ingelaten gaat worden.

De effecten van klimaatverandering uiten zich vooral in temperatuurstijging, versnelde mineralisatie, uitspoeling en lager zomerpeil. Dit zal het proces van eutrofiëring versterken, er zal vaker (blauw)algenbloei (met flab en kroos) optreden en de verlanding in laagveenplassen zal worden versneld.

Voor de groteren laagveenplassen kan de werking van de wind door klimaatverandering de effecten van erosie intensiveren.

### *Wingaten*

Klimaatverandering komt in wingaten tot uiting in een versnelde mineralisatie door temperatuurstijging, wat vooral in ondiepe wingaten kan leiden tot versnelde successie. In diepere wingaten zal temperatuurstijging ook resulteren in een langere periode van zomerstratificatie en is de stratificatie sterker door de verhoogde fytoplankton-productie. Door de langere stratificatieperiode ontstaat er meer zuurstofloosheid in de zomer en daardoor mogelijke zuurstofproblemen (zoals vissterfte) in het najaar bij destratificatie. Onstabielere weersomstandigheden (windwerking) kunnen er echter ook voor zorgen dat stratificatie minder snel optreedt (voor grotere wingaten).



Grotere wingaten worden bij klimaatverandering ook meer beïnvloed door de toename in windwerking waarbij meer waterbewegingen en golfslag optreden. Deze processen stimuleren erosie van oevers en hebben remmende werking op waterkolom stratificatie.

Daarnaast zal meer peilwisseling optreden wat periodieke droogval van de oevers tot gevolg heeft.

### **Duinwateren**

Veel landschapsecologische processen en de effecten van klimaatverandering daarop zijn in duinwateren vergelijkbaar met die van plassen en zijn in dit hoofdstuk al beschreven onder het kopje 'plassen' (zie o.a. Verdonschot en Janssen, 2000). De klimaatprocessen die in de duinwateren speciaal van belang zijn, zijn veranderingen in ecologische connectiviteit, in salt-spray regime en in toevoer van zoute kwel.

De duinen zijn door hun vrijwel ononderbroken noord-zuidverbinding van groot belang voor de verspreiding van plantensoorten en de trek en migratie van vele dieren. Frequentere en langere perioden van verdroging door klimaatverandering zullen deze verbinding verzwakken.

In een veranderend klimaat met een ander salt-spray regime en meer verdamping in de zomer zal het ecosysteem van ondiepe duinwateren zich moeten aanpassen aan meer wisselende chloridegehalten (betekent soortenarmere gemeenschappen). Voor diepe duinwateren zijn deze processen minder relevant.

Met een toename in droge perioden door klimaatverandering zal verzilting van de duinwateren worden versterkt.

Ten slotte zal klimaatverandering het verlandingsproces in kleine, ondiepe duinwateren versnellen.

### **Sloten**

Nederland heeft ongeveer een totale lengte aan sloten van 350.000 km (Nijboer, 2000). De sloten verschillen onderling sterk: ze zijn gelegen in landbouwgebieden tot natuurgebieden, ze verschillen in mate van isolatie, peilregime, ondergrond samenstelling en diepte. De invloed van klimaatverandering op de ecologische processen in Nederlandse sloten is daardoor afhankelijk van de omstandigheden waarbij de meeste effecten groter zijn in kleine dan grote sloten.

In het algemeen zal onder invloed van klimaatverandering de watertemperatuur in sloten, onafhankelijk van het aandeel grondwater ten opzichte van regenwater, stijgen en treden hierdoor directe en indirecte effecten op. De veranderende neerslag kan leiden tot meer droogval, meer peilwisseling of juist meer waterinlaat.

Als in de toekomst in de sloten een hogere primaire productie als gevolg van een versnelde mineralisatie en afspoeling door klimaatverandering plaatsvindt, versnelt het verlandingsproces en moeten de sloten vaker worden gebaggerd of verschuiven vooral diepere sloten naar een algen gedomineerd ecosysteem op (kroos en flab, mogelijk ook blauwalg). Door klimaatverandering zal de intensiteit van de zoute kwel in de kustzone groter worden en zal dit leiden tot verzilting van de sloten aldaar.

### **Poelen**

Het functioneren van een aquatische ecosysteem van een poel wordt vooral bepaald door de hydrologische relaties (Jaarsma en Verdonschot, 2000a) tussen neerslag en verdamping, wegzijging, oppervlakkige afspoeling en lokale en regionale grondwaterstromen. Daarnaast vervullen poelen een belangrijke functie als 'stapstenen tussen grotere gebieden. Frequentere en langere perioden van verdroging door klimaatverandering zullen deze verbindingsfunctie verzwakken.

Vooraf in regenwater gevoede voedselarme poelen zal klimaatverandering leiden tot eutrofiëring en ontwikkeling van flab en blauwalg.

Temperatuurverhoging en verhoogde afspoeling van voedselrijk water uit omliggende landbouwgebieden als gevolg van klimaatverandering, zullen het verlandingsproces in poelen mogelijk versnellen.

## Vennen

In alle vennen zal door klimaatverandering een versterking van peilfluctuatie, met frequentere en langere droogval, optreden.

Een stijging van de temperatuur door klimaatverandering zal processen als sulfaatreductie en denitrificatie versnellen. Hierdoor neemt de afbraak van in de bodem geaccumuleerde organische stof sterk toe, waaruit o.a. fosfaat vrij komt, en treedt interne eutrofiëring op (Van Dam en Mertens, 2008). In vennen met een organische bodem zullen deze processen ook leiden tot zuurstofdaling.

De toename van de neerslag in het winterhalfjaar zorgt voor de toename van uitspoeling uit de vennen en de vermindering van de concentratie van door atmosferische depositie aangevoerde stoffen. Deze processen houden de verdergaande verzuring van vennen tegen.

## Brakke wateren

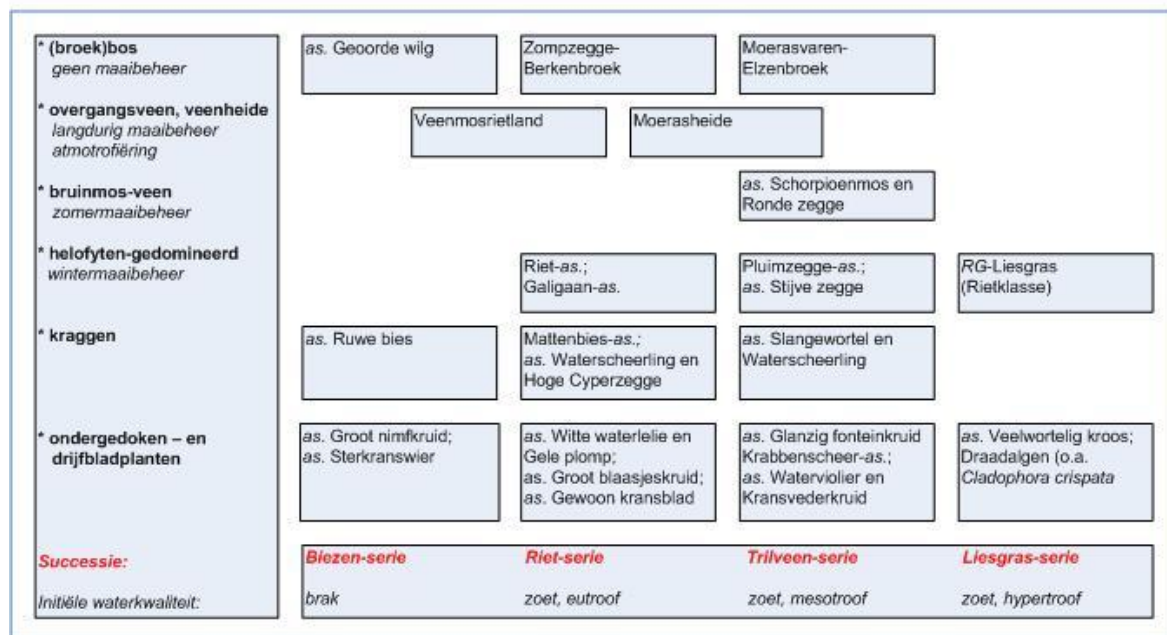
De hydrologie van een brakwater bepaald de dynamiek in het zoutgehalte en is daardoor van grote invloed op het voorkomen van organismen. Kwel van zoet, zout en/of brak water, neerslag, verdamping (De Boer en Wolff, 1996) en inundatie met zeewater (alleen bij de ringdobben) en salt-spray (Van Vierssen en Verhoeven, 1983) zijn hierbij de voornaamste processen (Van Beers en Verdonschot, 2000; Krebs et al., 1995). Een toename in toevoer van zoute kwel door klimaatverandering leidt tot verzilting van brakke wateren.

Door intensivering van neerslagpieken en frequentere en langere perioden van droogte worden (seizoens)fluctuaties in zoutgehalte in brakke wateren sterker. Aangezien de extreme chloridegehalten in hoge mate bepalen welke organismen in een water voorkomen verschuift de levensgemeenschap naar een soortenarmere gemeenschap met meer euryhaline soorten. In wateren waar peilbeheer toegepast wordt moeten sterker wordende peilwisselingen met gebiedsvreemd water (andere chemische samenstelling) gecompenseerd worden. Deze klimaatgerelateerde effecten gelden vooral voor kleine brakke wateren. In de grotere brakke wateren worden door klimaatverandering processen als waterbeweging en oevererosie versterkt (via meer intensieve windwerking).

Klimaatverandering zal via de intensivering van de productie van organisch materiaal de processen van verlanding versnellen. Ook in verscheidene andere brakke binnenwateren zoals kreken en poelen kan verlanding een belangrijk sturend proces zijn. Naast primair bepalende veranderingen in de chloridegehalte balans worden de wisselingen in pH-waarden en de bicarbonaatgehalten door klimaatverandering geïntensiveerd.

### 2.1.3.3 Moerassen

Het verlandingsproces is een kernproces in moerassystemen. Het proces begint met een waterplantenvegetatie van bijvoorbeeld kranwieren (*Charophyceae*), fonteinkruiden (*Potamogeton*), blaasjeskruiden (*Utricularia*) en wat later krabbenscheer (*Stratiotes aloides*). Vervolgens vestigen zich de in de onderwaterbodem wortelende planten, helofyten, en/of planten die drijftillen vormen of kraggen. Sommige helofyten, bijvoorbeeld riet, kunnen in de onderwaterbodem wortelen maar zich ook langzaam vanuit de oever uitbreiden en kraggen vormen. Wanneer de afbraak van afgestorven plantdelen langzamer plaatsvindt dan de aanwas, raakt het water opgevuld met plantenmateriaal ofwel veen. De snelheid waarmee het veen zich ophoopt is enerzijds afhankelijk van de productiviteit van de vegetatie, en anderzijds van de afbraaksnelheid (Nooren en Beltman, 2007). Voedselrijkere wateren groeien eerder dicht dan voedselarme wateren, tenzij ze door algen of blauwalgen gedomineerd worden. In hardere wateren verloopt de veenvorming langzamer dan in zachtere wateren omdat de afbraaksnelheid in hardere wateren hoger ligt. Vegetatietypen volgen elkaar op in een successiereeks (figuur 7). Het eindstadium na tientallen of honderden jaren is bos. Sterke golfslag en wind verhinderen verlanding en slaan gaten in de vegetatie. In een intact natuurlijk moeras begint de reeks steeds opnieuw in water dat die gaten vult.



**Figuur 7**

Schema met de belangrijkste vegetatiesuccessiereksen in laagveenwateren, bij verschillende uitgangssituaties en beheertypen (Verhoeven en Bobbink, 2001).

Rekening houdend met de landschapsecologische processen die van belang zijn bij het beschrijven van de effecten van klimaatverandering zijn moerassen te verdelen in drie typen:

- Eutrofe kleimoerassen, veenweiden, broekbossen en uiterwaarden  
*Eutrofe* moerassen ontstaan onder invloed van slibhoudend water. De vegetatie van een zoet, eutroof veen is broek- en oibos (els, wilg, populier) en riet. De vegetatie van het brakke veen is riet.
- Mesotrofe laagveenmoerassen  
*Mesotrofe* moerassen ontstaan onder invloed van kwelwater. De dominante begroeiing hier is zegge.
- Oligotrofe hoogveenmoerassen  
*Oligotrofe* hoogveenmoerassen worden gevoed door voedselarm en zuur regenwater. Hoogveenmoerassen omvatten soortenarme verlandingsvegetaties van hoogveenslenken (*Scheuchzerietea*).

Eén van de belangrijkste factoren van klimaatverandering in alle moerassen is peilwisseling/uitdroging (Battarbee et al., 2009). De frequentere en extremere peilwisselingen en perioden van droogte leiden in deze systemen tot:

- verlies van zuurstof;
  - grondverzakkingen en het vrijkomen van S, N en DOC;
  - mortaliteit van aquatische soorten en mogelijke overname van de niches door terrestrische soorten.
- Deze effecten van klimaatverandering vragen om meer inspanning van de peilbeheerder.

Temperatuurstijging, samen met te verwachte veranderingen in het inundatie regime leiden tot:

- interne eutrofiëring door mineralisatie;
- verslechtering van de habitatbeschikbaarheid;
- versterking van de mobiliteit van toxische stoffen en CO<sub>2</sub>.

Alle bovengenoemde processen hebben invloed op het functioneren van het ecosysteem van moerassen. Interne eutrofiëring speelt hier een belangrijke rol omdat het leidt tot versnelde successie met verlanding als gevolg. In hoogveenmoerassen zullen de effecten van interne eutrofiëring het sterkst zijn omdat dit moeras-type voedselarm is. En andersom, in voedselrijke kleimoerassen, veenweiden, broekbossen en uiterwaarden zullen de effecten het kleinst zijn.

Net als voor alle andere watertypen geldt het ook voor moerassen dat klimaatverandering leidt tot de uitbreiding van exoten (met daar aan gerelateerde ziekten).

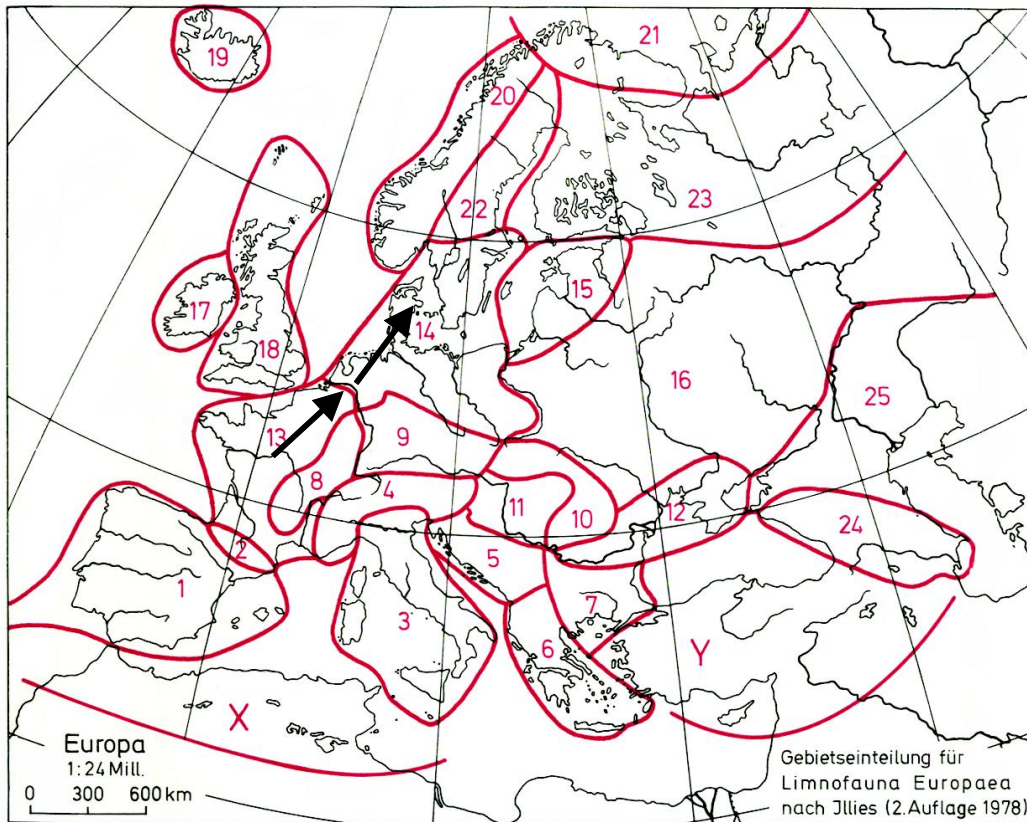
## **2.2 Nieuwe soortgroepen**

### **2.2.1 Verschuiving van de geografische arealen**

De verschuiving van de geografische arealen van aquatische organismen als gevolg van klimaatverandering zijn beschreven in Van den Hoek en Verdonschot (2001). Deze studie is gebaseerd op de verspreidingsgegevens van macrofaunasoorten in stromende wateren afhankelijk van de diergroep uit verspreidingsgegevens van de tweede helft van de vorige eeuw en op basis van de ecoregio's naar Illies (1978).

Regio 13 'Westelijk Laagland' beslaat het westelijke deel van Frankrijk en België met als noordgrens de rivieren Maas, Waal en Rijn. Deze ecoregio met de daarbij behorende macrofauna wordt door Van den Hoek en Verdonschot (2001) gebruikt als te verwachten fauna na verandering van het temperatuurverloop. Temeer daar deze regio zuidwestelijk en daarmee Atlantisch is gelegen. Alleen zuidelijk Atlantische soorten zijn in Nederland in de toekomst te verwachten. Ecoregio 14 'Centrale Laagland' omvat Nederland, Noord-Duitsland, Denemarken en Zuid-Scandinavië. Deze ecoregio zal na verandering van het temperatuurverloop noordwaarts verschuiven en naar verwachting uit Nederland verdwijnen (Van den Hoek en Verdonschot, 2001). De ecoregio 8 'Westelijk Middelgebergte' (Ardennen, Vogezen, Jura, Eifel) is buiten beschouwing gelaten omdat deze regio geomorfologisch niet overeenkomt met Nederland (uitgezonderd Zuid-Limburg) en naast alpiene ook continentale kenmerken bevat.

Illies (1978) heeft het voorkomen van soorten onderverdeeld in meerdere categorieën, waarvan er vijf worden gebruikt (tabel 8). Overige categorieën die door Illies (1978) worden gebruikt geven de mate van onzekerheid van voorkomen aan en worden daarom niet in de studie van Van den Hoek en Verdonschot (2001) gebruikt.



**Figuur 8**

*Ecoregio's in Europa (Illies, 1978). De pijlen duiden op de verwachte richting van verplaatsing van macrofaunagemeenschappen (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

**Tabel 8**

*Verklaring van symbolen van voorkomen de ecoregio's.*

Symbool (volgens Illies, 1978)	Verklaring
+	soort komt uitsluitend in deze regio voor (endemisch)
•	soort komt met zekerheid in deze regio voor
o	soort komt niet in deze regio voor maar is met grote waarschijnlijkheid te verwachten
•	soort komt voor in naburige regio's en kan aan de grenzen van de ecoregio aangetroffen worden
.	soort komt met zekerheid niet voor

Om na te gaan welke soorten door een klimaatverandering uit Nederland zouden kunnen verdwijnen of mogelijk juist koloniseren vanuit zuidelijke regio's zijn criteria geformuleerd die mogelijke overgangen van macrofauna tussen de ecoregio 13 en 14 definiëren (figuur 8). In tabel 9 zijn de definities van de overgangsklassen gegeven (zie voor de betekenis van de gebruikte symbolen tabel 8).

**Tabel 9**

Definities voor overgangsklassen van ecoregio 13 naar 14 (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).

Overgangsklasse	Van voorkomen in ecoregio 14	Naar voorkomen in ecoregio 13	Omschrijving
A	• / + / o / •	-	afname/verdwijning
B	-	• / + / o / •	nieuw voor Nederland
C	•	•	geen verandering

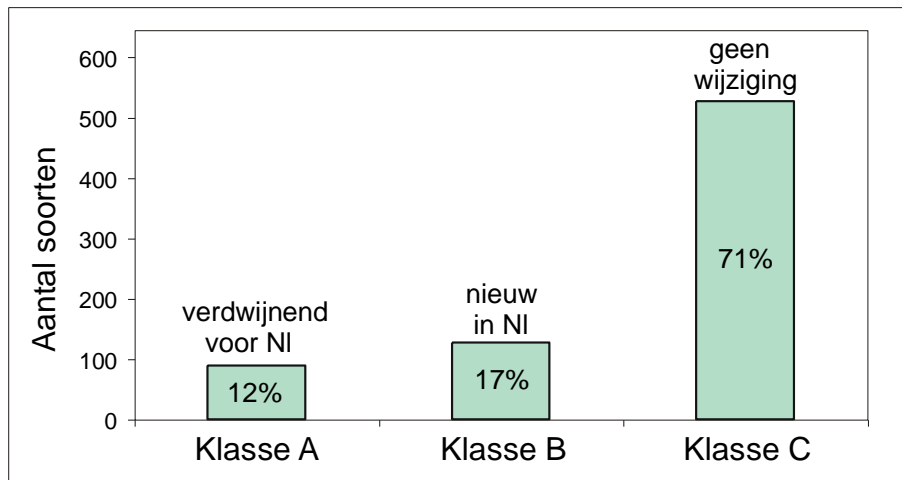
Uit de lijsten van Illies (1978) hebben Van den Hoek en Verdonschot (2001) soorten geselecteerd die voldoen aan één van de overgangsklassen. Komt een soort voor in overgangsklasse A, dan betekent dit dat het voorkomen van de soort door een mogelijke temperatuurverhoging in Nederland zal afnemen of dat de soort zelfs kan verdwijnen. De soorten van overgangsklasse B zijn de 'nieuwe' soorten voor Nederland. In overgangsklasse C komen soorten voor die zowel in ecoregio 13 als 14 voorkomen; er treedt dus geen verandering in areaal op van de betreffende soort.

In tabel 10 is per taxonomische hoofdgroep aangegeven hoeveel soorten tot een bepaalde overgangsklasse behoren. De soorten die geselecteerd zijn voor overgangsklasse C zijn als aantallen in de subtotaal weer gegeven. In tabel 10 is ook de procentuele toe- en afname van het aantal soorten gegeven.

**Tabel 10**

Aantal soorten per taxonomische hoofdgroep voor overgangsklasse A, B en C (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).

Taxonomische hoofdgroep	Klasse A	%-A	Klasse B	%-B	Klasse C	%-C	Som klasse A, B, C
Tricladida	0	0	5	45	6	55	11
Mollusca	2	4	6	13	40	83	48
Hirudinea	0	0	1	9	10	91	11
Oligochaeta	29	44	5	8	32	48	66
Hydracarina	7	6	34	31	68	62	109
Crustacea	1	11	2	22	6	67	9
Odonata	0	0	6	17	29	83	35
Ephemeroptera	0	0	2	7	27	93	29
Plecoptera	0	0	5	36	9	64	14
Heteroptera	0	0	6	23	20	77	26
Megaloptera	0	0	0	25	1	75	4
Coleoptera	2	4	16	36	36	67	54
Diptera (excl.Chironomidae)	13	10	15	11	103	79	131
Chironomidae	33	31	11	10	64	59	108
Trichoptera	1	1	11	12	78	87	90
Lepidoptera	0	0	0	0	1	100	1
totaal	89		127		527		746



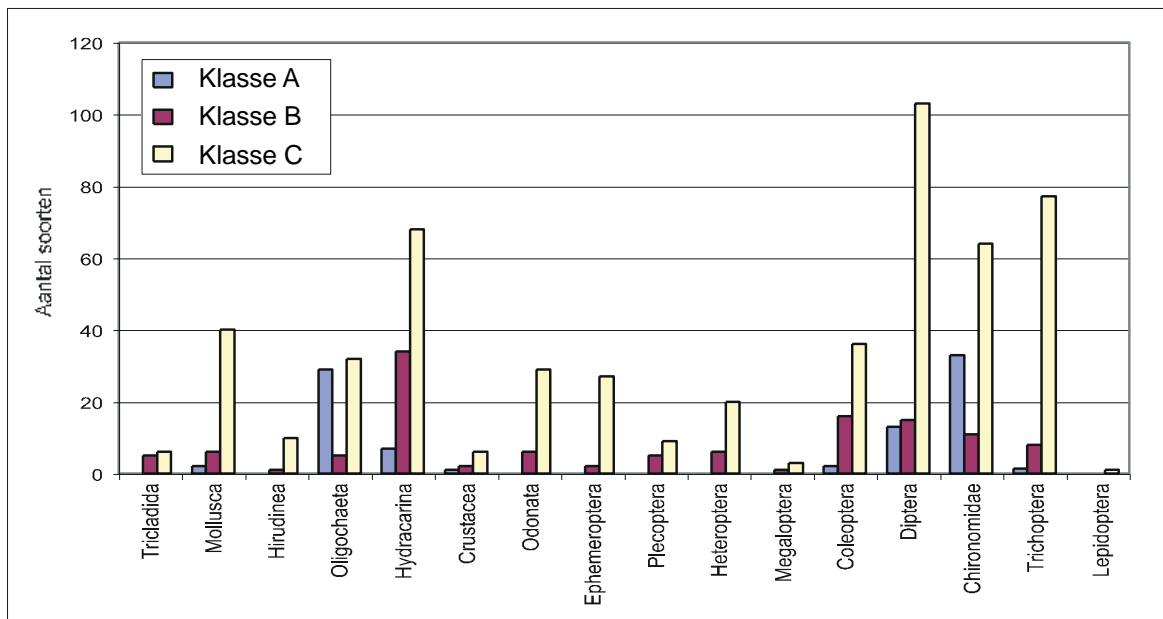
**Figuur 9**

*Aantal soorten per overgangsklasse (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

Van de fauna voorkomend in beeecosystemen zal ongeveer 12% verdwijnen, 17% zal nieuw zijn voor Nederland en 71% van de fauna zal geen wijziging ondervinden (figuur 9).

Voor de soorten geselecteerd voor overgangsklasse B is in Van den Hoek en Verdonschot (2001) op basis van de literatuur nagegaan wat de huidige verspreiding is in ecoregio 13. Van soorten die voorkomen in Noord- en Midden-Frankrijk is een uitbreiding van het areaal naar Nederland te verwachten. Maar voor een mediterrane soort die alleen in Zuid-Frankrijk (behorend tot regio 13) voorkomt, is het voorkomen in Nederland bij een gewijzigd temperatuurverloop niet te verwachten. Deze laatste soorten zijn verwijderd uit overgangsklasse B. Een aantal soorten in de overgangsklasse B wordt al in Nederland aangetroffen. Deze soorten zijn niet meegeteld.

Eveneens is in Van den Hoek en Verdonschot (2001) per taxonomisch groep bekeken of bepaalde trends (verschuivingen, enz.) zichtbaar zijn. Dit wordt in figuur 10 weergegeven.



**Figuur 10**

Aantal soorten per overgangsklasse per taxonomische hoofdgroep (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).

### Overgangsklasse A

In overgangsklasse A (soorten waarvan het areaal door een gewijzigd temperatuurverloop afneemt of verdwijnt) behoren opvallend veel soorten tot de Oligochaeta (wormen) en Chironomidae (vedermuggen). Ongeveer 44% van de Oligochaeta-fauna in beekecosystemen verdwijnt uit Nederland, voor de Chironomidae is dit percentage 31%, waartoe voornamelijk Orthoclaadiinae (vedermuggen) behoren die wereldwijd worden aangetroffen in koude wateren. Het hoge aandeel Oligochaeta kan worden veroorzaakt door het ontbreken van auto-ecologische en verspreidingsgegevens van deze groep. Een andere kenmerkende ‘verdwijnende’ soort is de watermijt *Lebertia dubia*, die voor komt in schone bovenlopen van beken. Opvallend is dat er geen extinctie is van soorten uit andere taxonomische hoofdgroepen voorkomend in stabiele koude bovenlopen van beken. Dit zou wel verwacht kunnen worden voor b.v. Plecoptera (steenvliegen) die vooral voorkomen in koudere beschaduwde bovenlopen van beken. Het zou mogelijk zijn dat kwetsbare steenvliegen door andere oorzaken al uit Nederland verdwenen zijn.

### Overgangsklasse B

De soorten ‘nieuw voor Nederland’ zijn afkomstig uit meerdere taxonomische groepen. Verhoudingsgewijs is de uitbreiding van de populaties van Tricladida (platwormen) met 45%, Hydracarina (watermijten) 31%, Plecoptera (steenvliegen) 36% en Coleoptera (kevers) 30% het hoogste van alle taxonomische hoofdgroepen. In mindere mate geldt dit eveneens voor Odonata (libellen)(17%) en Heteroptera (wantsen)(23%). Opmerkelijk is dat het aantal soorten Plecoptera zich uitbreidt, terwijl van deze groep een achteruitgang verwacht werd.

### Overgangsklasse C

Voor verreweg de meeste macrofauna is geen verandering te verwachten. Opvallend is de Hirudinea (bloedzuigers) en Ephemeroptera (eendagsvliegen) grotendeels ongewijzigd blijven, respectievelijk voor 91% en 93%. Minder ongewijzigd blijven de groepen Mollusca (weekdieren), Diptera (tweevleugeligen) en Trichoptera (kokerjuffers), waarvan respectievelijk 83%, 79% en 87% van de fauna ongewijzigd blijft.

Een aantal groepen, waaronder de Crustacea (schaaldieren), Megaloptera (elzevliegen), en Lepidoptera (vlinders), zijn in een dermate gering aantal soorten in beekecosystemen vertegenwoordigd dat uitspraken



over toe- en afname onbetrouwbaar zijn. Niet van alle taxonomische hoofdgroepen is nader te verifiëren hoe de verspreiding momenteel is. Alleen van de Odonata en Trichoptera is het mogelijk de verspreiding binnen Europa nauwkeuriger te bepalen.

### Kolonisatie van Odonata (libellen) uit Noord- en Midden-Frankrijk

Aan de hand van de verspreiding van libellen in Europa (Bos en Wasscher, 1997) is onderzocht welke libellen hun noordelijk areaal in Noord- en Midden-Frankrijk hebben. Er worden alleen soorten geselecteerd die een zuidelijk Atlantische verspreiding hebben. Alleen deze soorten zijn bij een nieuw temperatuurverloop in Nederland te verwachten. Om aan dit criterium te voldoen worden soorten geselecteerd die een verspreiding hebben boven de denkbeeldige grens Bordeaux - Geneve maar beneden de Nederlands/Belgische grens. Wanneer de noordgrens van een areaal beneden de denkbeeldige lijn Bordeaux - Geneve gelegen is, wordt de verspreiding als mediterraan aangemerkt. Omdat libellen niet strikt voorkomen in beekecosystemen wordt de selectie niet beperkt tot alleen beek- en riviersystemen, maar toegepast op alle zoetwaterecosystemen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen soorten die nu bekend staan als 'zwerfgasten' (z) maar in Nederland geen populatie ontwikkelen, uitgestorven soorten (u), soorten die waarschijnlijk uit Nederland zullen verdwijnen (e = extinctie) en soorten (n) die nog niet eerder zijn aangetroffen in Nederland. De resultaten zijn weer-gegeven in tabel 11.

Volgens tabel 11 zijn er dertien soorten Odonata die voldoen aan een zuidelijk Atlantische verspreiding. Hiervan komen tien soorten voor in beek- en rivierecosystemen, de overige soorten worden gevonden in stilstaande wateren. Sommige libellen, die als uitgestorven zijn gemeld voor Nederland, komen momenteel nog wel voor in Noord- en Midden-Frankrijk. Ook zijn een aantal soorten bekend als zwerfgasten in Zuid-Nederland. Dit geeft het potentieel aan van een mogelijke uitbreiding van hun areaal wanneer door een nieuw temperatuurverloop geschikte biotopen in Nederland worden gevormd.

De libellen die mogelijk uit Nederland verdwijnen hebben hun habitat in vennen en hoogvenen.

**Tabel 11**

*Wijzigingen in de populaties van Odonata (libellen) in Nederland (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

Soorten	Nieuw (n)	Extinctie (e)	Zwerfgast (z)	Uitgestorven (u)	Biotoop (Bos en Wasscher, 1997)
<i>Coenagrion lunulatum</i>		e			Vennen en hoogveen, soms bij leemputten en recent gegraven wateren
<i>Coenagrion mercuriale</i>			z	u	Schone stromende kalkrijke beken
<i>Coenagrion scitulum</i>	n				Beken en stilstaande wateren met rijke submerse vegetatie
<i>Platycnemis acutipennis</i>	n				Langzaam stromende beken, kanalen en rivieren en bospoelen.
<i>Platycnemis latipes</i>	n				Langzaam stromende beken en rivieren
<i>Aeshna affinis</i>			z		Kleine ondiepe vegetatierijke stilstaande wateren

**Tabel 11 (vervolg)**

Wijzigingen in de populaties van Odonata (libellen) in Nederland (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).

Soorten	Nieuw (n)	Extinctie (e)	Zwergast (z)	Uitgestorven (u)	Biotoop (Bos en Wasscher ,1997)
<i>Aeshna subarctica elisabethae</i>		e			Vennen met drijvend veenmos, hoogveencomplexen
<i>Boyeria irene</i>	n				Beschaduwde beken en rivieren
<i>Anax parthenope</i>			z		Grotere stilstaande wateren met drijvende vegetatie
<i>Gomphus simillimus</i>	n				Langzaam stromende rivieren
<i>Gomphus flavipes</i>	n		(z)		Schone zandige rivieren
<i>Onychogomphus forcipatus</i>	n		(z)		Snel stromende beken en bovenlopen
<i>Onychogomphus uncatus</i>	n				Schone beken en rivieren met grindbodem
<i>Cordulegaster bidentata</i>	n				Schone bronbeken en bronnen
<i>Oxygastra curtisii</i>	n			(u)	Stromend water en bosrijke oevers
<i>Eitheca bimaculata</i>	n				Mesotrofe heldere meren
<i>Orthethrum brunneum</i>			z		Vegetatie-arme wateren en stromende beken
<i>Orthethrum albistylum</i>	n				Stilstaande, snel opwarmende wateren (plassen en grindgaten)
<i>Sympetrum depressiusculum</i>			z		Voedselarme vennen
<i>Sympetrum fonscolombii</i>	n				Stilstaande snel opwarmende grotere wateren
<i>Leucorrhinia dubia</i>		e			Vennen, soms in hoogveen of zandputten
<i>Leucorrhinia rubicunda</i>		e			Hoogvenen en vennen, soms in kleine watertjes in laagveen en in de duinen
Totaal	13	4	7	2	

### Kolonisatie van Trichoptera (kokerjuffers) uit Noord- en Midden-Frankrijk

Aan de hand van verspreidingkaarten uit Tobias en Tobias (1981) is in Van den Hoek en Verdonschot (2001) onderzocht welke Trichoptera (kokerjuffers) een zuidelijk Atlantisch areaal hebben. Ook van kokerjuffers wordt verwacht dat ze bij een nieuw temperatuurverloop hun areaal in noordelijke richting uitbreiden. De criteria om zuidelijk Atlantische soorten te selecteren zijn gelijk aan zoals die gebruikt zijn bij de kolonisatie van zuidelijk Atlantische Odonata (libellen). De selectie is, evenals bij de Odonata, toegepast op alle soorten die voorkomen in zoetwatersystemen.

Er is een onderscheid gemaakt tussen nieuwe soorten (n) en soorten die waarschijnlijk uit Nederland verdwijnen (extinctie). Voor een aantal soorten is bekend dat het voorkomen beperkt is tot zeer snel stromende bergbeken. Omdat dit habitat nauwelijks in Nederland aanwezig is (uitgezonderd in Limburg) zijn deze soorten met een 'asterix' gemarkeerd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 12.

**Tabel 12**

*Wijzigingen in de populaties van Trichoptera (kokerjuffers) in Nederland (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

Soorten	Nieuwe soort (n)	Extinctie (e)	Biotoop (Tobias en Tobias, 1981)
<i>Hydroptila angulata</i>	N		rivieren
<i>Allotrichia pallicornis</i>	N		laaglandbeken
<i>Philopotamus variegatus</i> *	N		snel stromende beschaduwde bovenlopen
<i>Diplectrona felix</i> *	N		bronnen en kleine beken
<i>Micrasema longulum</i>	N		stromende wateren
<i>Trienodes reuteri</i>		E	langzaam stromende en stilstaande plantrijke wateren
<i>Molanna albicans</i>		E	langzaam stromende beken en stilstaande wateren
<i>Ecclisopteryx guttulata</i>	N		stromende wateren
<i>Stenophylax vibex</i>	N		beken
<i>Micropterna testacea</i>	N		stromende wateren
<i>Mesophylax impunctatus</i>	N		stromende wateren
<i>Allogamus ligonifer</i> *	N		snelstromende beken
Totaal	10	2	

Volgens de selectie zijn er (tabel 12) tien soorten met een zuidelijk Atlantische verspreiding. Alle deze soorten komen voor in stromende wateren. Twee soorten kunnen mogelijk uit Nederland verdwijnen. Deze worden gevonden in langzaam stromende en stilstaande wateren.

### Conclusies

Uit de studie van Van den Hoek en Verdonschot (2001) blijkt dat de grootste uitbreiding van macrofauna van stromende wateren te verwachten is bij de Tricladida (platwormen), Hydracarina (watermijten), Plecoptera (steenvliegen), Odonata (libellen), Coleoptera (waterkevers) en Heteroptera (wantsen). Ongewijzigd blijven de Mollusca (weekdieren), Hirudina (bloedzuigers) en Ephemeroptera (eendagsvliegen). Het voorkomen van Chironomidae (vnl. Orthocladiinae - vedermpjes) in Nederland zou afnemen. Dit komt overeen met de literatuur waaruit bekend is dat veel Orthocladiinae voorkomen in relatief koude stabiele beken en die bij een warmer temperatuurverloop in aantal afnemen (Oswood, 1989; Beckett, 1992; Rossaro, 1991; Milner, 1994). Een veronderstelde afname van Oligochaeta wordt niet vanuit de literatuur ondersteund en vermoed wordt dat er andere factoren een rol spelen.

Aan de hand van nauwkeurige verspreidingsgegevens (Bos en Wasscher, 1997; Tobias en Tobias, 1981) van Odonata (libellen) en Trichoptera (kokerjuffers), waarbij zuidelijk Atlantische soorten zijn geselecteerd, blijkt dat er vooral soorten van stromend water hun areaal noordelijker zouden uitbreiden bij een nieuw temperatuurverloop.

Uit de verspreiding van de libellen blijkt dat er relatief veel soorten (zwerfgasten) aan de zuidgrens van Nederland voorkomen (Bos en Wasscher, 1997). Tot nu toe vestigen deze soorten zich nog niet. Maar het duidt wel op een potentie van soorten om te migreren en een populatie te vormen. Opvallend is dat met behulp van deze methode meer libellen kunnen worden verwacht in Nederland ten opzichte van de gevolgde methode met Illies (1978). Het is niet onaannemelijk dat dit ook geldt voor andere groepen macrofauna. Ook voor de Trichoptera bestaan er de verschillen tussen beide methodes. Een aantal in Illies (1978) voor ecoregio 13 genoemde soorten komen niet voor in de 'Trichoptera Germanica' van Tobias en Tobias (1981). Ook omgekeerd zijn de via Tobias en Tobias (1981) geselecteerde soorten niet door Illies (1978) vermeld voor ecoregio 13, maar wel voor de aanliggende ecoregio's 8 'Westliches Mittelgebirge' en 4 'Alpen'. Dit duidt aan dat er onzekerheden in taxonomie en verspreidingsgegevens bestaan.

De verschillen tussen beide gevolgde methodes kunnen mogelijk worden veroorzaakt doordat de verspreidingsgegevens van Illies (1978) minder 'up to date' zijn vergeleken met de huidige verspreiding van macrofauna in Nederland. Het geeft aan dat we voorzichtig moeten omgaan met de interpretatie van verspreidingsgegevens.

Geconcludeerd kan worden dat de selectie met behulp van de overgang tussen ecoregio's (Illies, 1978) alleen de contouren van het toe- en afnemen op het niveau van familie of orde schetst. Nauwkeurige verspreidingsgegevens en autoecologische informatie zijn nodig om op soortniveau een beeld te geven van het afnemen in voorkomen, mogelijke extinctie van soorten en het introduceren van nieuwe soorten.

Aan de ene kant wordt duidelijk dat macrofauna die hun levenscycli voltooiën binnen relatief geringe temperatuurwisselingen het meest kwetsbaarst zijn. Tot dergelijke kwetsbare soorten behoren Plecoptera (steen-vliegen) en Orthocladinae (vedermuggen). Deze worden vooral gevonden in beschaduwde bovenlopen. Vaak zijn deze populaties genetisch hoog gedifferentieerd en leven geïsoleerd en hebben daardoor weinig kansen om zich fysiologisch aan te passen aan een nieuw temperatuurverloop. Doordat deze populaties zijn aangepast aan stabiele koude milieus en hierin overleven zijn ze ook minder aangewezen op verspreidingsmechanismen (o.a. vliegvermogen). Bij een stijging van de gemiddelde jaarlijkse watertemperatuur hebben ze minder mogelijkheden om andere gebieden te bereiken om te overleven. Dit betekent dat ook al zou de verandering van het temperatuurverloop geleidelijk verlopen de kwetsbare soorten door een gering aanpassingsvermogen toch niet in staat zijn om de populatie in stand te houden.

Soorten die leven in milieus met een grote temperatuurvariatie zijn genetisch hieraan aangepast. Meestal hebben deze soorten goed ontwikkelde verspreidingsmechanismen om bij extreme watertemperaturen geschikte habitats te zoeken. Bij een veranderend temperatuurverloop hebben deze populaties een veel grotere kans om te overleven.

Aan de andere kant wordt duidelijk dat een verandering in temperatuurverloop niet hoeft te betekenen dat kwetsbare soorten geheel uitsterven. Uit de literatuur blijkt dat door wijzigingen in het temperatuurverloop de levenscycli van veel soorten veranderen. Dit kan zowel positieve als negatieve gevolgen hebben. Door een warmer klimaat zullen insecten een hogere groeisnelheid hebben en eerder uitvliegen. Een hogere groeisnelheid resulteert in een afname van het aantal nakomelingen per generatie. Deze afname kan gecompenseerd worden als door een verlengd groeiseizoen een extra generatie per jaar wordt voortgebracht. Wanneer voor kwetsbare soorten gedurende de zomer letale temperaturen worden bereikt en hierdoor een extra generatie uitblijft, kan het leiden tot extinctie van deze soorten.

Minder kwetsbare soorten, waaronder Coleoptera (kevers), Ephemeroptera (eendagsvliegen), Odonata (libellen) en Trichoptera (kokerjuffers), zullen tot de in aantallen uitbreidende families behoren.

Uit de studie van Van den Hoek en Verdonschot (2001) kan geconcludeerd worden dat autoecologische gegevens over de levenscycli en de temperatuurtolerantie veel inzicht kunnen geven over de overleving of het uitsterven van soorten in beekecosystemen. Populaties die genetisch zijn aangepast aan habitats met een geringe temperatuurvariatie zullen in voorkomen afnemen, terwijl populaties die weinig eisen stellen aan een zekere temperatuurvariatie mogelijkheden hebben om te overleven en zelfs het voorkomen uit te breiden. Echter, voor veel macrofauna is deze kennis niet volledig of slecht voorhanden waardoor het moeilijk is aan te geven welke soorten in Nederland in voorkomen zullen afnemen of uitsterven. In tabel 13 is de uitsterfkans van macrofauna onder een warmer temperatuurverloop samengevat.

**Tabel 13**

*Uitsterfkans van macrofauna in relatie tot genetische differentiatie en temperatuurrange (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

Genetische differentiatie	Temperatuurrange	
	stenotherm	polytherm
homogeen	+ +	+
heterogeen	- +	--

Als het temperatuurverloop in Nederland na een klimaatwijziging gelijk wordt aan het huidige verloop heersend in ecoregio 13 en soorten ook daadwerkelijk kunnen migreren, dan is de grootste uitbreiding te verwachten bij de Tricladida (platwormen), Hydracarina (watermijten), Plecoptera (steenvliegen), Odonata (libellen), Coleoptera (kevers) en Heteroptera (wantsen). Kolonisatie van nieuw ontstane geschikte leefgebieden in Nederland vanuit Noord- en Midden-Frankrijk is sterk afhankelijk van het migratievermogen van elke afzonderlijke soort. Uit de waarneming van zwerfgasten blijkt dat Odonata een groot potentieel hebben om nieuwe leefgebieden te koloniseren en nieuwe populaties te vormen. Soorten met een minder groot vliegvermogen (bv. Coleoptera) kunnen op lange termijn worden verwacht, terwijl van soorten met een slecht vliegvermogen of een sterke binding aan stromende wateren het maar de vraag is of ze binnen bepaalde tijd Nederlandse leefgebieden kunnen bereiken. Ook soorten in Noord- en Midden-Frankrijk kunnen genetisch geïsoleerde populaties vormen en ook in deze ecoregio worden genetisch geïsoleerde populaties blootgesteld aan een nieuw temperatuurverloop dat de overleving in gevaar kan brengen. Migratie naar nieuw ontstane geschikte leefgebieden in Nederland wordt hierdoor bemoeilijkt. Daarnaast speelt de beschikbaarheid van geschikt habitats een belangrijke rol zowel op de verspreidingsroute als in het oorsprong en toekomstige gebied. Sommige stromend watertypen zullen in Nederland nooit in de dichtheid voorkomen en met het areaal zoals dat in Frankrijk aanwezig is (m.n. om reden van geomorfologie). In tabel 14 is de kolonisatie van macrofauna bij een warmer temperatuurverloop samengevat.

**Tabel 14**

*Kolonisatiemogelijkheden van macrofauna in relatie tot vliegvermogen in het huidige en in een nieuw temperatuurverloop (Van den Hoek en Verdonschot, 2001).*

Vliegvermogen	Temperatuurverloop	
	huidig	nieuw
laag	--	- +
hoog	+	+ +

Een moeilijk te bepalen probleem is de snelheid waarmee een nieuw temperatuurverloop gaat intreden. Echter, door allerlei ingrepen in beekecosystemen en bedreigingen van de habitats van macrofauna kan er reeds een verandering hebben plaatsgevonden van levensgemeenschappen. Uit de literatuur blijkt o.a. dat het verwijderen van de beschaduwing of veranderingen in het hydrologisch verloop grote gevolgen kan hebben voor beekpopulaties. Ook in Nederland zijn de afgelopen tientallen jaren beekecosystemen sterk aangetast (Verdonschot, 1995), die geresulteerd kunnen hebben in nieuwe temperatuurvariëaties met als gevolg een andere samenstelling van beekpopulaties. Deze veranderingen kunnen de (langzame) effecten van een nieuw temperatuurverloop camoufleren of zelfs overheersen.

### 2.2.2 Weerstand en veerkracht van natuurlijke systemen/processen

Grotere weerstand en veerkracht van een natuurlijk ecosysteem (ten opzichte van een gestrest systeem) bij verstoringen zoals piekafvoer is aangetoond voor beeksystemen (Verdonschot, Besse-Lototskaya en Van den Hoorn, 2010; Verdonschot, Siedlecka en Besse-Lototskaya, 2010). Succesvolle vestiging van exoten in aquatische systemen is waarschijnlijk ook onder andere afhankelijk van de weerstand en veerkracht van het ecosysteem (Paulissen en Verdonschot, 2007). De vestigingskans voor exoten lijkt groter in verstoorde habitats (Mooney en Drake, 1989). In dergelijke habitats staan inheemse populaties vaak onder druk door bijvoorbeeld vervuiling of overbevissing. Hierdoor kunnen niches en leefruimte beschikbaar komen voor exoten. Als alle niches bezet zijn (situatie in een natuurlijk ecosysteem), dan heeft dergelijke systeem meer weerstand en veerkracht tegen de komst van nieuwe soorten.

### 2.2.3 Rol en invloed van nieuwe functionele soortgroepen

Als een nieuwe soort geen plaag vormt en op een natuurlijke manier in een ecosysteem past, dan draagt deze soort bij aan de vergroting van biodiversiteit. De voorbeelden van deze niet-invasieve soorten zijn *Gammarus roeseli* in beken en *G. tigrinus* in meren en kanalen. Deze vlokreeften zijn uitheemse soorten die volledig zijn geïntegreerd in Nederlandse aquatische systemen, zonder de ecosysteemstructuur te beschadigen. Hetzelfde geldt voor de oeverplant kalmoes (*Acorus calamus*) die oorspronkelijk uit Zuidoost-Azië komt.

Invasieve soorten die een plaag vormen kunnen verschillende gevolgen voor het aquatische ecosysteem hebben. De driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) is een soort die Nederland in de 19<sup>e</sup> eeuw heeft bereikt via verbindingskanalen uit Zuidoost-Rusland. Ondanks de plaagvorming levert de driehoeksmossel een positieve bijdrage aan het ecosysteem door het filteren van algen uit het water en het scheppen van habitat voor de macrofauna.

Invasieve soorten hebben echter vaker negatieve effecten op het aquatische ecosysteem. Deze exoten kunnen door concurrentie, predatie, parasiteren en verspreiding van ziekten, e.d. leiden tot de achteruitgang van inheemse soorten of voorkomen dat herstelmaatregelen leiden tot herstel van populaties van karakteristieke soorten. Een uitheemse soort wordt pas invasief nadat hij een aantal filters succesvol heeft gepasseerd, deze zijn: transport, succesvolle vestiging, snelle verspreiding en het vermogen om het structuur en het functioneren van het ecosysteem te veranderen. Er zijn twee belangrijke functionele groepen van invasieve soorten: 'ecosystem engineers' en 'top predatoren'.

'Ecosystem engineers' zijn organismen die het functioneren van het systeem doen veranderen. Een voorbeeld van een 'ecosystem engineer' in aquatische ecosystemen is de Kaspische slijkgarnaal (*Corophium curvispinum*), een garnalensoort die sinds 1978 zich succesvol heeft weten te integreren in Nederlandse grote rivieren. De Kaspische slijkgarnaal bereikte Nederland via het Main-Donaukanaal en heeft de populatie van inheemse slijkgarnaal *C. lacustre* weggeconcurrerd.

Een voorbeeld van een 'ecosystem engineer' in stilstaande wateren is waterpest. In Nederland komen twee soorten voor: brede waterpest (*Elodea canadensis*) en smalle waterpest (*E. nuttallii*). Beide soorten komen oorspronkelijk uit Noord-Amerika en zijn eind dertiger jaren Nederland binnengedrongen en hebben zich in hoog tempo breed verspreid.

'Top predatoren' zijn organismen die na een succesvolle vestiging en verspreiding in een snel tempo op andere organismen(groepen) kunnen prederen. Sommige rivierkreeften die in Nederland geïntroduceerd zijn, zijn 'top predatoren'. Ook de zonnebaars is hier een voorbeeld van. In stilstaande en in stromende wateren is de zonnebaars de laatste twintig jaar explosief toegenomen. In wateren waar de zonnebaars domineert worden

de aantallen van inheemse soorten ongewervelden en amfibieën gedecimeerd en wordt de effectiviteit van herstel- en natuurontwikkelingsmaatregelen voor het behalen van natuurdoelen sterk verminderd.

Een ander voorbeeld van een 'top predator' is de Jenkin's brak water hoorntje (*Potamopyrgus antipodarum*). Deze slak komt oorspronkelijk uit Nieuw Zeeland en de omliggende eilanden. Deze soort heeft zich succesvol gevestigd in de ecosystemen van rivieren, laagland beken en brakke wateren van vier continenten (Alonso en Castro-Diez, 2008). In een beek in Wyoming (VS) heeft *P. antipodarum* 75% van de primaire producenten geconsumeerd en was verantwoordelijk voor circa 65% van de totaal geproduceerde  $\text{NH}_4^+$  (Hall et al., 2003).

Naast de functionele groepen van 'ecosystem engineers' en 'top predatoren' zijn de nieuwe invasieve soorten die ziekten overdragen beleidsmatig zeer belangrijk. De belangrijkste voorbeelden hiervan zijn de steekmuggen. Als gevolg van klimaatverandering worden een aantal nieuwe steekmugsoorten in Nederland verwacht: de boomholtesteekmuggen *Aedes aegypti*, *A. japonicus* en *A. albopictus* (tjergermug) (Verdonschot, 2009). Deze soorten zijn recent in Europa aangetroffen en *A. japonicus* en *A. albopictus* hebben zich succesvol gevestigd. *A. aegypti* komt in Europa alleen voor op Madeira. Het oorspronkelijke habitat van deze soorten zijn met water gevulde boomholten. Met de komst van enkele nieuwe boomholtesteekmuggen zouden ook bepaalde ziekten overgebracht kunnen gaan worden (Verdonschot, 2009). De infecties die mogelijk in Europa gaan voorkomen en ziekteverwekkend zijn bij de mens dienen echter Nederland dan ook te bereiken en levensvatbaar te blijken. Met een verschuiving van de grenzen van het tropische klimaat is het echter niet ondenkbaar dat de (sub)tropische ziekten zullen volgen (Verdonschot, 2009). Ziekten zoals malaria (geen virusziekte maar een parasiet), West-Nijl en Dengue, die worden overgebracht door geïnfecteerde muggen, steken steeds vaker de kop op in gebieden waar ze tot voor kort niet voor kwamen en kunnen zich naar voorheen te koude streken uitbreiden (WHO, 2004). Relevant als ziekteverwekker zijn in ieder geval West-Nijl, Dengue, (Chikungunya), Rift Valley en Equine encephalitis.

De rol van de nieuwe soorten en soortgroepen in veranderend klimaat is niet zo zeer afhankelijk van een watertype, maar is gerelateerd aan de mate van verstoring in het ecosysteem (zie paragraaf 2.2). Hoe natuurlijker het systeem is, des hoe meer weerstand het biedt tegen mogelijke invasies. En anders om, hoe meer verstoord het systeem is, des te meer kansen het biedt voor de vestiging van de invasieve soorten.

## **2.3 Gevolgen voor natuur(doelen)**

### **2.3.1 Gevoeligheid van Nederlandse wateren voor klimaatverandering**

Aan de hand van de beschrijving van de belangrijkste landschapsecologische processen van hoofdstuk 1.1.3 kunnen Nederlandse oppervlaktewateren (per watertype) worden gerangschikt op gevoeligheid voor klimaatverandering (tabel 15). Dit zijn niet de opgetelde kruisjes uit de tabellen die de processen die gevolg zijn van klimaatverandering, per watertype beschrijven (tabellen 4 en 5), maar een verfijnde verdeling die aan de hand van expert judgement onderscheid maakt in het gewicht van verschillende effecten/processen. Uiteraard is een dergelijke weging gebaseerd op een subjectieve inschatting en moeten de getallen met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

**Tabel 15**

*Samenvattend overzicht van de gevoeligheid van Nederlandse wateren voor klimaatverandering, per watertype. De mate van invloed door klimaatverandering is uitgedrukt in scores van 0 (geen effect) tot 5 (grootste effect).*

Watertype	Gevoeligheid voor klimaatveranderingsprocessen
bronnen	5
droogvallende stromende wateren	3
kleine permanente stromende wateren	4-5 afh trofie
grote permanente stromende wateren	3
rivieren en nevengeulen	2
kanalen	1
meren	2
plassen	3
grote duinwateren	3
sloten	3-5 afh trofie
poelen	5
kleine duinwateren	4-5 afh dimensie
vennen	4-5 afh trofie en dimensie
brakke wateren	2-3 afh dimensie
broekmoerassen (incl. uiterwaarden)	2
hoogveenmoerassen	5
laagveenmoerassen	4

In elke watertype zijn er gevolgen van klimaatverandering te verwachten, maar in verschillende mate. Gevoeligheidscore '0' komt daarom in dit overzicht niet voor. De factoren trofiegraad en uitdroging bepalen hoofdzakelijk de gevoeligheidscore.

Kanalen zijn de meest klimaatbestendige watertype, vooral omdat kanalen meestal zeer voedselrijk zijn. Rivieren, meren, broekmoerassen, uiterwaarden en brakke wateren ondervinden ook geen grote gevolgen door klimaatverandering. Droogvallende stromende wateren, grote permanente stromende wateren, plassen en grote duinwateren zijn meer gevoelig. De gevoeligheidscore van sloten varieert tussen 3 en 5, afhankelijk van de trofiegraad. Hoe lager de trofiegraad is des hoe hoger is de score. Voor de moerassen loopt het gradiënt van eutrofe klei veenweiden broekbossen en uiterwaarden (gevoeligheidsscore 2) via mesotrofe laagveenmoerassen (gevoeligheidsscore 4) naar oligotrofe hoogveenmoerassen (gevoeligheidsscore 5). Mesotrofe kleine permanente stromende wateren scoren 4 terwijl dezelfde wateren met een oligotroof karakter 5 scoren. De klimaatgevoeligheid van vennen en kleine duinwateren ligt ook hoog (score 4 tot 5). Kleine en oligotrofe vennen zijn het meest gevoelig, omdat ze het snelst uitdrogen en eutrofiëren (zwak zure oligotrofe vennen - 5; zure mesotrofe vennen - 4; kleinere vennen (veel oeverzone ten opzichte van het oppervlak) - 5, grotere - 4). Kleine duinwateren die ondiep en klein zijn, zijn door uitdroging het meest gevoelig. Poelen zijn het meeste klimaatgevoelige watertype vooral doordat poelen snel uitdrogen.

## 2.4 Geografische duiding en gevoeligheid

### 2.4.1 Kwetsbaarheid Nederlandse wateren per regio

Om de kwetsbaarheid van Nederlandse waternatuur per regio weer te geven is voor deze studie een aangepaste Fysisch Geografische Regio-indeling van Nederland (ArcGIS 9) gebruikt. Deze indeling is verder verfijnd tot veertien subregio's:



1. DUW : Duinen - Wadden
2. DUO : Duinen - Overig
3. ZKN : Zeeklei - Noord
4. ZKM : Zeeklei - Midden
5. ZKZ : Zeeklei - Zuid
6. LVN : Laagveen-Noord
7. LVH : Laagveen Holland
8. RIV : Rivierengebied
9. AFZ : Aftgesloten zearmen
10. HZN : Hoge Zandgronden - Noord
11. HOV : Hoge Zandgronden - Overijssel, Achterhoek, Liemers
12. HZW : Hoge Zandgronden - West
13. HZZ : Hoge Zandgronden - Zuid
14. HLL : Heuvelland Z-Limburg

Vervolgens is er een schatting gemaakt van de verspreiding van elk watertype per subfysisch-geografische regio (tabel 16). Elk watertype heeft per subregio een score gekregen.

**Tabel 16**

*Het voorkomen van een watertype in Nederland, per subfysisch-geografische regio.*

*Watertype is: 1 - aanwezig, 2 - redelijk aantal/oppervlak; 3 - dominant.*

Watertype	DUW	DUO	ZKN	ZKM	ZKZ	LVN	LVH	RIV	HZN	HOV	HZW	HZZ	HLL	AFZ
bronnen										3	2		3	
droogvallende									1	1	2	2	1	
stromende														
kleine permanente								1	3	3	3	3	3	
stromende														
grote permanente								1	2	2	1	2	2	
stromende														
rivieren en nevengeulen								3						
kanalen		1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
meren						3	3							3
plassen				1		3	3							
grote duinwateren	3	3												
sloten	1		3	3	3	3	3	2	1	1	1	1	1	
poelen					1				2	2	2	2	3	
kleine duinwateren	3	3												
vennen									3	3	3	3		
brakke wateren	3	1	2	3	3									3
broekmoerassen	1							2	1	1		1		
(incl. uiterwaarden)														
hoogveenmoerassen									2	2		2		
laagveenmoerassen						3	3							

De term 'klimaatgevoeligheid' van een water beschrijft de mate van klimaatgestuurde veranderingen in dat water, ten opzichte van de huidige situatie. Echter, kunstmatig beheerde of maakbare wateren zullen waarschijnlijk door klimaatverandering anders beïnvloed worden dan natuurlijke wateren die veel minder stuurbaar

zijn. Klimaatgevoelige wateren die door aangepast beheer of andere inrichting hun natuurwaarde kunnen behouden zijn minder kwetsbaar. In tegenstelling hieraan blijven natuurlijke wateren die gevoelig zijn voor klimaatverandering wel kwetsbaar. Voor het natuurbeleid is daarom de term 'kwetsbaarheid voor klimaatverandering' correcter dan de term 'klimaatgevoeligheid'. De 'kwetsbaarheid' van een water kan worden bepaald door een combinatie van de factoren klimaatgevoeligheid en natuurlijkheid (natuurlijkheid versus maakbaarheid en stuurbaarheid van een water).

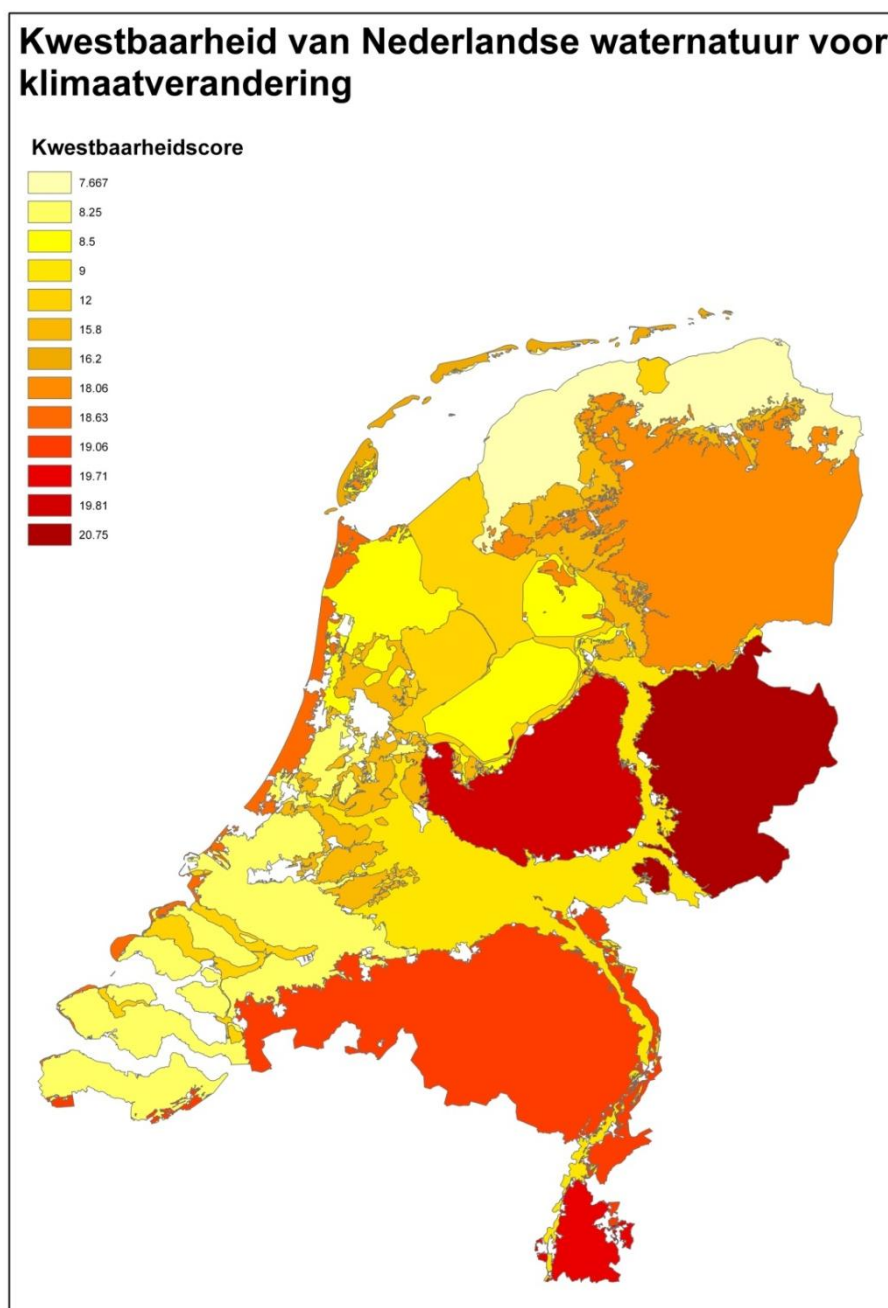
De kwetsbaarheid van een subfysisch-geografische regio is bepaald door een product van klimaatgevoelighedscore, natuurlijkheidscore en de score van verspreiding van een watertype per regio. Uiteraard is een dergelijke vermenigvuldiging gebaseerd op een subjectieve inschatting van de verschillende scores en moeten de uitkomsten met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 17.

**Tabel 17**

*Indicatie van de kwetsbaarheid van Nederlandse wateren voor klimaatverandering, per subfysisch-geografische regio. Kwetsbaarheidsscores zijn berekend als gemiddelde van een product van gevoeligheidscore, natuurlijkheidscore en het voorkomen van een watertype in een regio uit tabel 16. Hoe hoger de kwetsbaarheidsscore is des hoe hoger de kwetsbaarheid van een regio voor klimaatverandering is. Aangezien de verschillende scores op inschattingen zijn gebaseerd dienen de hier gepresenteerde getallen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd.*

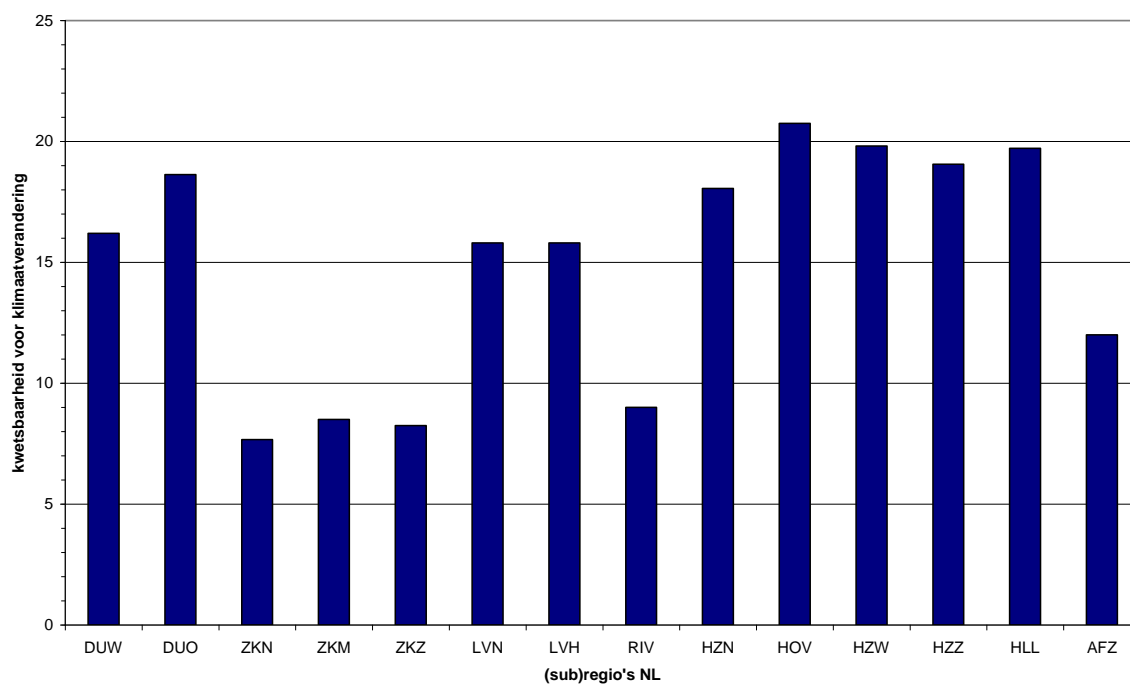
Watertype	Gevoeligheidscore	Natuurlijkheidscore	DUW	DUO	ZKN	ZKM	ZKZ	LVN	LVH	RIV	HZN	HOV	HZW	HZZ	HLL	AFZ
bronnen	5	3										45	30		45	
droogvallende stromende	3	3									9	9	18	18	9	
kleine permanente stromende	4-5	3								12	45	45	45	45	45	
grote permanente stromende	3	3								9	18	18	9	18	18	
rivieren en nevengeulen	2	3								18						
kanalen	1	1		1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
meren	2	2						12	12							12
plassen	3	2				6		18	18							
grote duinwateren	3	3	27	27												
sloten	3-5	1	5		9	9	9	12	12	6	5	5	5	5	5	
poelen	5	1					5				10	10	10	10	15	
kleine duinwateren	4-5	3	27	40.5												
vennen	4-5	3									40.5	40.5	40.5	40.5		
brakke wateren	2-3	2	18	6	12	18	18									12
broekmoerassen (incl. uiterwaarden)	2	2	4							8	4	4		4		
Hoogveenmoerassen	5	3									30	30		30		
Laagveenmoerassen	4	3						36	36							
Kwetsbaarheidsscore regio			16.2	18.6	7.67	8.5	8.25	15.8	15.8	9	18.1	20.8	19.8	19.1	19.7	12

De kwetsbaarheid van Nederlandse waternatuur voor klimaatverandering (per subfysisch-geografische regio) is ook gepresenteerd op de kaart (figuur 11) en in een grafiek (figuur 12).



**Figuur 11**

*De mate van kwetsbaarheid van aquatische systemen voor klimaatverandering op de schaal van subfysisch-geografische regio's. De gegevens zijn gebaseerd op de resultaten in tabel 17.*



**Figuur 12**

*De kwetsbaarheid (in scores) van Nederlandse wateren voor klimaatverandering per subfysisch-geografische regio.*

De Hoge Zandgronden komen uit deze analyse naar voren als de gebieden met de meest klimaatkwetsbare waternatuur in Nederland. Hoge Zandgronden van Overijssel, Achterhoek en Liemers hebben de hoogste kwetsbaarheidscore. De Nederlandse hoge zandgrondgebieden herbergen veel bronnen, beken en vennen die klimaatgevoelig zijn, tegelijkertijd een hoge natuurwaarde hebben en niet maakbaar zijn. Ook de Duinen (buiten het Waddengebied) scoren relatief hoog. De zeekleigebieden hebben de laagste klimaatkwetsbaarheidscores omdat daar vooral klimaatbestendige eutrofe en brakke kanalen en sloten voorkomen.

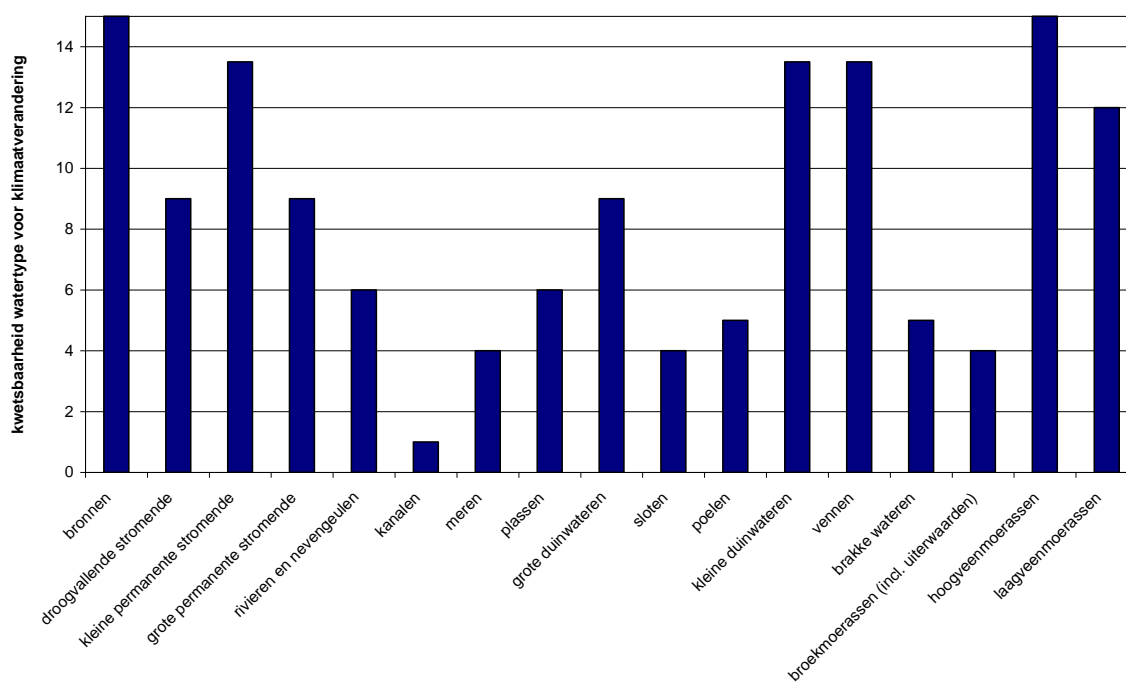
#### **2.4.2 Kwetsbaarheid Nederlandse wateren per watertype**

De kwetsbaarheid van Nederlandse waternatuur voor klimaatverandering per watertype is weergegeven in tabel 18 en figuur 13. De kwetsbaarheidscore is uitgerekend als product van klimaatgevoeligheid- en natuurlijkscores uit tabel 17.

**Tabel 18**

*Kwetsbaarheid van watertypen voor klimaatverandering. Hoe hoger de kwetsbaarheidscore, hoe kwetsbaarder het water is.*

Watertype	Kwetsbaarheidscore
bronnen	15
droogvallende stromende wateren	9
kleine permanente stromende wateren	13.5
grote permanente stromende wateren	9
rivieren en nevengeulen	6
kanalen	1
meren	4
plassen	6
grote duinwateren	9
sloten	4
poelen	5
kleine duinwateren	13.5
vennen	13.5
brakke wateren	5
broekmoerassen (incl. uiterwaarden)	4
hoogveenmoerassen	15
laagveenmoerassen	12



**Figuur 13**

*De kwetsbaarheid (in scores) van Nederlandse wateren voor klimaatverandering per watertype.*

Nederlandse bronnen en hoogveenmoerassen zijn het meest kwetsbaar voor klimaatverandering, gevolgd door beken, vennen en kleine duinwateren. Kanalen zijn het meest klimaatbestendig.

### 2.4.3 Kwetsbaarheid voor klimaatverandering van waternatuur in Natura 2000-gebieden

Het is ook van belang om de kwetsbaarheid voor klimaatverandering van oppervlaktewateren in de Nederlandse natuurgebieden te onderzoeken. Met deze kennis zou het beleid en beheer van de Natura 2000-gebieden beter kunnen worden aangestuurd. De analyse van de kwetsbaarheid van wateren in de Natura 2000-gebieden kan op dezelfde manier worden verricht als voor de (sub)fysisch-geografische regio's. Echter, het koppelen van aquatische Natura 2000-habitattypen aan de watertypen (hier zijn de KRW-watertypen en de Aquatisch Supplement typen gebruikt) per Natura 2000-gebied is niet gelukt omdat een eenduidige één-op-één relatie ontbreekt. De Natura 2000-habitattypen omvatten vaak meerdere KRW of Aquatisch Supplement-typen waardoor een geautomatiseerde koppeling niet mogelijk is en er per gebied gekeken moet worden welke specifieke wateren in een Natura 2000-gebied aanwezig zijn.

Wel was het mogelijk om met behulp van GIS bestanden informatie over wateren in Natura 2000-gebieden te verzamelen en handmatig om te zetten in beheertypen. Hiervoor is de volgende methodiek doorlopen:

#### A. Gebruikte kaartlagen in ArcGIS:

1. Natura\_2000\_gebieden\_per\_11sept08\_per\_beschermingsstatus.lyr
2. Voor de lijnvormige wateren: Top10\_Lijnen\_2006.lyr
3. Voor de vlakvormige wateren: Top10\_Vlakken\_2006.lyr
4. Voor de eerste indeling in watertypen: TOP10NL Watertypenkaart versie 1 PBL, november 2009

#### B. Werkwijze van selectie van wateren:

1. De lijnvormig en vlakvormige wateren binnen de Natura 2000-gebieden zijn uit de Top10\_Lijnen en Top10\_vlakken kaart geknipt. Dit betreft de lijnvormige wateren met de codes 601 (wateren <3 m breed) en 602 (wateren van 3-6 m breed) en de vlakvormige wateren met de codes 610 (grote wateren) en 611 (oeverlijn/landblauw).
2. De onder 1 verkregen selectie is gekoppeld aan de TOP10NL Watertypenkaart van PBL. Middels deze koppeling kon het overgrote deel van de onder 1 gemaakte selectie worden ingedeeld in de watertypen van PBL.
3. Per watertype zijn per Natura 2000-gebied de totale lengte van de lijnvormige wateren en het totale oppervlak van de vlakvormige wateren berekend.

#### C. Werkwijze van indelen van wateren naar watertypen (tabel 19):

1. De geselecteerde wateren zijn in eerste instantie ingedeeld aan de hand van de indeling van de Watertypenkaart van PBL.
2. Vervolgens is elke indeling aan de hand van de beschrijvingen uit de serie 'Europese natuur in Nederland' verder verfijnd.
3. De niet door PBL ingedeelde vlakvormige wateren zijn in eerste instantie ingedeeld als watertype overig, net als de PBL-categorie 'Top10NL objecten 2009 nog niet ingedeeld'. In die Natura 2000-gebieden waar het percentage 'watertype onbekend' groter was dan 0.5% van het totaal oppervlak zijn de bijbehorende watertypen ingeschat.
4. De watertypen vennen en duinwateren zijn aan de hand van het oppervlak per waterlichaam verder onderverdeeld in klein (<10.000 m<sup>2</sup>) en groot (>10.000 m<sup>2</sup>).
5. Om de aanwezigheid van bronnen binnen Natura 2000-gebieden te bepalen is gebruik gemaakt het Alterra-bronnenbestand. Omdat de coördinaten van het Alterra-bronnenbestand niet heel accuraat zijn is er een buffer van 100 meter rond de bron aangelegd om zo ook de bronnen die net buiten een Natura 2000-gebied vallen mee te tellen.

D. Werkwijze berekening oppervlakten:

1. Voor de lijnvormige wateren <3 m is een gemiddelde breedte van 1.5 m gekozen om het oppervlak te berekenen.
2. Voor de lijnvormige wateren met een breedte van 3-6 m is een gemiddelde breedte van 4.5 m gekozen op het oppervlak te berekenen.
3. Voor de bronnen is een oppervlak van 250 m<sup>2</sup> aangenomen.
4. Het aandeel (zoet) oppervlaktewater per Natura 2000-gebied is berekend door het oppervlak van elk watertype te sommeren en te delen door het oppervlak van het hele gebied.

E. Werkwijze berekening kwetsbaarheid voor klimaatverandering:

1. Om een gevoeligheidsscore aan wateren per afzonderlijke Natura 2000-gebieden toe te kennen is tabel 15 uitgebreid voor verschillende fysisch-geografische subregio's (tabel 18).
2. Vervolgens is de gevoeligheidsscore vermenigvuldigd met de natuurlijkscore uit de tabel 17 om de kwetsbaarheidsscore te berekenen.
3. De kwetsbaarheid van (zoet) oppervlaktewater van elk Natura 2000-gebied is berekend als de som van kwetsbaarheidsscores van elk watertype vermenigvuldigd met het aandeel oppervlak dat het betreffende watertype inneemt.

**Tabel 19**

*Procentuele verdeling van de TOP-10/PBL-naamgeving over de benoemde watertypen.*

Type	Naamgeving	Beek	Riviertje	Rivier	Sloot	Kanaal	Ven	Poel	Plas	Meer	Brak water	Duinwater	Onbekend
lijnvormig	MBR: Brakke wateren M30 M31 M32				<1						100		
lijnvormig	MSL: Sloten: M1 M2 M8 M9				100						<1		
lijnvormig	RBL: Langzaam stromende wateren: R3 R4 R5 R11 R12	96			4								
lijnvormig	RBS: Snel stromende wateren: R9 R10 R13 R14 R17 R18	99	1										
lijnvormig	RMB: Riviertje: R6	90			10						12		
lijnvormig	Sloot 3-6m: niet in PBL	<1			88						23		
lijnvormig	Sloot<3m: niet in PBL	<1			77						100		
oppervlak	MBR: Brakke wateren M30 M31 M32									100			
oppervlak	MGD: Grote meren M21										<1		
oppervlak	MKA: Kanalen: M3 M4 M6 M7 M10					100							
oppervlak	MKD: Kleine diepe plassen: M16 M17 M18 M24 M28					37		4	32	<1	10	16	
oppervlak	MKO: Kleine ondiepe plassen (zand, kalk): M11 M22					12			88	<1	<1		
oppervlak	MKV: Kleine ondiepe veenplassen: M25								8	92			
oppervlak	MMD: Matig grote diepe meren: M20 M29								27	73			
oppervlak	MMO: Matig grote ondiepe meren: M14 M23 M27										2		
oppervlak	MSL: Sloten: M1 M2 M8 M9	<1	1			98						24	
oppervlak	MVN: Vennen: M12 M13 M26						75	<1	1				
oppervlak	MWR: Water in rivierengebied: M5 M19							<1	1	1			
oppervlak	Oeverlijn/water (kleine opp): niet in PBL			98								1	45
oppervlak	ONB: Top1 ONL objecten 2009 nog niet ingedeeld		66		1	18	<1		36				27
oppervlak	RBL: Langzaam stromende wateren: R3 R4 R5 R11 R12	19	<1			2			5				
oppervlak	RBS: Snel stromende wateren: R9 R10 R13 R14 R17 R18	89	11			<1			80				
oppervlak	RMB: Riviertje: R6	1	40			10							
oppervlak	RRS: Snelstromende rivier: R15		2	100									
oppervlak	RRV: Rivier: R7 R8			53						45			
oppervlak	Water (groot oppervlak): niet in PBL												100



**Tabel 20**

*Een uitgebreidere toekenning van de gevoeligheidsscore aan de watertypen, per fysisch-geografische subregio's (gebaseerd op expert judgement).*

FGR	Bron	Beek	Riviertje	Rivier	Sloot	Kanaal	Ven klein	Ven groot	Poel	Plas	Meer	Brak water	Duinwater klein	Duinwater groot
Afgesloten zeearmen		4		2	3	1			5		2			
Beekdalen	5	5	3		4	1	4.5	4	5	3		2		
Duinen					5	1			5			3	5	4.5
Heuvelland	5	4			3	1			5					
Hoogvenen		5			5	1	5	4.5	5					
Laagvenen		4			5	1			5	3		3		
Noordzee												2		
Rivierengebied	5	4	3	2	3	1	4.5	4	5	3				
Zandgronden Noord	5	5			4	1	5	4.5	5	3				
Zandgronden Zuid	5	5		2	4	1	5	4.5	5					
Zeekeleigebied					3	1				3		2		
Zoetwatergetijde gebied				2	3	1				3				
Zoutwatergetijdegebied												2	4.5	

NB De waarden 4.5 bij de grote vennen en de grote duinwateren komen omdat de grote wateren de score 4 hebben gekregen maar in sommige FGR regio's gevoeliger zijn voor trofie.

Het aandeel van (zoet) oppervlaktewater per Natura 2000-gebied is weergegeven in tabel 21. Het hoogste aandeel water is in eerste instantie in Natura 2000-gebieden waar oppervlaktewater als natuurdoel aangewezen is (IJsselmeer, brakwatergebieden en rivierengebieden). Daarna volgen laagvenen, beekdalen en hoogvenen. De heuvelland- en zandgrondgebieden hebben het minste water. Het aandeel (zoet) oppervlaktewater is onafhankelijk van de kwetsbaarheid van dat water voor klimaatverandering. Daarom weergeeft de kaart van Natura 2000-gebieden de kwetsbaarheid van het water weer ongeacht het areaal aanwezig.

**Tabel 21**

*Aandeel (zoet) oppervlaktewater per Natura 2000-gebied. Indeling Natura 2000-gebieden naar fysisch-geografische regio's. Kwetsbaarheidsscores voor (zoet) oppervlaktewater per Natura 2000-gebied.*

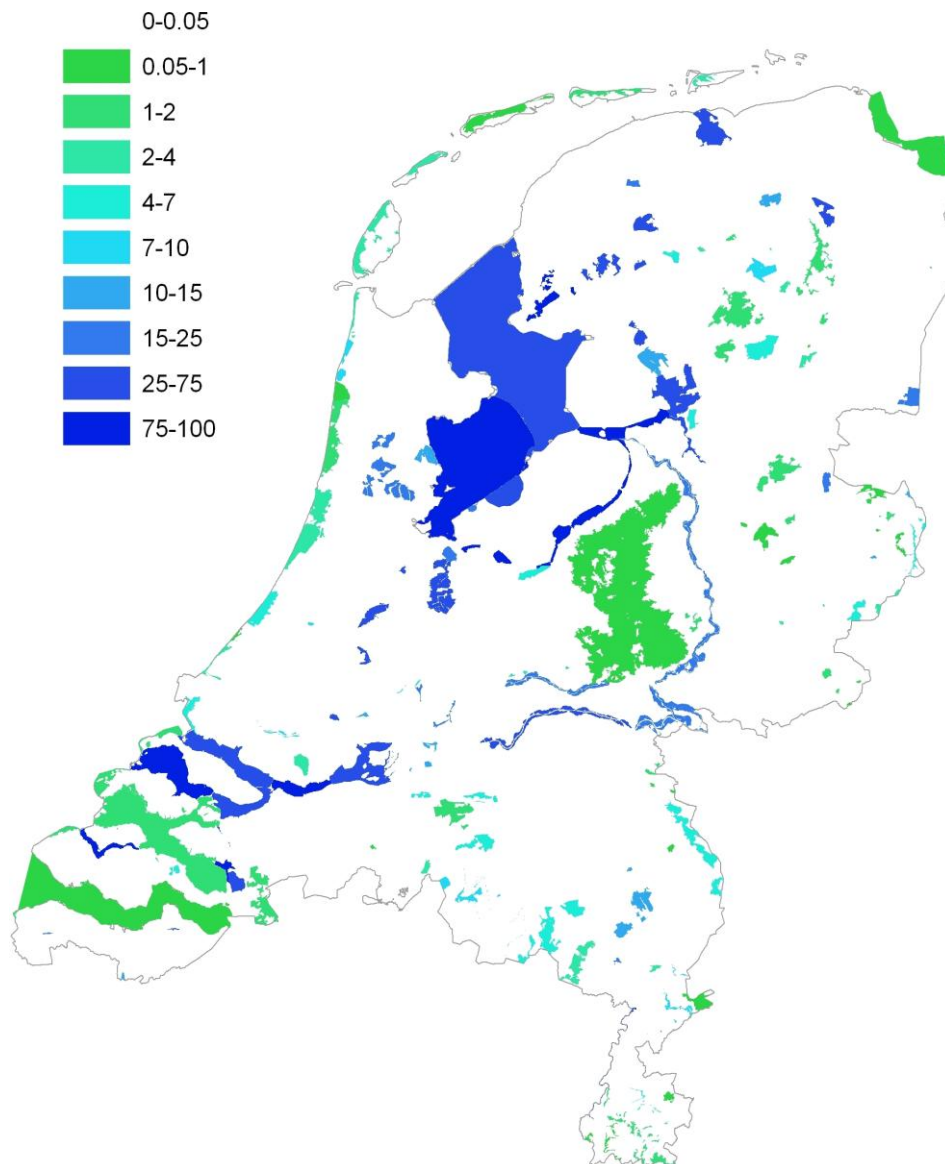
Type	% oppervlak water in Natura 2000		Kwetsbaarheid	Water Natura 2000	Aantal Natura 2000-gebieden
	gemiddeld % oppervlak (zoet)water	standaard deviatie	gemiddelde kwetsbaarheid-score	standaard deviatie	
Afgesloten zeearm	76.75	13.92	4.00	0.01	12
Getijdengebied	0.36		4.00		1
Zeekleigebied	18.08	16.48	4.29	1.17	9
Zoutwatergetijdgebied	20.80	39.58	4.39	0.77	4
Laagvenen	27.64	17.27	5.06	0.64	28
Rivieren gebied	18.11	21.70	5.21	1.44	13
Zoetwatergetijde gebied	46.15	38.00	5.75	0.34	3
Beekdalen	3.06	2.90	8.52	2.73	17
Heuvelland	1.38	1.64	8.61	3.38	7
Hoogvenen	7.28	7.04	10.57	2.22	12
Zandgronden Noord	2.84	3.89	11.07	3.72	17
Duinen	2.49	2.02	11.77	2.12	17
Zandgronden Zuid	3.87	4.25	11.96	2.93	15

De kaart (figuur 14) met het aandeel oppervlakte (zoet)water in Natura 2000-gebieden geeft een vergelijkbaar beeld. Het IJsselmeer, de randmeren, de grote rivieren, de laagveenmeren en delen van de Zeeuwse deltawateren betreffen voornamelijk oppervlaktewater (>75%). De pleistocene zandgebieden en de duinen bevatten minder dan 10% oppervlaktewater per Natura 2000-gebied. Hierbij moet echter wel in ogenschouw worden genomen dat het niet alleen om het oppervlaktewater zelf gaat maar ook om de invloed van dit oppervlaktewater op het gehele gebied. Deze invloedssfeer is moeilijk te kwantificeren maar is veel groter.

De kaart (figuur 15) met de kwetsbaarheid van waternatuur voor klimaatverandering in Natura 2000-gebieden is bijna omgekeerd. De gebieden gelegen in Limburg, Brabant, Achterhoek, Twente, Drenthe en de duinen zijn erg kwetsbaar. De grote wateroppervlakken (bijvoorbeeld het IJsselmeer en Zeeuwse Deltawateren) en sterk beïnvloede wateren (bijvoorbeeld sommige laagveenmeren) zijn juist minder kwetsbaar. De gebieden op de Veluwe en sommige laagveengebieden nemen een intermediaire positie in.

## Aandeel oppervlakte zoetwater in N2000 gebieden

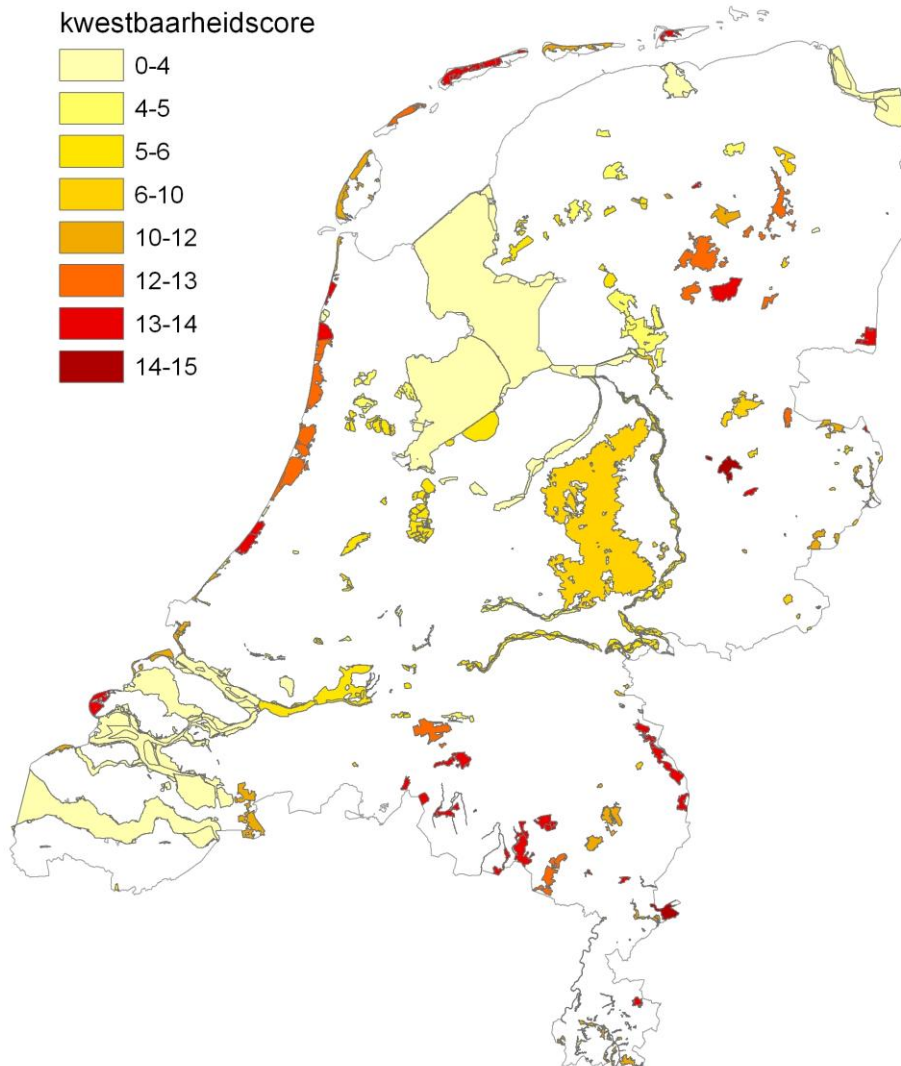
% oppervlak



**Figuur 14**

*Het aandeel oppervlakte (zoet)water in Natura 2000-gebieden.*

## Kwetsbaarheid van waternatuur voor klimaatverandering in N2000 gebieden



**Figuur 15**

*De kwetsbaarheid van waternatuur voor klimaatverandering in Natura 2000-gebieden.*

De kwetsbaarheid van waternatuur voor klimaatverandering in Natura 2000-gebieden wijkt niet af van het algemene beeld van de kwetsbaarheid van waternatuur voor klimaatverandering. Alleen de Natura 2000-laagveengebieden zijn kwetsbaarder dan de wateren in hun omgeving. Dit wordt veroorzaakt door de grotere gevoeligheid voor eutrofiëring. De beekdalen inclusief bronnen, de hoogveengebieden en vennen op de pleistocene gronden met uitzondering van de Veluwe, en vooral de duinen zijn het meest kwetsbaar voor klimaatverandering.

De Natura 2000-gebieden bevatten meestal de meer voedselarmere en stabielere ecosystemen met een hogere biodiversiteit. De natuurlijke beekdalen, hoogvenen, mesotrofe laagveenmoerassen, oligotrofe natte heides en vennen hebben behoren tot de meest kwetsbare. Vanuit waternatuur betreft dit vaak kleinere wateroppervlakken die het meest gevoelig zijn voor temperatuurswisselingen, eutrofiëring en of

hydrologische dynamiek. Het betreft in de beekdalen de bronnen en beekbovenlopen, op de armere zandgronden en duinen de voedselarme of matig voedselrijke kleine wateren en in de laagveengebieden de mesotrofe petgaten en plasjes. In de Natura 2000-gebieden die deze typen oppervlaktewateren herbergen zouden bij voorrang mitigerende maatregelen moeten worden uitgevoerd om de huidige biodiversiteit zoveel mogelijk te behouden.

## **2.5           Klimaatgevoeligheid van maatregelen**

Het veranderd klimaat (toename in temperatuur en veranderingen in het neerslagpatroon) heeft mogelijk invloed op de werking van de maatregelen die in het kader van de KRW zijn of worden genomen in stromende en stilstaande wateren. Met andere woorden, maatregelen die nu genomen worden zullen over een aantal jaren onder de invloed van klimaatverandering mogelijk andere effecten opleveren dan wat men gewend is. In hun huidige uitvoering kunnen maatregelen in de nieuwe situatie waarschijnlijk tekort schieten of minder zinvol zijn. In deze situaties vraagt klimaatverandering meer inspanning voor een maatregel vergeleken met de huidige uitvoering. De werking van andere maatregelen blijft mogelijk onveranderd. Om de productiviteit van maatregelen in veranderd klimaat te beoordelen en de mitigerende maatregelen te selecteren zijn er aan de hand van verschillende bronnen overzichten van maatregelen die in Nederlandse wateren worden genomen gemaakt. De maatregelen zijn gerangschikt op basis van de volgende indeling van Nederlandse wateren:

- kleine stromende wateren;
- grote stromende wateren;
- kleine stilstaande wateren;
- grote stilstaande wateren;
- brakke wateren;
- moerassen.

Over de effectiviteit van maatregelen bij klimaatverandering is vooralsnog weinig kwantificeerbaars bekend.

### **2.5.1           Kleine stromende wateren**

De specifieke maatregelen voor het herstel van kleine stromende wateren zijn geïnventariseerd in tabel 22.

**Tabel 22**

Overzicht maatregelen kleine stromende wateren. Bronnen: Verdonschot (1995) en Besse-Lototskaya et al. (2007).

Maatregelengroep	Maatregel	Toelichting
Maatregelen ten behoeve van stroming	Verwijderen drainage	Verwijderen van drains, sloten en greppels om versnelde afvoer tegen te gaan, waardoor infiltratie wordt bevorderd en de grondwatervoorraad wordt aangevuld.
	Bevorderen infiltratie	Maatregelen die infiltratie van regenwater bevorderen zoals bergingsvijvers en wadi's.
	Wijzigen wateronttrekking	Verminderen, verplaatsen of opheffen van grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwater of industrie en periodiek verbieden van beregening.
	Ontwikkelen bos	Aanleggen van bos leidt weliswaar tot een verhoogde verdamping maar de bosbodem houdt water vast wat leidt tot een afvlakking van de afvoer.
	Aanleggen hydrologische buffer	Een brede zone langs beide zijden van de beek waar onttekkings zijn verboden, drainerende watergangen zijn verwijderd en oppervlakkige afstroming is verminderd.
	Hergebruiken gezuiverd effluent	Effluent van RWZI's extra zuiveren en infiltreren in de bodem voor een hogere grondwaterstand.
	Ontwikkelen inundatiezone	De beek de gelegenheid geven om bij hoge afvoeren buiten haar oevers te treden.
	Vergroten retentie	Neerslag in natte perioden tijdelijk opslaan in retentiebekkens, bergingsbassins, poelen en oude meanders, zodat in tijden van droogte water kan worden nageleverd en droogvallen wordt voorkomen.
	Herstellen oorspronkelijk stroomgebied	Afgekoppelde deelstromen opnieuw aansluiten op de beek door extra gegraven watergangen te dempen.
	Verwijderen stuw	Stuwen worden verwijderd om de barrière voor aquatische organismen weg te nemen en het natuurlijk stromingspatroon te herstellen (dus niet meer een aaneenschakeling van stilstaande panden).
	Aanleggen nevengeul	Graven van een waterloop parallel aan de beek om hoge afvoeren te reduceren, waarbij droge nevengeulen (alleen afvoer bij pieken) de voorkeur hebben boven natte (altijd afvoer).
	Vasthouden water in haarvaten	Vasthouden van water in haarvaten van het systeem.
Maatregelen ten behoeve van structuren	Passief ontwikkelen meanders/niets doen	De beek wordt de vrijheid gegeven zich autonoom morfologisch te ontwikkelen. Dit leidt tot een grotere variatie in beddingdimensies, bodemrelief en samenstelling van het beddingmateriaal.
	Graven meanders	Een kronkelend tracé aanleggen.
	Actief ontwikkelen (micro)meanders	Laten liggen van organische structuren en selectief maaien waardoor het watervoerende deel van de bedding licht slingert, variatie in stroomsnelheden ontstaat en autonome morfologische processen worden gestimuleerd.
	Verkleinen profiel	Door verkleining van het doorstroomde profiel gaat de stroomsnelheid omhoog.
	Verwijderen profielverdediging	Verwijdering van oeverbeschoeiing en bodemverstevigende materialen waardoor morfologische processen weer vrij kunnen verlopen.
	Aanleggen asymmetrisch profiel	Herstel van natuurlijke variatie in de beddingdimensies door aanleg van een asymmetrisch profiel.
	Aanplanten houtwal/kade	Beekbegeleidende houtige begroeiing stabiliseert enerzijds de vorm van de beekbedding, anderzijds kunnen bomen obstakels vormen in de stroom.
	Aanleggen twee-fasen bedding (accoladeprofiel)	In het accoladeprofiel wordt bij normale waterstanden water afgevoerd in een laagwaterbedding, bij piekafvoeren in een hoogwaterbedding.
	Aanleggen stroomkuilen en zandbanken	Stroomkuilen en zandbanken leiden tot variatie in beddingvorm, beddingmateriaal en stroomsnelheid.
	Aanbrengen stoorobjecten	Aanbrengen van objecten in de stroom (stenen, boomstronken) waardoor de stroomsnelheid gevarieerder wordt.

Maatregelengroep	Maatregel	Toelichting
	Aanleggen soortgerichte structuur	Aanbrengen van soortgerichte structuren zoals grind, stenen, takkenbossen om bijvoorbeeld paaiplaatsen te creëren.
	Inrichten steile en overhangende oever	Bespoedigen van oevererosie waardoor vestigingsplaatsen ontstaan voor bijvoorbeeld varens en holenbroeders.
	Aanleggen vispassage	Passeerbaar maken van waterhuishoudkundige werken met het ook op trek- en beekvissen.
	Aanleggen poelen	Poelen die tijdelijk los zijn van de beek en bij hoog water worden overstroomd; hebben een refugiumfunctie voor beekorganismen hoewel het water meestal stil staat.
	Aankoppelen oude meander	Opschonen en opnieuw aankoppelen van oude meanders om rust- en paaiplaatsen te creëren.
Maatregelen ten behoeve van waterkwaliteit	Verminderen meststoffentoevoer	Vermindering van dosering van meststoffen tot alle mest door het gewas kan worden opgenomen.
	Opheffen huishoudelijke lozingen	Oplossingen zoeken voor het kleine aantal woningen dat niet op de riolering is aangesloten.
	Opheffen overstort	Creëren van een grotere berging in het rioolstelsel of een gescheiden rioolstelsel om de overstort bij piekbelasting overbodig te maken
	Verbeteren RWZI in kwalitatieve zin	Verdergaande stikstof- en fosfaatverwijdering en nageschakelde technieken om effluent van rioolwaterzuivering te verbeteren
	Scheiden waterstromen	Vervuilde waterstromen vanuit steden en industrie om de beek heen leiden, dus andere waterstromen extra belasten.
	Verlagen maaiveld	Afschrappen van de bovenlaag van de beekbegeleidende gronden zodat het maaiveld naar het (te lage) grondwater wordt gebracht en voedingsstoffen en verontreinigingen worden verwijderd.
	Aanleggen helofytenfilter	Moerasjes met biezen of riet gecombineerd met aangehechte bacterien, epifyten en epifauna die voedingsstoffen uit passerend water opnemen.
	Aanleggen horse-shoe wetland	Hoefijzervormige moerasjes van 8 bij 10 meter bij de monding van een drainagesysteem, voor het afvangen van voedingsstoffen.
	Aanleggen bufferzone	Inrichten en beheren van beekbegeleidende bufferstroken, om belasting van de beek met nutriënten te reduceren.
Overige herstelmaatregelen	Herintroduceren van soorten	Herintroductie van soorten die een herstelde habitat niet zelf kunnen bereiken: kokerjuffer, bekvissen, bevers en otters.
	Reguleren recreatief medegebruik	Keuzes maken waar recreatie wel en niet mag, en welke soorten recreatie (bijvoorbeeld wel/niet gemotoriseerd).

De literatuurstudie naar de effectiviteit van de beekherstelmaatregelen onder de invloed van klimaatverandering (Besse-Lototskaya et al., 2007) heeft laten zien dat de meerderheid van de in beken genomen maatregelen (84%) wordt negatief of positief beïnvloed door klimaatverandering. Van de drie belangrijkste groepen maatregelen is de doorwerking het grootst bij de maatregelen ten behoeve van stroming (effect bij 100% van de maatregelen), gevolgd door die ten behoeve van structuren (effect bij 80% van de maatregelen) en stoffen (effect bij 78% van de maatregelen). De doorwerking van klimaatverandering is in de meeste gevallen negatief (de maatregel wordt gehinderd of te niet gedaan). In een klein aantal gevallen is de doorwerking positief (de werking van een maatregel wordt versterkt): dit geldt alleen voor de maatregelen ten behoeve van structuren. De belangrijkste factor van de doorwerking is de toename in piekafvoeren (68%), in mindere mate de toename in perioden van droogte (32%). De mate van doorwerking zullen per maatregel en per beek verschillen. De temperatuurstijging heeft geen invloed op de maatregelen. De maatregelen die genomen worden om de afvoerpieken te bufferen zijn onder de veranderende klimaatsomstandigheden van extra belang.

## 2.5.2 Grote stromende wateren

De specifieke maatregelen voor het herstel van grote stromende wateren zijn opgesomd in tabel 23.

**Tabel 23**

*Overzicht maatregelen grote stromende wateren. Bronnen: KRW beheerplannen stroomgebieden (voor KRW typen R6, R7, R8, R15 en R16) en Helpdesk Water (Rijkswaterstaat Waterdienst).*

Maatregelengroep	Maatregel
Maatregelen ten behoeve van stroming	Aanpassen streefpeil Vasthouden water in haarvaten van het systeem
Maatregelen ten behoeve van structuren	Aansluiten wetland of verlagen uiterwaard Hermeanderen Aanleggen natuurvriendelijke oevers Aanleg nevengeul / herstel verbinding Verondiepen watergang/-systeem
Maatregelen ten behoeve van waterkwaliteit	Verwijderen van eutrofe bagger Verwijderen van vervuilde bagger (met uitzondering van eutrofe) Waterkwaliteitsgericht onderhouds-/maaibeheer (water en natte oever) Kwelstromen en beekmondingen zoveel schaal geven dat gradiënten in voedselrijkdom ontstaan Verminderen belasting RWZI - nutriënten Verminderen belasting RWZI - overige stoffen Saneren uitlopende oeverbescherming Opheffen ongezuiverde lozingen
Maatregelen ten behoeve van ecologische waarde	Aanleg speciale leefgebieden voor vis Aanleg en optimalisatie vispassages hoofdstroom en zijwateren Vis-passeerbaar maken kunstwerken Aanleg speciale gebieden flora en fauna Lokaal ruimte/marge creëren voor (hardhout)ooibosontwikkeling Actief visstandbeheer
Maatregelen ten behoeve van inrichting	Aanleg en onderhoud morfologische elementen zoals rivierduinen Vergroten inundatiegebied met weerdverlaging, doorgraven zomerkades, uiterwaardverlaging, verwijdering oeververharding, verlaging oeverzones, aantakken komgebieden en/of lokale dijkverlegging

## 2.5.3 Kleine stilstaande wateren

De specifieke maatregelen voor het herstel van kleine stilstaande wateren zijn geïnventariseerd in tabel 24.



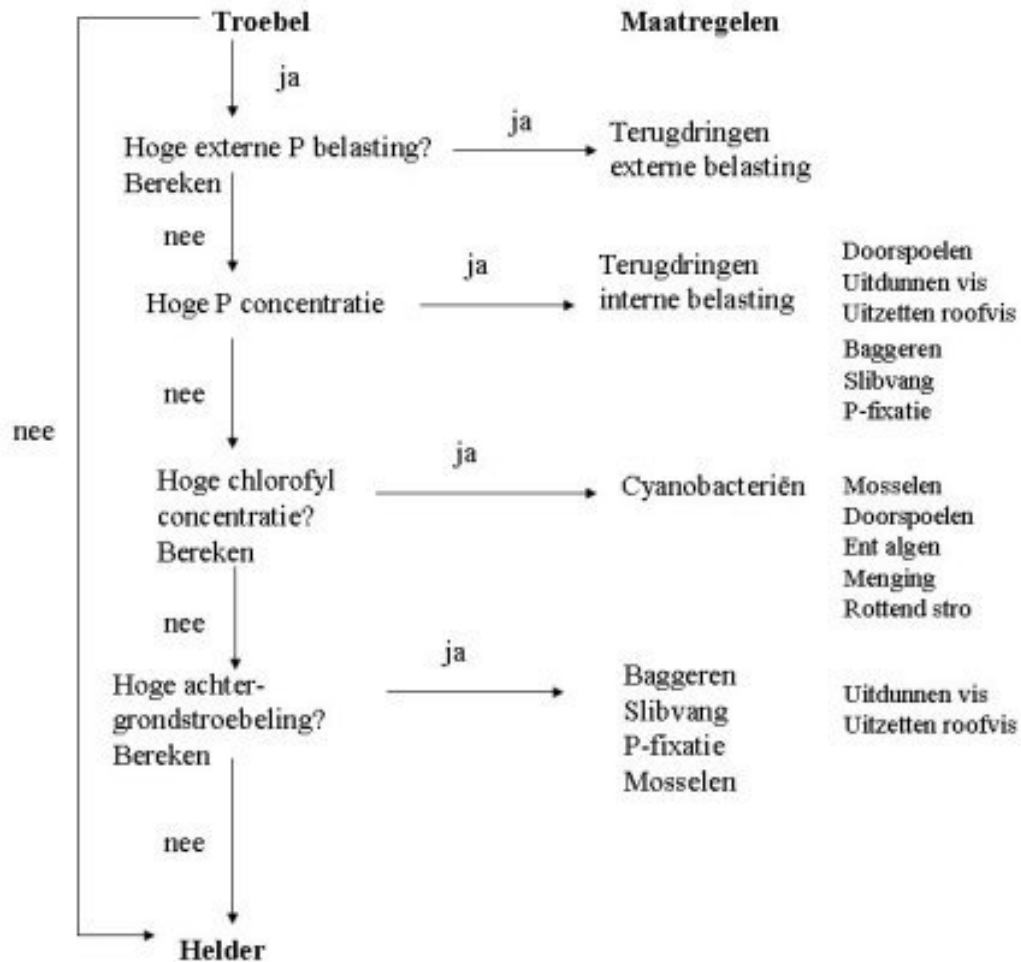
**Tabel 24**

Overzicht maatregelen kleine stilstaande wateren. Bron: Bleeker en Verdonschot, 2007.

Maatregelengroep	Maatregel	Toelichting
Maatregelen ten behoeve van waterpeil	Stoppen/verminderen wateronttrekking Tegengaan oppervlakkige afstroom	Verminderen, verplaatsen of opheffen van een grondwaterwinning om de grondwaterstand te laten stijgen en/of de kwelstromen te vergroten. Aanleggen van loofbos of een houtwal op de oevers, maken van ploegvoren dwars op de afstroomrichting indien de afstroom van akkerland afkomstig is.
	Vergroten van bergingscapaciteit gebiedseigen water	Vergroten van de bergingscapaciteit door ophoging van het waterpeil (door aanleggen van stuwen en vistrappen), verminderen van de drainage (o.a. verondiepen van het waterlichaam), de isolatie van het gebied te vergroten, de regulatie van het inlaatregime.
Maatregelen ten behoeve van waterkwaliteit	Aanleggen bufferzone	Aanleggen van een bufferstrook van enkele meters waar geen bemesting en chemische bestrijding plaatsvinden.
	Aanleggen helofytenfilter bij instromend water	Moerasjes met biezen of riet gecombineerd met aangehechte bacteriën, epifyten en epifauna die voedingsstoffen uit passerend water opnemen.
	Aanleggen horse-shoe wetland	Hoefijzervormige moerasjes van 8 bij 10 meter bij de monding van een drainagesysteem, voor het afvangen van voedingsstoffen.
	Saneren huishoudelijke lozingen	Oplossingen zoeken voor het kleine aantal woningen dat niet op de riolering is aangesloten.
	Saneren industriële lozingen	Verdere normering en handhaving van industriële lozingen; verplaatsing industrie naar minder kwetsbare gebieden.
	Verminderen meststoffetoevoer	Vermindering van dosering van meststoffen tot alle mest door het gewas kan worden opgenomen.
	Saneren overstort	Creëren van een grotere berging in het rioolstelsel of een gescheiden rioolstelsel om de overstort bij piekbelasting overbodig te maken.
	Verbeteren RWZI in kwalitatieve zin	Verdergaande stikstof- en fosfaatverwijdering en nageschakelde technieken om effluent van rioolwaterzuivering te verbeteren.
Maatregelen ten behoeve van structuur	Verschralen van aanliggende gronden	De aanliggende gronden maaien en het maaisel afvoeren, laten grazen of de verrijkte toplaag afschrappen.
	Optimaliseren baggerregime	Gefaseerd baggeren of niet baggeren, afvoeren van bagger.
	Creëren natuurlijk profiel	Variëren van de dimensies, zowel breedte als diepte, aanleggen van een flauw talud, ontwikkelen van plasbermen, verwijderen van beschoeiing of creëren van uitklimplaatsen.
	Beschermen oevers	Aanbrengen van afrastering (eventueel met drinkplekken) om oevervegetatie te beschermen.
	Optimaliseren onderhoudsregime	Onderhoudsregime (vooral schoning en baggeren) aanpassen zodat er optimale balans ontstaan tussen het niet dichtgroeien van het waterlichaam en de hoogst haalbare biodiversiteit.

## 2.5.4 Grote stilstaande wateren

De specifieke maatregelen voor het herstel van grote stilstaande wateren zijn geïnventariseerd in figuur 16 en tabel 25.



**Figuur 16**

Overzicht van stressfactoren en daaruit volgende maatregelen voor ondiepe meren (website Helpdesk Water, Rijkswaterstaat Waterdienst).

**Tabel 25**

Overzicht maatregelen grote stilstaande wateren. Bron: website Helpdesk Water (Rijkswaterstaat Waterdienst).

Maatregelengroep	Maatregel
Maatregelen ten behoeve van inrichting	Aanleggen luwtegebieden Aanleggen natuurvriendelijke oevers (ook voor rivieren?) Hydrologische isolatie Ecologische koppeling open water met moerassen binnendijks
Maatregelen ten behoeve van waterkwaliteit	Terugbrengen geleidelijke zout-zoet gradiënt (IJsselmeergebied) Reductie van puntbronnen (RWZI's, riooloverstorten) Zuivering van het inlaatwater door chemische defosfatering of helofytenfilters Afleiding van nutriëntrijke puntbronnen Reductie van diffuse lozingen vanuit landbouw en de huishouders Baggeren Fosfaat-fixatie in het sediment Doorspoelen om een versnelde uitspoeling van nutriënten en fytoplankton te bewerkstelligen Uitdunning van visstand Driehoeksmosselen
Maatregelen ten behoeve van waterpeil	Terugkeer van natuurlijk peil Ontwikkeling van een meer geleidelijke overgang van land en water met een natuurlijke variatie tussen winter en zomer
Maatregelen ten behoeve van ecologische waarde	Verbetering vismigratie Zonering en/of beperking van het gebruik (visserij, recreatie, enz.) Beheersing van ongewenste waterplanten Actief visstand- en schelpdierstandbeheer
Maatregelen ten behoeve van structuren	Ontwikkeling van oevervegetatie Oeverinrichting

### 2.5.5 Brakke wateren

De specifieke maatregelen voor het herstel van brakke wateren zijn opgesomd in tabel 26.

**Tabel 26**

Overzicht maatregelen brakke wateren. Bronnen: website Helpdesk Water (Rijkswaterstaat Waterdienst) en Rijkswaterstaat (2008).

Maatregelengroep	Maatregel
Maatregelen ten behoeve van inrichting	Uitbreiding intergetijdengebied (gorzen, zand- en slikplaten) via lokale ontpoldering, doorgraven zomerkades en verflauwen oevers door afgraven hoge/droge stukken en ophogen matig diep water Herstel oude kreken
Maatregelen ten behoeve van ecologische waarde	Verbetering vismigratie Lokale realisatie van zilte graslanden (bij voorkeur buitendijks) (Gedeeltelijk) opheffen afsluitingen en compartimenteringen
Maatregelen ten behoeve van waterpeil	Ander beheer van kunstwerken zoals spuisluizen Herstel verbindingen met zee Aanpassing beheer via vergroting getijslag

## 2.5.6 Moerassen

De specifieke maatregelen voor het herstel van moerassen zijn geïnventariseerd in tabel 27.

**Tabel 27**

Overzicht maatregelen moerassen. Bron: Staatsbosbeheer (2009).

Maatregelengroep	Maatregel
Maatregelen ten behoeve van vernatting	verminderen wegzijging door (verbrede) buffers in omliggende gebied en/of damwanden verminderen ontwatering voor infrastructuur en bebouwing instellen natuurlijk(er) peilbeheer (hoger winterpeil) compartimentering middels dammen en stuwen (vasthouden water en creëren stabiele waterstanden), optimaliseren / aanpassen peilbeheer in compartimenten verminderen wegzijging door peilverhoging inrichting laagzone (hydrologische buffer op overgang naar de omgeving) veen-resten vernatten verhogen drainagebasis in de landbouwgebieden (voorkomen verticale wegzijging) toestaan ontwikkeling opslag van bomen en struiken herstel historische voeding in het gebied
Maatregelen ten behoeve van inrichting	periodiek graven van nieuwe petgaten (herstel successiereeksen) kleinschalig dichten van de greppel-structuur (boekweitcultuur) stoppen vervening omvang en samenhang moerassen versterken

**Tabel 27 (vervolg)**

Overzicht maatregelen moerassen. Bron: Staatsbosbeheer (2009).

Maatregelengroep	Maatregel
Maatregelen ten behoeve van waterkwaliteit	aanpak aanvoer oppervlaktewater (opheffen isolatie, langere aanvoerwegen) zuiveren inlaatwater (verbeteren RWZI's en vermindering uitspoeling meststoffen) verminderen oeverbemesting omliggende landbouwgebieden verminderen nutriëntenbelasting in aanvoer water
Maatregelen ten behoeve van ecologische waarde	verwijderen opslag van bomen en struiken begrazing actief biologisch beheer aangepast maaibeheer + plaggen om vergrassing tegen te gaan

## 2.6 Adaptatiemaatregelen

Het doel van in Nederlandse wateren genomen maatregelen is om de natuur te behouden en verbeteren. Klimaatverandering leidt tot verandering in het milieu en kan daarmee deze natuur nadelig beïnvloeden. De adaptatie strategie van onze samenleving is om naar maatregelen te zoeken die de negatieve effecten van klimaatverandering opvangen. De maatregelen die we nemen helpen de negatieve effecten op aquatische natuur te mitigeren/bufferen. Deze adaptatiemaatregelen zullen zich moeten richten op het neutraliseren van de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering zoals toename in:

- temperatuur;
- piekafvoer;
- droogte of stagnatie;
- peilwisselingen;
- eutrofiering en toxische stoffen.

### *Temperatuurstijging*

De enige manier om de directe effecten van de temperatuurstijging tegen te gaan is om bomen langs de oever aan te planten die zorgen voor beschaduwing. Deze maatregel is alleen voor kleine wateren effectief.

### *Piekafvoer*

In stromende wateren kan de dynamiek worden gebufferd door in het gebied regenwater vast te houden. Een andere optie is om gecontroleerde inundatie van het beek- of rivierdal toe te staan.

### *Droogte of stagnatie*

Om tekorten aan neerslag te mitigeren moet waterretentie in het stroomgebied zo hoog mogelijk zijn. Voor wateren die kunstmatig beheerd worden kan aan het verhogen van peilen in de haarvaten gedacht worden. Ook grondwaterstand maatregelen (aanvullen van grondwater) in combinatie met waterberging zijn gunstig als adaptatie tegen klimaatverandering.

### *Peilwisseling*

De negatieve effecten van peilwisseling kunnen worden gecompenseerd door grotere oeverzones met flauwe talud aan te leggen. Het toepassen van natuurlijk peilbeheer (zoals het toestaan van natuurlijke peilwisselingen) is ook een adaptatiemaatregel.

### *Eutrofiering /toxische stoffen*

De eutroferings- en/of toxische stoffen-bestrijding is de enige optie om de toename in eutrofiering en toxische stoffen te voorkomen.

Steeds meer deskundigen bij waterschappen, overheidsinstellingen en agrarische ondernemingen zijn voorstander van het vergroten van de aandacht voor de oorspronkelijke waterconserverende en ecologische functies van het gebied. De ingrepen richten zich dan op het ondersteunen van de sponswerking van de natuurlijke omgeving. Op die manier kunnen we de natuurlijke bodem- en watersystemen benutten en op een duurzame manier profiteren van de aanwezige natuurlijke processen om een buffer op te bouwen. Steeds vaker verschijnen rapporten waarin een klimaatbestendiger Nederland wordt bepleit via het herstellen en revitaliseren van de natuurlijke landschapsvormende processen. De landschapsvormende processen vergroten de veerkracht en daarmee de klimaatbestendigheid van systemen. Door deze processen te reactiveren of te vitaliseren wordt een duurzame bijdrage geleverd aan het meegroeien van Nederland met de klimaatverandering.

De adaptatiemaatregelen zijn effectiever als ze uitgevoerd zijn op grotere schaal en als integraal waterbeheer. Bijvoorbeeld voor stromende wateren betekent dat een rivierdalbrede benadering, in combinatie met de stroomgebied benadering. De rivierdalbrede inrichting verhoogt de weerstand, veerkracht en klimaatbestendigheid van het gebied (Verdonschot, in druk). Dat komt door een verplaatsing van het waterafvoer van 'diep en smal' naar 'ondiep en breed' en meer (ook boven maaiveld) bergend vermogen. Bij extreme neerslag treden minder snel piekafvoeren op, omdat het waterbergingsgebied breder is en dus minder makkelijk overvol raakt. Er is meer ruimte voor inundatie (het tijdelijk onder water staan van een gebied na overmatige regen). Tegelijkertijd biedt het bredere gebied betere en gevarieerdere leefomstandigheden voor plant- en diersoorten. Deze variatie zorgt er ook voor dat bij verstoring (bijvoorbeeld een piekafvoer door extremen regenval) grote weerstand en veerkracht aanwezig zijn.

In hoofdstuk 2.5 van dit rapport wordt aangeduid dat een deel van de maatregelen in hun huidige uitvoering onvoldoende zouden kunnen zijn bij een nieuwe klimaatsituatie. Echter, een aantal van deze maatregelen kunnen wel ingezet worden als klimaatadaptatiemaatregelen. Meestal zijn deze maatregelen geschikt als ze op reguliere manier zijn toegepast (in andere woorden, mitigeren in plaats van herstellen); bij meer inspanning/aanpassing kunnen deze maatregelen een herstelfunctie erbij krijgen. Dit zijn in eerste instantie maatregelen die gekoppeld zijn aan (grond)waterberging (inspelen op een veranderende hydrologie) en eutrofiering bestrijding (inspelen op de toename in nutriënten).

De volgende paragrafen beschrijven adaptatiemaatregelen die genomen kunnen worden in alle watertypen en specifiek in stromende, stilstaande en brakke wateren en in moerassen.

#### **2.6.1 Mitigerende maatregelen in alle watertypen**

De volgende (waterkwaliteit) maatregelen kunnen in alle watertypen worden gebruikt als klimaat adaptatiemaatregelen:

- Verminderen meststoffentoevoer.
- Saneren ongezuiverde lozingen.
- Saneren overstort.
- Verminderen belasting RWZI (nutriënten en overige stoffen).
- verminderen nutriëntenbelasting in aanvoer water.

## 2.6.2 Adaptatiemaatregelen in stromende wateren

Naast de waterkwaliteit maatregelen kunnen in stromende wateren de volgende maatregelen worden genomen om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan:

### *Maatregelen ten behoeve van stroming*

- Verwijderen van drains, sloten en greppels om versnelde afvoer tegen te gaan, waardoor infiltratie wordt bevorderd en de grondwatervoorraad wordt aangevuld.
- Maatregelen die infiltratie van regenwater bevorderen zoals bergingsvijvers en wadi's.
- Verminderen, verplaatsen of opheffen van grondwateronttrekking ten behoeve van drinkwater of industrie en periodiek verbieden van beregening.
- Aanleggen hydrologische buffer: een brede zone langs beide zijden van de beek waar onttrekkingen zijn verboden, drainerende watergangen zijn verwijderd en oppervlakkige afstroming is verminderd.
- Hergebruiken gezuiverd effluent: effluent van RWZI's extra zuiveren en infiltreren in de bodem voor een hogere grondwaterstand.
- Ontwikkelen inundatiezone: de beek/rivier de gelegenheid geven om bij hoge afvoeren buiten haar oevers te treden.
- Vergroten retentie: neerslag in natte perioden tijdelijk opslaan in retentiebekkens, bergingsbassins, poelen en oude meanders, zodat in tijden van droogte water kan worden nageleverd en droogvallen wordt voorkomen.
- Vasthouden water in haarvaten van het systeem.

### *Maatregelen ten behoeve van structuren*

- Verkleinen profiel.
- Aansluiten wetland of verlagen uiterwaard.
- Verondiepen watergang/-systeem.

### *Maatregelen ten behoeve van inrichting*

- Vergroten inundatiegebied middels weerdverlaging, doorgraven zomerkades, uiterwaardverlaging, verwijdering oeververharding, verlaging oeverzones, aantakken komgebieden en/of lokale dijkverlegging.

## 2.6.3 Adaptatiemaatregelen in stilstaande wateren

Naast de waterkwaliteit maatregelen kunnen in stilstaande wateren de volgende maatregelen worden genomen om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan:

### *Maatregelen ten behoeve van waterpeil*

- Stoppen/verminderen wateronttrekking: verminderen, verplaatsen of opheffen van een grondwaterwinning om de grondwaterstand te laten stijgen en/of de kwelstromen te vergroten.
- Tegengaan oppervlakkige afstroming: aanleggen van loofbos of een houtwal op de oevers, maken van ploegvoren dwars op de afstroomrichting indien de afstroom van akkerland afkomstig is.
- Vergroten van bergingscapaciteit gebiedseigen water door ophoging van het waterpeil (door aanleggen van stuwen en vistrappen), verminderen van de drainage (o.a. verondiepen van het waterlichaam), de isolatie van het gebied te vergroten, de regulatie van het inlaatregime.
- Terugkeer van natuurlijk peil.
- Ontwikkeling van een meer geleidelijke overgang van land en water met een natuurlijke variatie tussen winter en zomer.

## 2.6.4 Adaptatiemaatregelen in brakke wateren

Naast de waterkwaliteit maatregelen kunnen in brakke wateren de volgende maatregelen worden genomen om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan:

### *Maatregelen ten behoeve van inrichting*

- Uitbreiding intergetijdengebied (gorzen, zand- en slikplaten) via lokale ontpoldering, doorgraven zomerkades en verflauwen oevers door afgraven hoge/droge stukken en ophogen matig diep water.
- Herstel oude kreken.

## 2.6.5 Adaptatiemaatregelen in moerassen

Naast de waterkwaliteit maatregelen kunnen in moerassen de volgende maatregelen worden genomen om de effecten van klimaatverandering tegen te gaan:

### *Maatregelen ten behoeve van vernatting*

- Verminderen wegzijging door (verbrede) buffers in omliggende gebied en/of damwanden.
- Verminderen ontwatering t.b.v. infrastructuur en bebouwing.
- Instellen natuurlijk(er) peilbeheer (hoger winterpeil).
- Verminderen wegzijging door peilverhoging.
- Inrichting lagzone is dit laagzone(hydrologische buffer op overgang naar de omgeving).
- Verhogen drainagebasis in de landbouwgebieden (voorkomen verticale wegzijging).
- Toestaan ontwikkeling opslag van bomen en struiken.

### *Maatregelen ten behoeve van inrichting*

- Kleinschalig dichten van de greppel-structuur (boekweitcultuur).
- Omvang en samenhang moerassen versterken.

## 2.7 Samenvatting Aquatische Natuur

Er bestaat geen twijfel meer over dat klimaatverandering belangrijke gevolgen zal hebben voor de Nederlandse oppervlaktewateren. De uitdagingen zijn (i) de goede ecologische toestand/potentieel en de natuurkwaliteit weerbaar genoeg te maken om klimaatverandering aan te kunnen en (ii) bij het plannen, formuleren van doelen en uitvoeren van maatregelen en herinrichten voldoende rekening te houden met toekomstige klimaatverandering. We weten niet of onder invloed van klimaatverandering de huidige ecologische water- en natuurdoelen wel allemaal haalbaar zijn of wat we er aan kunnen doen om die haalbaarheid te verzekeren. Mede vanuit nationale en internationale verplichtingen is deze onzekerheid niet wenselijk. Deze leemte aan kennis zet het ecologisch water- en het natuurbeleid onder druk, omdat onbekend is of de doelen wel duurzaam, betaalbaar en legitiem zijn.

### *Klimaatgevoelige aquatische processen*

De KNMI (2006) klimaatscenario's laten de volgende effecten van klimaatveranderingen zien:

- Een stijging van de watertemperatuur met ca. 2 °C.
- Een stijging van de intensiteit en de gemiddelde neerslag in de winter.
- Een toename in frequentie en duur van perioden van droogte in de zomer.
- Een toename in het optreden van kortdurende, extreme neerslag in de zomer.
- Een toename in de windsnelheid.



De gevolgen van deze klimaatveranderingen werken in op de Nederlandse waterecosystemen. De belangrijkste wijzigende processen zijn:

- Een toename in voedselrijkdom door versnelde mineralisatie veroorzaakt door hogere temperaturen, eventueel in combinatie met versterkte peilwisseling.
- Een versterkte afspoeling en uitspoeling van nutriënten, organisch materiaal en sediment veroorzaakt door meer en soms extremere neerslag.
- Een versterkte wisseling in erosie en sedimentatie in oeverzones van meren en profielen van beken veroorzaakt door een vergrote windwerking respectievelijk afvoerdynamiek.
- Een toename in verdroging en plaatselijk verzilting die leidt tot sterfte van planten en dieren veroorzaakt door warmere, drogere zomers.
- Een toename van inlaat van gebiedsvreemd water om verdroging en verzilting tegen te gaan met effecten op waterkwaliteit en waterbeweging.

Bovenstaande betekent dat de waterdynamiek toeneemt door extremen in neerslag, afvoer en peilen. Samen met verdroging, eutrofiëring en verzilting leidt klimaatverandering tot verlies aan biodiversiteit door het verdrogen van wateren, het optreden van algenbloeien, het uit de pas gaan lopen van biologische cycli, het optreden van meer ziekten, het verschijnen van exoten en het verdwijnen van koud water minnende soorten.

#### *Kwetsbaarheid Aquatische Natuur*

De kennis van de voor klimaatverandering gevoelige ecologische processen en de hierop te verwachten veranderingen is toegepast op de waterecosystemen in Nederland. Hierbij is de gevoeligheid voor klimaatveranderingen per watertype op basis van expert kennis afgeleid (zie tabel 18) waarbij de relevantie van processen per watertype zijn gewogen.

De gevoeligheid van een water voor klimaatverandering beschrijft de mate waarin klimaat gestuurde veranderingen doorwerken in het waterecosysteem en tot effecten leiden. Minder natuurlijke wateren echter reageren anders dan natuurlijke wateren op klimaatverandering. Dit is een gevolg van de weerstand en veerkracht van natuurlijke waterecosystemen. Daarbij zijn kunstmatige of maakbare wateren, zoals de term al zegt, maakbaar dus gemakkelijker door het beheer te sturen. Maakbare wateren zijn daarmee ook minder gevoelig voor klimaatverandering. De natuurlijkheid /maakbaarheid is daarom eveneens op basis van expert kennis gescoord. De kwetsbaarheid van een watertype is bepaald door het gewogen product van de score voor gevoeligheid en natuurlijkheid.

In het algemeen zijn kleine, stromende waterecosystemen het meest kwetsbaar, vooral wanneer ze ook temperatuurgevoelig zijn, zoals bronnen en beekbovenlopen. Bij de stilstaande wateren betreft het voedselarme of matig voedselrijke, kleine wateren, zoals kleine duinwateren, vennen en oligo- tot mesotrofe poelen. Maar ook de zeer uitgebalanceerde aquatische ecosystemen die onderdeel zijn van hoogvenen, laagveenmoerassen en natte heides behoren tot de meest kwetsbare.

De verschillende watertypen zijn niet overal en in gelijke oppervlakken aanwezig. Daarom is geschat welk aandeel ieder watertype inneemt per subfysisch-geografische regio. Met deze aandelen is de kwetsbaarheid van de Nederlandse waterecosystemen ruimtelijk op kaart weergegeven.

#### *Adaptatie en mitigerende maatregelen*

Een goede ecologische kwaliteit van het water is van groot belang omdat een natuurlijker waterecosysteem een grotere weerstand en veerkracht heeft ten opzichte van een verstoord waterecosysteem. Klimaatverandering vraagt om weerbare en veerkrachtige waterecosystemen. Dergelijke waterecosystemen zijn in staat om verstoringen op te vangen, zonder dat ze zich ontwikkelen naar een toestand die niet meer te vergelijken is met de oorspronkelijke. De belangrijkste mitigatie van de negatieve gevolgen van door klimaatverandering (nattere winters, drogere zomers en extreme neerslag) veroorzaakte grotere waterdynamiek en verdroging zijn waterberging en waterretentie. Het zijn beide adaptatiemaatregelen die de veerkracht van het ecosysteem versterken. Om de negatieve gevolgen van klimaatverandering verder te mitigeren is ook intensiever waterbeheer nodig. Zo kan de toename in voedselrijkdom door versnelde mineralisatie als gevolg van klimaat-

gerelateerde temperatuurstijging in waterecosystemen deels worden opgevangen door vaker te maaien en te baggeren en het maaisel en de bagger af te voeren. Echter, een meer duurzame oplossing ligt in het bestrijden van de bronnen van nutriënten in water en lucht.

Adaptatiemaatregelen die de veerkracht van waterecosystemen versterken moeten worden genomen op de schaal van het (deel)stroomgebied (bij voorkeur bovenstreams) of de waterbeheereenheid. Pas dan zijn deze maatregelen effectiever en zeker. En als ze dan ook nog integraal worden uitgevoerd: voor stromende wateren bijvoorbeeld betekent dat een beekdalbrede benadering in combinatie met de stroomgebiedbenadering, dan wordt een win-win situatie bereikt. De beekdalbrede inrichting verhoogt de weerstand, veerkracht en klimaatbestendigheid van het gebied. Dat komt door een verandering van het beekprofiel van 'diep en smal' naar 'ondiep en breed' en de grotere ruimte voor inundatie (het tijdelijk onder water staan van een gebied na overmatige regen) dus meer bergend vermogen. Bij extreme neerslag treden daardoor minder snel piekafvoeren op. Tegelijkertijd biedt het bredere gebied betere en gevarieerdere leefomstandigheden voor plant- en diersoorten. Deze variatie zorgt er ook voor dat bij verstoring (bijvoorbeeld een piekafvoer door extreme regenval) grote weerstand en veerkracht aanwezig zijn. Op grotere schaal worden eveneens zowel ruimtelijke heterogeniteit van als connectiviteit tussen wateren vergroot.

### *Conclusies*

Er is consensus over de te verwachten veranderingen in het klimaat in Noordwest-Europa. Met hogere temperaturen, nattere winters en drogere zomers met incidentele extreme neerslagperiodes is de doorwerking van klimaatverandering op processen in oppervlaktewateren beoordeeld. Deze beoordeling is vertaald in effecten door de gevoeligheid en natuurlijkheid per watertype te bepalen. Deze aanpak heeft geleid tot inzicht in de kwetsbaarheid van watertypen voor klimaatverandering. Deze kwetsbaarheid is vervolgens op ruimtelijke schaal uitgewerkt voor heel Nederland. Adaptatie maatregelen zijn beschreven om de weerstand en veerkracht van wateren te vergroten en zodoende klimaatverandering te mitigeren.

Verslechtering van de waterkwantiteit en -kwaliteit is het belangrijkste gevolg van klimaatverandering voor de Nederlandse aquatische natuur. Dit geldt zowel voor waterecosystemen maar ook voor wetlands en semi-terrestrische ecosystemen. Een integrale aanpak op grotere ruimtelijke schaal zal een grotere winst kunnen opleveren. Voor oppervlaktewateren mitigeren waterberging stimulerende en eutrofiëring bestrijdende maatregelen de klimaatverandering.

## 3 Terrestrische natuur

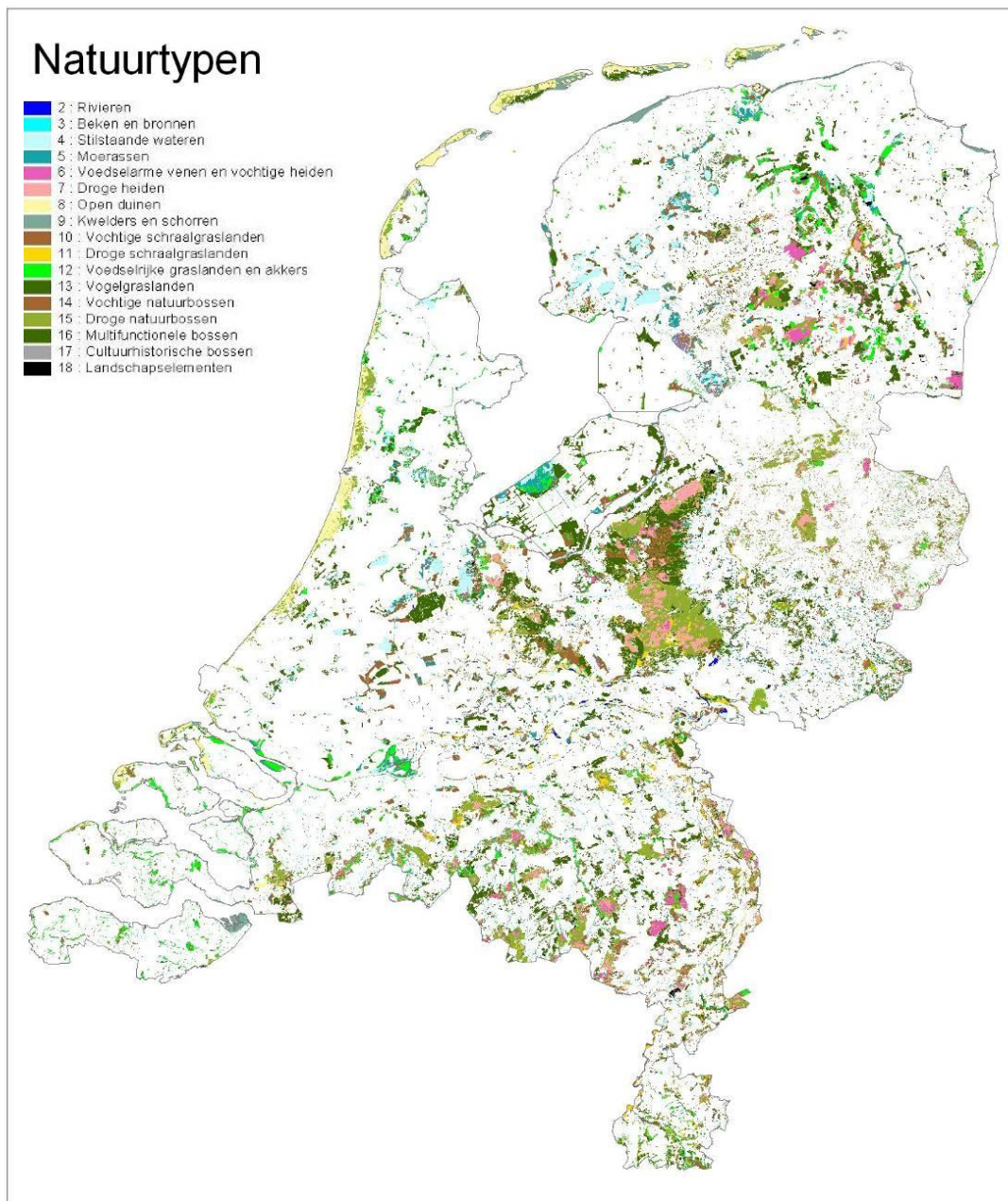
### 3.1 Processen in terrestrische ecosystemen onder invloed van klimaatverandering

#### 3.1.1 Selectie natuurdoelen

In dit deel van het rapport worden de gevolgen van klimaatverandering op terrestrische natuurdoelen beschreven voor Beheertypen. Deze zijn gedefinieerd in het systeem van de Index Natuur en Landschap (kort: Index NL) (Schipper en Siebel, 2008). De systematiek van de Index NL bestaat uit Natuurtypen en Beheertypen. Natuurtypen zijn vooral gebaseerd op abiotische condities (waterhuishouding en voedselrijkdom). De achttien Natuurtypen zijn verdeeld in 58 Beheertypen. Waar Natuurtypen bedoeld zijn voor sturing op landelijk en regionaal niveau, zijn Beheertypen bedoeld voor de aansturing van het beheer (Schipper en Siebel, 2008).

In dit deel van het rapport richten we ons bij de beschrijving van effecten van klimaatverandering op natuurdoelen, vooral op Beheertypen. Soms is de indeling in Natuurtypen relevanter, soms is een onderverdeling van Beheertypen relevant. Wanneer effecten van klimaatverandering voor alle Beheertypen in een Natuurtype hetzelfde zijn, worden die effecten voor het natuurtype beschreven. Voor andere effecten op Beheertypen verwachten we dat de indeling onvoldoende onderscheidend is om uitspraken over klimaatverandering te doen. Het betreft typen die in meerdere fysisch geografische regio's liggen, maar waar het effect in de ene regio waarschijnlijk anders uitpakt dan de andere. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op natte schraalgraslanden (bijvoorbeeld verschil waterhuishouding in laagveengebieden, beekdalen en kwelzones op hoge zandgronden). De ligging van de Natuurtypen is weergegeven in figuur 17. De basis van die kaart is de informatie over ligging van de Natuurdoeltypen, volgens de typologie van 1995 (Bal et al., 1995). Hiertoe zijn de Beheertypen vertaald naar die Natuurdoeltypen. Ook bij deze vertaling is gebruik gemaakt van de 'vertaaltabel' bij de Index NL.

Een belangrijke stap in het interpreteren van de literatuur is het koppelen van typologieën. De Beheertypen wijken op meerdere punten af van andere typologieën. Bij ecohydrologische literatuur staat de oorsprong en afhankelijkheid van het water centraal: regenwaterafhankelijk of grondwaterafhankelijke typen. De nadruk op beheer zoals in de Beheertypen sluit daar niet altijd op aan. De relatie met Habitattypen die Nederland volgens de Natura 2000-wetgeving dient te beschermen is ook relevant. Uit de documentatie van LNV over de Index NL hebben we overgenomen welke Habitattypen aan Beheertypen zijn gekoppeld (Schipper en Siebel, 2008). Deze vertaling wordt bij de beschrijving van de Beheertypen in hoofdstuk 3.4 gebruikt.

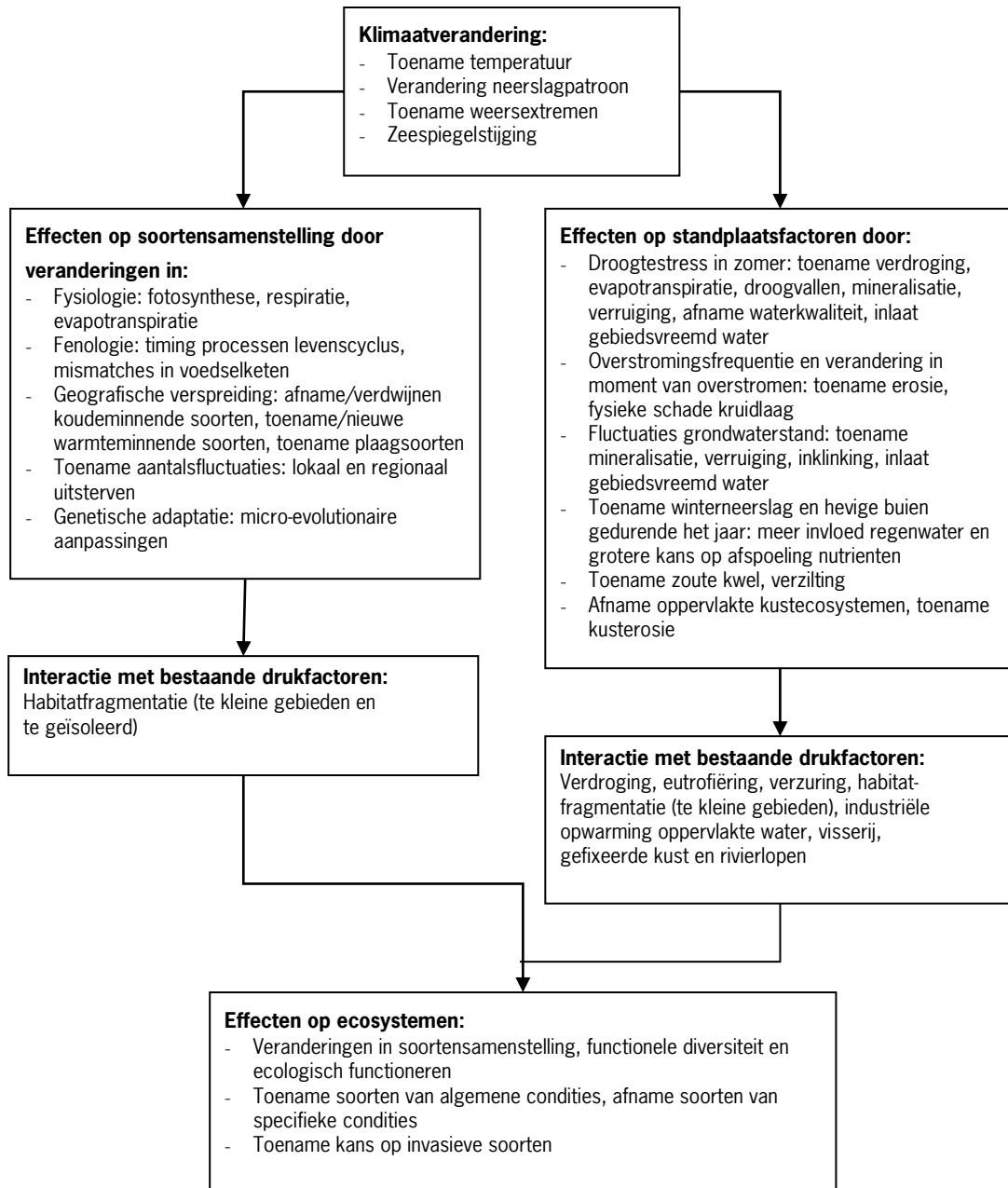


**Figuur 17**

*Ligging van de Natuurtypen in Nederland, afgeleid van het geplande patroon van Natuurdoeltypen binnen de Ecologische Hoofdstructuur.*

### 3.1.2 Generieke effecten klimaatverandering terrestrische systemen

Gevolgen van klimaatverandering grijpen in op vele ecosystemprocessen. Figuur 18 toont belangrijke effecten van klimaatverandering op terrestrische systemen.



**Figuur 18**

Schematische weergave van generieke effecten van klimaatverandering op ecosystemen via soortensamenstelling en standplaatsfactoren (naar Vonk et al., 2010).

De veranderingen in ecosystemen komen tot stand via effecten van klimaatverandering op de soortensamenstelling en effecten op standplaatsfactoren. Deze twee categorieën van veranderingen staan niet los van elkaar: zij beïnvloeden elkaar wederzijds. Verandering in bijvoorbeeld soortensamenstelling van bomen onder invloed van droogte of hogere temperaturen leidt tot een strooisellaag van andere kwaliteit, bijvoorbeeld zuurder, wat weer een belangrijke standplaatsfactor is en als zodanig de vegetatie en de fauna beïnvloedt. Effecten van klimaatverandering staan niet los van bestaande drukfactoren. Er is op allerlei fronten interactie met bestaande drukfactoren. Hoe dit precies uitpakt op ecosystem-niveau (soortensamenstelling, processen, structuur) is niet exact te voorspellen, door allerlei interacties en terugkoppelingsprocessen. Echter, meerdere reviews die de afgelopen jaren zijn verschenen, geven aan dat die veranderingen al plaatsvinden of zullen gaan plaatsvinden (Walther et al., 2002; Parmesan en Yohe, 2003; McCarthy, 2001; Parmesan, 2006). Reviews over de Nederlandse situatie zijn terug te vinden in diverse rapporten (Vos et al., 2007; Vos et al., 2008b, Blom et al., 2008; Heijmans en Berendse, 2009; Vonk et al., 2010).

Areaaligging en standplaats zijn vaak sterk gecorreleerd. In ons land komen noordelijke soorten vooral voor in moerassen en voedselarme natuurtypen zoals heiden en droge bossen. Voor mossen is deze samenhang zelfs absoluut (Siebel en Bijlsma, 2007). Juist deze natuurtypen staan ook onder grote druk van verdroging en vermesting. De achteruitgang van noordelijke soorten kan dus niet alleen worden toegeschreven aan klimaatverandering, maar is het gevolg van meerdere drukfactoren.

Hieronder gaan we kort in op de processen die in figuur 18 genoemd zijn. De effecten die in de figuur beschreven staan treden niet in gelijke mate voor alle Beheertypen op. Dat wordt duidelijk bij de beschrijving van de Beheertypen (paragraaf 3.4.1-13). Het onderscheid tussen effecten op soortensamenstelling en op standplaatsfactoren wordt daarbij zoveel mogelijk aangehouden.

### **3.1.3 Effecten op soortensamenstelling**

Soorten verschillen in hun reactie op veranderingen in het klimaat. De ene verandering is voor de ene soort gunstig, voor de andere ongunstig, en weer een andere soort is ongevoelig voor de verandering. Deze verschillen tussen soorten leiden ertoe dat de soortensamenstelling van levensgemeenschappen verandert. Wat de uitwerking van klimaatverandering op soortengemeenschappen is, is niet enkel een som van responses van individuele soorten, maar ook de interacties tussen soorten spelen een belangrijke rol (Suttle et al., 2007). Door verschuivingen in soortensamenstelling kunnen geheel nieuwe levensgemeenschappen ontstaan die nog niet eerder beschreven zijn (Keith et al., 2009).

Verschillen in fysiologische respons hebben bijvoorbeeld invloed op de competitieve verhouding tussen soorten, waarbij snellere groeiers (C4 planten, eenjarigen) andere soorten (C3 planten, meerjarigen) kunnen verdringen (White et al. 2001). Dit speelt potentieel een rol in bijvoorbeeld graslanden en ruigdetypen.

Verschillen in fenologische respons tussen soorten kan leiden tot problemen in voedselketens (mismatch). De ene soort reageert bijvoorbeeld sterker op hogere voorjaarstemperaturen dan andere. Zo is de vervroeging van de bloeitijd van planten veel sterker dan de verschuiving in de terugkeertijd van trekvogels (Vos et al., 2007). De mate waarin een mismatch in de voedselketen optreedt, vertoont regionale verschillen, wat mogelijk samenhangt met het ecosysteemtype (Both et al., 2006).

Temperatuurstijging heeft tot gevolg dat veel soorten in Nederland hun potentiële verspreidingsgebied naar het noorden zien verschuiven (Parmesan et al., 1999, Bakkenes et al., 2002), zie ook paragraaf 3.2.2. Vooral aan de rand van hun areaal zullen soorten reageren op klimaatverandering (Vos et al., 2007).

Het verschuiven van areaalgrenzen door gewijzigde klimatologische condities speelt ook in op soortinteracties omdat soorten kunnen verdwijnen en anderen verschijnen. Naast een mismatch in tijd voor soorten op een bepaalde plek, bedreigt ook een mismatch in ruimte de biodiversiteit, wanneer de ene soort zijn verspreidingsgebied op een andere manier aanpast aan een veranderend klimaat dan de andere soort. Het resultaat is dat het verspreidingsgebied van planten met specialistische bestuivers bijvoorbeeld niet meer hetzelfde is als het verspreidingsgebied van hun bestuivers (Schweiger et al., 2008).

Toegenomen frequentie en heftigheid van extreme weersomstandigheden zullen hun weerslag hebben op populatiedynamiek (Easterling et al., 2000). Het gevolg is onder andere extra fluctuaties in populatiegroottes, wat een extra risicofactor voor populaties is, vooral voor kleine populaties (Vos et al., 2007).

Lokale genetische adaptatie kan ertoe leiden dat de ene soort beter in staat is zich aan te passen aan veranderde omstandigheden dan de andere. Dit heeft veranderingen in competitieverhoudingen tot gevolg. Genetische adaptatie is echter een traag proces, dat vaak meerdere generaties van soorten nodig heeft. Bij de bespreking van effecten op soortensamenstelling van Beheertypen gaan we ook in op de mate van fragmentatie van de Beheertypen. Fragmentatie is van belang, omdat een sterke mate van fragmentatie soorten belemmert zich te vestigen in nieuw habitat. Populaties in kleine gebieden hebben een grotere kans om uit te sterven dan in grote gebieden. Die kans neemt nog eens toe door klimaatverandering. Hierbij spelen met name het optreden van weersextremen een belangrijke rol. Die leiden namelijk tot sterke aantalsfluctuaties. Die fluctuaties zitten zowel in toename als afname van de aantallen, maar sterke afname is funest voor de overlevingskansen van populaties (Vos et al., 2007). Het frequenter en heftiger optreden van weersextremen wordt wel gezien als belangrijkste oorzaak van veranderingen in ecosystemen (Easterling et al., 2000; Parmesan et al., 2000).

### **3.1.4 Standplaatsfactoren**

Klimaatverandering grijpt in op standplaatsfactoren voor vegetaties, waarmee het als het ware aan de basis van de natuurdoelen staat. Hydrologische en ecohydrologische processen spelen hierbij een sleutelrol. Door warmere, drogere zomers (vooral in het W+ scenario) neemt de kans op droogtestress toe. Vooral grondwateronafhankelijke ecosystemen op hogere zandgronden zullen hier gevolgen van ondervinden (stuwwallen, duinen, hogere dekzandruggen). Voor natte, regenwater afhankelijke systemen, zoals hoogveen en vochtige heide, is deze ontwikkeling een ernstige bedreiging. Door droogte sterft een deel van de vegetatie af, wat leidt tot meer openheid in vegetaties (Witte et al., 2009). Verdroging was al een drukfactor, ook voor Beheertypen van vochtige omstandigheden. Niet alleen het gebrek aan water speelt hierbij een rol. Droogte heeft grote gevolgen voor de chemische processen in de bodem. Door verdroging stijgt de zuurgraad van de bodem. Veel (planten)soorten zijn hier erg gevoelig voor. Het frequenter optreden van voorjaars of zomerdroogte kan dus problematisch worden voor vochtige en natte Beheertypen.

Hogere temperaturen leiden in het Europese klimaat vaak tot versterkte groei, maar gecombineerd met zomerdroogte, zoals in 2003, leidt het juist tot afname van groei en versterkte mineralisatie (Ciais et al., 2005). Met name snelgroeiende C4 planten (grassen) zullen profiteren van hogere temperaturen (White et al., 2001). Onduidelijk is echter in hoeverre plantengroei in Europa echt direct temperatuur gelimiteerd is (voor wat betreft de maximum temperaturen). Voor zover bekend is alleen de plantengroei in Noord-Europa temperatuur gelimiteerd (bijvoorbeeld Toendra's) en elders in de rest van Europa meer water gelimiteerd. In studies naar het effect van klimaatverandering in arctische gebieden blijkt bijvoorbeeld dat verhoging van temperatuur leidt tot hogere primaire productie bij toendra's, maar dat boreale bossen eerder water gelimiteerd zijn (Bunn et al., 2007). Minimum temperaturen in de winter, met name het al dan niet optreden van vorst, is wel bepalend voor de verspreiding van veel soorten (Prentice et al., 1992).

Als beheersmaatregel tegen verdroging wordt in Nederland vaak gebiedsvreemd oppervlaktewater binnengelaten. Dit water is echter vaak van slechte kwaliteit (nutriënten, zuurgraad) en veel Beheertypen zijn daar gevoelig voor (Blom et al., 2008; Witte et al., 2009), vooral vochtige schraalgraslanden.

Toegenomen neerslag en extreme regenbuien leiden tot grotere kans op overstromingen en stagnatie van regenwater. Deze neerslag zal afhankelijk van het bodemtype tot meer infiltratie en aanvulling van het grondwater leiden. Met name de extreme buien zullen ook tot meer oppervlakkige afvoer van water leiden. Dit heeft herverdeling van sediment en nutriënten tot gevolg. Ook leiden de extreme buien tot overstromingen die eveneens de invloed van vaak nutriëntenrijk oppervlaktewater vergroten, wat weer ongunstig voor veel Beheertypen is. Regenwater is vaak zuurder dan grondwater. Meer invloed van regenwater kan daarom ongunstig uitpakken voor beheertypen van meer basische omstandigheden.

De kweldruk zal mogelijk toenemen, maar er zijn grote onzekerheden rondom dat proces (Witte et al., 2009). De aanvulling van het grondwater wordt bepaald door de balans tussen neerslag en evapotranspiratie. Jarenlange metingen (in zogenaamde lysimeters) aan neerslag en verdamping (op kale grond, loofbos en naaldbos) geven wel enig inzicht in de hoeveelheid water die beschikbaar is voor grondwater aanvulling op jaarbasis (Van der Gaast et al., 2009) en daarmee indirect in de effecten op kwelstromen. Uit de metingen bleek dat de verdamping veel minder fluctueert dan de neerslag. In droge jaren benaderde de verdamping in naaldbos de neerslag, daar was de aanvulling van het grondwater minimaal. Op kale grond en loofbos overtrof de neerslag ruimschoots de verdamping. In natte jaren nam de verdamping wel toe, maar was er een neerslagoverschot van enkele honderden mm's per jaar, wat aangeeft dat grondwater aangevuld wordt in dergelijke jaren. De effecten van klimaatverandering op evapotranspiratie in het veld (grote schaal, andere vegetaties, andere weersomstandigheden) zijn onvoldoende bekend om zekere uitspraken over de effecten op kwel te doen, maar de verwachting is echter dat toegenomen neerslag leidt tot toename van de aanvulling van het diepe grondwater in inzigtgebieden, wat weer kan leiden tot sterkere kweldruk in lagere gebieden. Niet alleen de totale balans tussen evapotranspiratie en neerslag is van belang, ook de variatie over het jaar is relevant voor de kwaliteit van de standplaats. Onderzoek aan effect van klimaatverandering aan kwelstromen van rivieren naar aangrenzende polders die temporele variatie in kwel en wegzijging zien (Van Herwaarden en Ketelaar, 2006). Er is ook een theorie die stelt dat de toegenomen verdamping zorgt voor afname van de invloed van de (zure) regenwaterbel in de bodem, die boven de diepergelegen kwelstroom ligt. Afname van de regenwaterbel en toename van verdamping biedt ruimte aan toename van de invloed van kwel (Van Walsum et al., 2002). Ondanks de onzekerheid is het effect van klimaatverandering op kwel wel een zeer belangrijke factor voor de kwaliteit van de standplaats. Kwelwater is gebufferd en van goede kwaliteit, veel bijzondere vegetatietypen komen voor in gebieden die onder invloed van kwel staan. In laagNederland heeft klimaatverandering gevolgen voor verzilting. Zilt grondwater wordt verder omhoog gestuwd door de versterkte kweldruk. Een tegengestelde beweging wordt veroorzaakt door de toename van neerslag, wat kan leiden tot een grotere zoetwaterbel bovenop het dieper gelegen zilte water. Het zilte water is zwaarder dan zoet water, en zal daardoor juist minder invloed op de wortelzoen hebben. Verzilting speelt bijvoorbeeld in het Groene Hart en in de duinen, maar hier speelt de stijging van de zeespiegel een belangrijke rol in de versterkte kwel. Zoals eerder genoemd, staan standplaatsfactoren niet los van de soortensamenstelling. Standplaatsfactoren beïnvloeden ook fysiologische processen. Onder ongunstige omstandigheden produceren planten bijvoorbeeld minder zaden, waardoor ze minder reproductief succes hebben, in aantal achteruit gaan en mogelijk weggeconcurrereerd worden. Soorten die profiteren van veranderde standplaatsfactoren kunnen juist succesvoller en dominanter worden, leidend tot soortenarmere vegetaties.

## **3.2 Nieuwe soortgroepen**

### **3.2.1 Verschuivende arealen**

Klimaat wordt gekenmerkt door een aantal parameters. Bijvoorbeeld neerslag in het winterseizoen, droogteperioden in de zomer, gemiddelde wintertemperaturen en gemiddelde zomertemperaturen. Het huidige verspreidingspatroon van soorten (planten en dieren) hangt samen met standplaatsfactoren (bodemtype, waterhuishouding, waterkwaliteit, beheer, enz.). Daarnaast zijn een aantal klimaatkenmerken van invloed op het al dan niet voorkomen van soorten. De set van geschikte klimaatkenmerken wordt klimaat-envelop genoemd. Klimaatverandering betekent dat de klimaatkenmerken die tot nu toe op een bepaalde plaats voorkwamen, kunnen veranderen, of ze kunnen op een andere plaats voorkomen. Het gevolg is dat klimaatenvolpen kunnen gaan verschuiven. Door het KNMI is berekend dat het weer dat we in Nederland meemaakten in 2006 en 2007 gelijk was aan het langjarige gemiddelde van 1961-1990 van de temperatuur van steden in Frankrijk op een afstand van 600-800 km zuidelijk van ons land (Kattenberg, 2008). Betekent dat, dat we dan ook soorten die nu ongeveer in of rondom Parijs voorkomen, in Nederland kunnen verwachten?



Voor honderden soorten zijn klimaatvelop-modellen ontwikkeld die de verschuiving van de geschikte klimaatzone voorspellen. De klimaatvelop-modellen van een vijftal soortgroepen zijn geïnterpreteerd, zodat we uitspraken kunnen doen over te verwachten veranderingen in de soortensamenstelling van Nederlandse natuurtypen.

Bronnen van die modellen staan in tabel 28. De klimaatvelop-modellen berekenen de voorspelde geschikte klimaatzone voor verschillende klimaatscenario's. In deze studie tonen we de resultaten voor scenario's die overeenkomen met het W<sup>+</sup>-scenario zoals dat door het KNMI is ontwikkeld. Dat scenario is te beschouwen als een Nederlandse interpretatie van het 'A2 high-emissions scenario' van het IPCC (IPCC, 2001).

Soorten die momenteel in Nederland voorkomen, of soorten waarvan de geschikte klimaatzone in de toekomst in Nederland voorkomt, zijn in zogenaamde klimaatresponsgroepen ingedeeld. Die groepen geven aan of het geschikte klimaat zich uitbreidt, ongeveer gelijk blijft of zich terugtrekt voor soorten in Nederland.

De verschuivingen van geschikte klimaatzones zijn over het algemeen noordwaards in Nederland. De klimaatzone van soorten die in Nederland aan de zuidgrens van hun areaal zitten ('noordelijke soorten'), kan zich uit Nederland terugtrekken, terwijl de klimaatzone van soorten die in Nederland aan de noordgrens van hun areaal zitten ('zuidelijke soorten'), zich kan uitbreiden. De verschuiving van klimaatzones zal zelden één op één resulteren in het daadwerkelijk verschuiven van het verspreidingsgebied van een soort. Niet alleen het klimaat bepaalt immers het verspreidingsgebied, maar standplaatsfactoren moeten eveneens geschikt zijn voor de afzonderlijke soorten. Zo is het zeer de vraag of heideplanten uit Zuidwest- en Midden-Europa zich zullen kunnen vestigen op de zure, voedselarme bodems van de heidegebieden in Nederland. En uiteraard moeten het huidige en toekomstige verspreidingsgebied ruimtelijk voldoende verbonden zijn, zodat een soort het toekomstige habitat ook kan bereiken.

Hoe de soortensamenstelling van de levensgemeenschappen in gebieden precies gaat veranderen is niet te voorspellen. Immers de vragen over bereikbaarheid en geschiktheid van habitat in de veranderde klimaatzones zijn onvoldoende te beantwoorden. Ook is interactie tussen klimaat en standplaatsfactoren (gelden onder veranderde klimaatomstandigheden dezelfde standplaatsfactoren?) een factor waar onvoldoende over bekend is. Daarom worden verwachtingen voor het verschuiven van de klimaatzones van doelsoorten als *indicator* gebruikt voor de mate van verandering die voor het hele ecosysteem wordt verwacht. Daarbij is vooral de verhouding tussen het percentage soorten met uitbreidende dan wel terugtrekkende klimaatzones van belang, evenals de hoogte van het percentage.

**Tabel 28**

Enkele basisgegevens van geïnterpreteerde klimaatvelop-modellen voor soortgroepen (in HOOFDLETTERS naam van klimaatvelop-model).

Bron	Soortgroep	Tijdstappen
SPECIES (Berry et al., 2007)	Planten	Huidig, (2020), 2050, 2080
EUROMOVE (Bakkenes et al., 2002)	Planten	Huidig, 2050
SPECIES (Berry et al., 2007)	Dagvlinders	Huidig, (2020), 2050, 2080
ALARM (Settele et al., 2008)	Dagvlinders	Huidig, 2050, 2080
SPECIES (Berry et al., 2007)	Amfibieën en reptielen	Huidig, (2020), 2050, 2080
ALARM (Araújo et al., 2006)	Amfibieën en reptielen	Huidig, 2050, 2080
Klimaatatlas Vogels (Huntley et al., 2007)	Vogels	Huidig, 2100
SPECIES (Berry et al., 2007)	Zoogdieren	Huidig, (2020), 2050, 2080

### 3.2.2 Verschuiven van soorten en Beheertypen

We hebben de resultaten van klimaatvelop-modellen geïnterpreteerd (Van der Veen et al., 2010). Voor 71% van de doelsoorten van het Nederlandse natuurbeleid waren modelresultaten beschikbaar. Alleen soorten waarvan het huidige verspreidingspatroon goed verklaard werd door het model zijn gebruikt. Hiervoor werd de overeenkomst tussen de verspreidingspatronen van de modellen en het huidige patroon visueel beoordeeld. Voor enkele soorten zijn geen klimaatvelop-modellen beschikbaar, maar dat betekent niet dat ze niet zijn ingedeeld in een klimaatresponsgroep. Voor deze groepen gebruikt de klimaatresponsdatabase andere kennisbronnen voor de verwachte ontwikkeling in de komende decennia, zoals beschrijvende studies van de trends van de afgelopen decennia of expert kennis.

We hebben soorten op basis van de resultaten van de klimaatvelop-modellen ingedeeld in drie hoofdcategorieën van responsgroepen: uitbreidend, centraal en terugtrekkend. De termen uitbreidend, centraal en terugtrekkend slaan op de klimaatzone, maar voor de leesbaarheid zullen we het hebben over uitbreidende soorten, centrale soorten en terugtrekkende soorten. Binnen de responsgroepen uitbreidend en terugtrekkend is ook gekeken op welke termijn de verschuiving verwacht wordt: 2050 of 2080/2100 (tabel 29 en bijlage 1). Deze termijn helpt bij het prioriteren van Beheertypen voor het nemen van adaptatiemaatregelen. Immers voor soorten waarvoor de komende 40 jaar al grote verschuivingen te verwachten zijn, worden andere maatregelen genomen en op een kortere termijn dan voor soorten die pas over 100 jaar verschuivingen in hun verspreidingspatroon in Nederland zullen laten zien.

**Tabel 29**

*Indeling van soorten in klimaatresponsgroepen op basis van voorspelde klimaatveloppen in Nederland in 2050 en 2080-2100. 'niet', 'gering' en 'geheel' slaat op de omvang van het potentiële verspreidingsgebied binnen het Nederlandse landoppervlak voor betreffende soort. 'uitbreidend' en 'verdwijnend' betekent dat het potentiële verspreidingsgebied toeneemt respectievelijk afneemt.*

Klimaat-responsgroep	Omschrijving	Huidig	2050	2080-2100
U1 (uitbreidend 1)	Verspreidingsgebied soort aanwezig in Nederland en uitbreidend in 2050 en/of 2080-2100. Soort die zich net gevestigd heeft met of zonder beschermde status hoort hier bij.	gering	uitbreidend	uitbreidend
U2 (uitbreidend 2)	Soorten die nog zal verschijnen in Nederland of als dwaalgast worden gezien.	niet	gering	uitbreidend
U3 (uitbreidend 3) centraal	Huidig niet aanwezig en verschijnt pas in 2080-2100. NL blijft tot 2050 in centrum verspreiding.	niet ± geheel	niet ± geheel	gering ± geheel
T1 (terugtrekkend 1)	Verspreidingsgebied van de soort beperkt tot minder dan de helft van Nederland en verdwijnt uit Nederland in 2050 en/of 2080-2100.	gering	afwezig	afwezig
T2 (terugtrekkend 2)	Verspreidingsgebied ( huidig) van de soort komt voor in meer dan de helft van Nederland maar gaat achteruit (2050).	± geheel	verdwijnend	afwezig
T3 (terugtrekkend 3)	Verspreidingsgebied ( huidig en 2050) van de soort komt voor in meer dan de helft van Nederland maar afnemend in 2080-2100.	± geheel	± geheel	verdwijnend

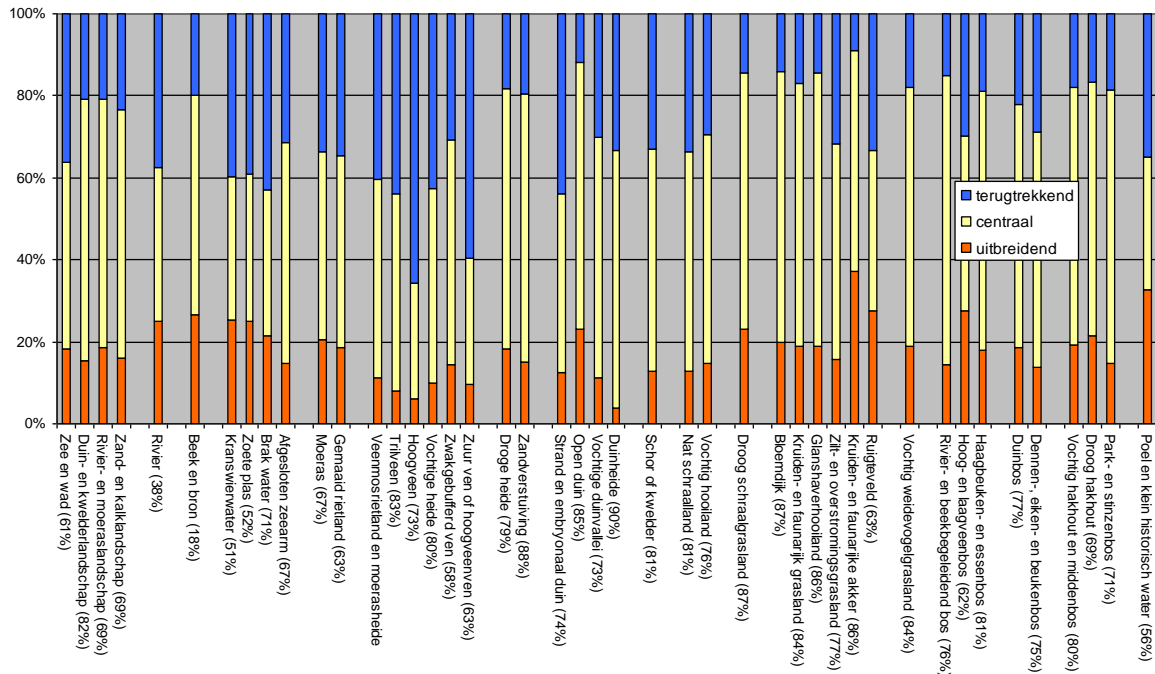
Er zijn grote verschillen tussen de Beheertypen wat betreft de percentages terugtrekkende, centrale en uitbreidende soorten. Over het algemeen is het percentage terugtrekkende soorten groter dan het percentage uitbreidende soorten per Beheertype (figuur 19). Voor de volledigheid toont figuur 19 ook de percentages van de Beheertypen die verder niet in het terrestrische deel besproken worden, maar in het aquatische deel van dit rapport aan de orde komen.

Beheertypen met relatief veel terugtrekkende soorten zijn de Beheertypen van voedselarme venen en vochtige heide, tot wel 66% van de doelsoorten bij hoogveen. Van de bossen hebben Hoog- en laagveenbossen en Dennen-, eiken- en beukenbossen relatief veel terugtrekkende soorten (respectievelijk 30% en 29%). Bij de graslanden zien we de hoogste percentages terugtrekkende soorten bij de Vochtige schraalgraslanden (30-34% uitbreidend).

Beheertypen met relatief veel uitbreidende soorten behoren tot de beheertypen van de Rijke graslanden en akkers (19-37%), uitgezonderd Zilt- en overstromingsgrasland. Met 37% hebben de Kruiden- en faunarijke akkers hebben het hoogste percentage uitbreidende soorten van alle beheertypen. Van de bossen hebben hoog- en laagveenbossen ook een vrij hoog percentage uitbreidende soorten (28%), evenals vochtig hakhout en middenbos (19%). Daarnaast vinden we hoge percentages bij droog schraalgrasland (23%). Bij de beschrijving van de effecten van klimaatverandering per beheertype worden diverse voorbeelden van soorten gegeven. De ruimtelijke verdeling van de aandelen uitbreidende en terugtrekkende doelsoorten worden in figuur 19 getoond. Hier zijn ook de aquatische typen getoond.

We zien daar vooral grote aandelen terugtrekkende soorten op beheertypen van de hogere zandgronden (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, Noord-Brabant), maar ook in laag-Nederland (bijvoorbeeld Friese Merengebied, Oostvaardersplassen).

Het ruimtelijke beeld van de percentages uitbreidende doelsoorten per beheertype laat vooral de hoge percentages langs de kust zien, waar het beheertype Open duin een groot aandeel in het oppervlakte inneemt. Ook aquatische typen in laag Nederland springen eruit. Andere beheertypen met vrij hoge percentages vallen minder op in het ruimtelijke beeld, omdat ze uit kleine gebiedjes bestaan.

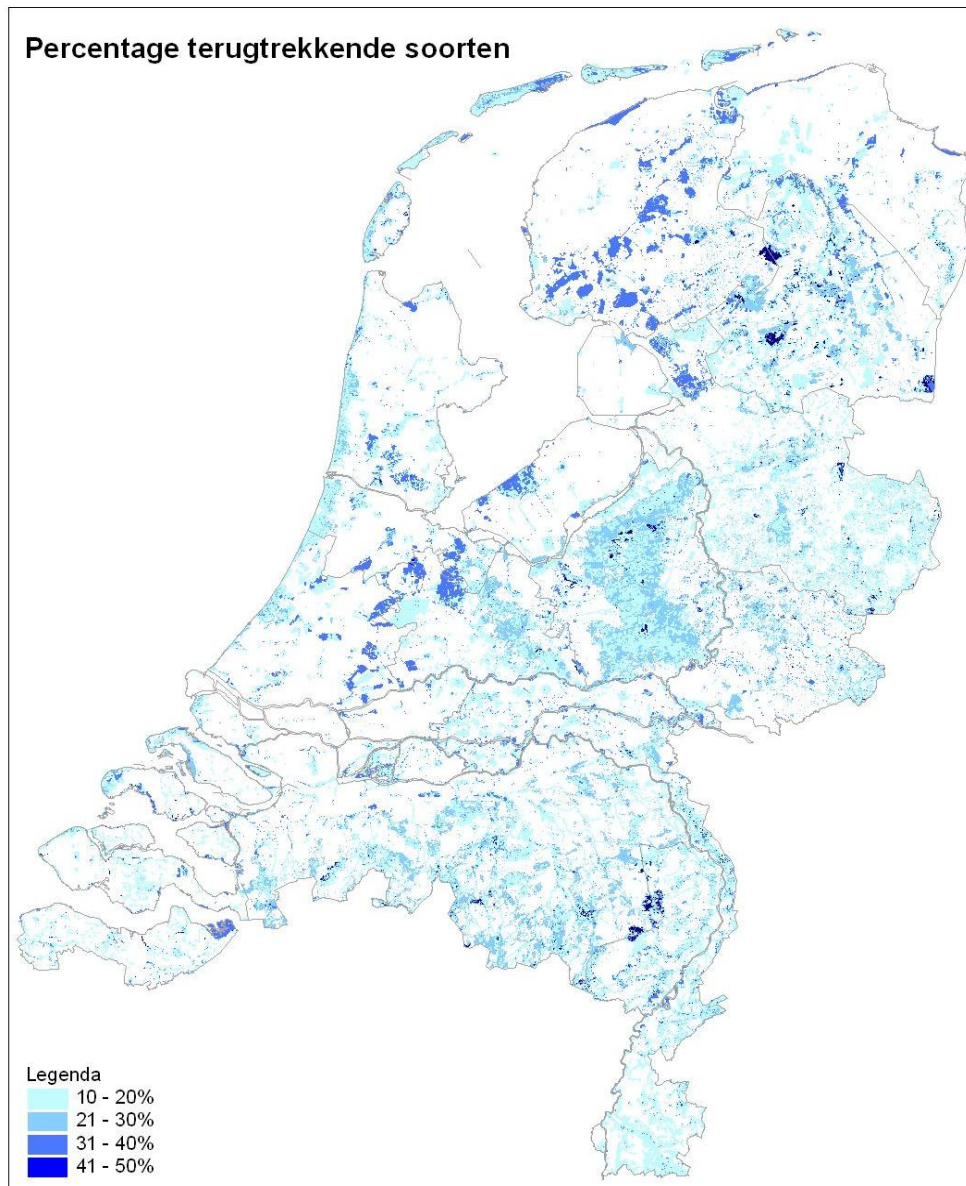


**Figuur 19**

*Klimaatrespons van doelsoorten in Beheertypen. Terugtrekkend: geschikte klimaatzone van soorten krimpt sterk in Nederland; uitbreidend: geschikte klimaatzone van soorten breidt sterk uit, centraal: Nederland ligt centraal in de geschikte klimaatzone van doelsoorten. Achter de naam van het beheertype staat tussen haakjes voor welk deel van de doelsoorten een responsgroep bekend is, en waarop deze figuur dus gebaseerd is.*

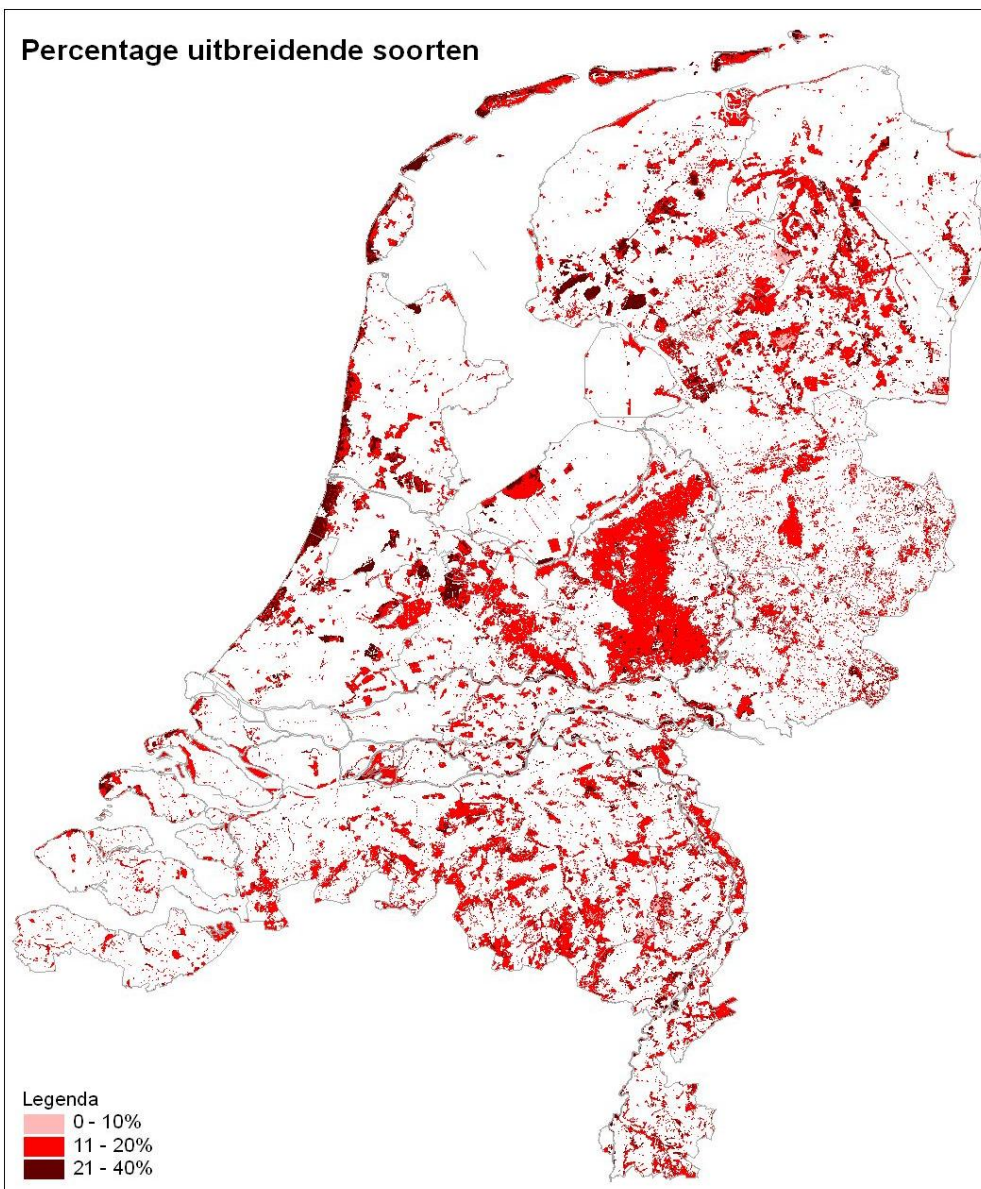
### **Figuur 20**

Ruimtelijke duiding van percentages terugtrekkende (figuur A) en uitbreidende (figuur B) doelsoorten per beheertype (in feite gaat het om terugtrekken of uitbreiden van de geschikte klimaatzone, de verandering van het verspreidingsgebied van een soort is daarnaast afhankelijk van de standplaatsfactoren, ruimtelijke samenhang van het habitat en het verspreidingsvermogen van de soort).



### ***Figuur 20A***

*Percentage doelsoorten met een terugtrekkende klimaatzone, weergegeven per beheertype (terrestrisch en aquatisch).*



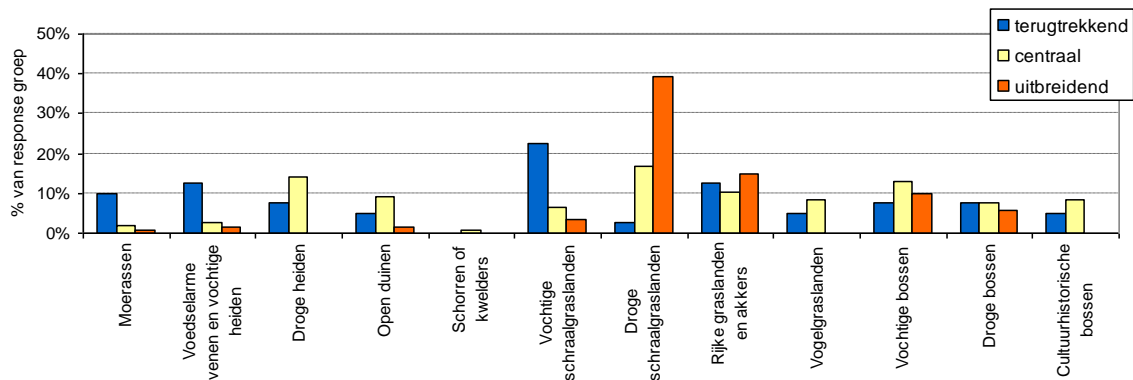
**Figuur 20B**

*Percentage doelsoorten met een uitbreidende klimaatzone, per beheertype.*

Hoe de levensgemeenschappen daadwerkelijk gaan veranderen, hangt van een groot aantal factoren af. In het voorgaande hadden we het over de geschiktheid van de standplaatsfactoren. Daarnaast is het de vraag of soorten waarvoor het klimaat in principe geschikt wordt, ook daadwerkelijk het nieuwe habitat kunnen bereiken. In Nederland is het habitat voor veel soorten versnipperd, met als gevolg dat veel soorten het nieuwe habitat niet zullen kunnen bereiken (Geertsema et al., 2009). Ook het verdwijnen van soorten hangt van veel factoren af. Soorten met een lange levensduur zullen traag reageren (time lag) en zullen ondanks ongeschikte klimaatomstandigheden nog een poos kunnen voorkomen.

Een andere factor van belang is hoe de globale voorspellingen van de klimaatvelop-modellen (op grove schalen van enkele 10-tallen km's) op landschapsschaal uitpakken. Binnen landschappen is vaak heterogeniteit aanwezig waardoor er plekken zijn waar de verandering van het klimaat voor minder verandering zorgt, zodat soorten daar kunnen overleven (Ashcroft et al., 2009, Bijlsma et al., 2009b).

Nieuwe soorten die nu nog niet in Nederland voorkomen en dus ook geen doelsoort voor het Nederlandse natuurbeleid kunnen zijn, maar waarvoor het klimaat op termijn wel geschikt wordt, worden geïdentificeerd op basis van de klimaatvelop-modellen (Uitbreidend 2 en 3 in bijlage 1). Deze soorten zijn geen doelsoort van het Nederlandse natuurbeleid en zijn dus niet terug te vinden in de data waarop figuur 19 is gebaseerd. Om te weten te komen in welke Beheertypen de nieuwe soorten mogelijk voor zullen komen, moet informatie over het huidige leefgebied van deze soorten worden geïnterpreteerd. Een verkenning van de verdeling van vlindersoorten over de natuurtypen laat zien dat de verdeling van huidige, terugtrekkende of uitbreidende soorten van elkaar verschilt. Een eerste indruk bij de interpretatie van nieuwe dagvlinders is bijvoorbeeld dat er vooral in de droge schraalgraslanden veel nieuwe soorten te verwachten zijn (figuur 21).



**Figuur 21**

Habitat van uitbreidende (met name nieuwe) vlindersoorten en huidige doelsoorten (terugtrekkend of centraal) in Nederland. Habitat weergegeven als natuurtypen.

Het blijkt dat de terugtrekkende soorten vooral in de natuurtypen moeras, voedselarme venen en vochtige heide en vochtige graslanden voorkomen. De centrale soorten zitten in droge heiden en open duinen. Uitbreidende soorten vinden we met name in droge graslanden.

Bij de figuur moet opgemerkt worden dat de uitbreidende soorten *alle* uitbreidende vlindersoorten zijn waarvoor klimaatresponsgroepen zijn vastgesteld, het betreft hier vooral soorten die nu nog niet in Nederland voorkomen. De centrale en terugtrekkende soorten betreffen alleen doelsoorten. Er waren 32 vlindersoorten die momenteel wel in Nederland voorkomen en die bij de centrale en of terugtrekkende responsgroep horen, maar die geen doelsoort waren en in deze analyse niet aan een natuurtype zijn gekoppeld.

Als een verschuiving van soorten tussen natuurtypen echter voor meerdere soortgroepen aan de orde is, dan betekent dat in potentie een grote verandering in de totale soortensamenstelling van ecosystemen en daarmee in interacties tussen soorten en andere ecosysteemprocessen.

Het is wederom ook hier de vraag of de nieuwe soorten de potentiële leefgebieden ook daadwerkelijk zullen koloniseren. Factoren die daarbij cruciaal zijn, zijn versnippering van het leefgebied en de aanwezigheid van barrières. Vooral veel vlinders bleken in een eerdere analyse van het EHS-patroon veel schuifknooppunten te hebben om van het ene habitat netwerk in het andere te komen (Geertsema et al., 2009). Dat betekent dat de afname van soorten wellicht wel plaatsvindt, maar de vestiging van nieuwe soorten twijfelachtig is.



### **3.3 Adaptatiemaatregelen**

#### **3.3.1 Generieke klimaatadaptatiemaatregelen: vergroten van veerkracht**

Adaptatiemaatregelen zijn maatregelen in beheer, waterhuishouding en ruimtelijke kenmerken die bedoeld zijn de ongewenste gevolgen van klimaatverandering op te vangen.

Daarnaast zijn er adaptatiemaatregelen op het gebied van wet- en regelgeving en de organisatie en maatschappelijke inbedding van het natuurbeheer.

Toepassing van het concept van ecologische veerkracht kan inhouden dat de doelstellingen voor natuurbeleid aangepast worden, waarbij veel meer rekening gehouden wordt met dynamiek en onzekerheid binnen ecosystemen. Flexibele doelstellingen en focus op netwerken en de relatie met het multifunctionele landschap in plaats van gebieden met duidelijke begrenzingen, zijn onderdeel van deze benadering. Flexibele doelstellingen willen uiteraard niet zeggen dat doelstellingen aangepast moeten worden, zodra het beschermen van een soort bijvoorbeeld meer inspanning kost dan in eerste instantie voorzien.

Om te besluiten welke adaptatiemaatregelen het meest effectief zijn, willen we zo goed mogelijk weten welke veranderingen nu precies te verwachten zijn in ecosystemen. We zullen in de komende paragrafen algemene tendensen kunnen ontdekken in de verwachte ontwikkeling van de terrestrische natuurtypen.

Kort samengevat zijn die:

- hogere temperaturen;
- minder neerslag bij W+, meer neerslag bij W;
- verschuiving van neerslag van de zomer naar de winter;
- meer extremen in het weer.

Hoewel de gevolgen van klimaatverandering voor sommige natuurtypen voornamelijk positief, voor andere negatief en voor weer anderen soms negatief, soms positief uitpakken, spelen onzekerheden hierbij een grote rol (Opdam et al., 2009).

De dynamiek en onzekerheid van het klimaat nemen toe, en dit leidt tot meer dynamiek en onzekerheid in het voorkomen van planten en dieren en in het functioneren van ecosystemen. Weersextremen zullen frequenter en heftiger optreden, en hebben grote gevolgen voor de overlevingskansen van populaties en levensgemeenschappen. Tegelijkertijd is ook het voorkomen van weersextremen omgeven door onzekerheden: waar treden ze op, wanneer (welk jaar, welk moment in het jaar), hoe vaak (eens per decennium, enkele jaren achter elkaar). De effecten van klimaatverandering op ecosystemen zijn onzeker, omdat sommige positief, andere negatief uitwerken. Voorspellingen zijn moeilijk, vanwege complexe ecologische processen met allerlei interacties en terugkoppelingsmechanismen.

In dynamische en onzekere situaties is het van belang dat ecosystemen verstoringen kunnen opvangen en zich kunnen aanpassen aan de omstandigheden. Hierbij is het concept van ecologische veerkracht een geschikt uitgangspunt (Kramer en Geijssendorfer, 2009).

In het natuurbeheer kunnen we met onzekerheden omgaan door de veerkracht van systemen te vergroten (Kramer en Geijssendorffer, 2009). Veerkrachtige systemen zijn in staat om verstoringen op te vangen, zonder dat ze zich ontwikkelen naar een toestand die niet meer te vergelijken is met de oorspronkelijke toestand (in structuur en processen).



### **3.3.2 Ruimtelijke maatregelen**

Ruimtelijke adaptatiemaatregelen die de veerkracht van ecosystemen vergroten, zijn het vergroten van gebieden, het vergroten van de heterogeniteit en het vergroten van de connectiviteit tussen natuurgebieden onderling en tussen natuurgebieden en het omringende landschap.

In grotere gebieden kunnen grotere populaties tot ontwikkeling komen, en kunnen fluctuaties door extreme weersomstandigheden beter opgevangen worden.

In een netwerk met goede connectiviteit zijn soorten in staat mee te migreren met verschuivende klimaat-zones. Op die manier kunnen ze vanuit het huidige verspreidingsgebied het nieuwe verspreidingsgebied bereiken. Ook is er binnen een netwerk met goede connectiviteit ruimte voor (tijdelijke) refugia. Mocht een populatie bijvoorbeeld door extreme weersomstandigheden lokaal uitsterven, dan is herkolonisatie vanuit andere, overlevende populaties mogelijk. Bij geïsoleerde plekken is dat veel minder goed mogelijk.

### **3.3.3 Vergroten heterogeniteit**

Ook heterogeniteit binnen een gebied biedt mogelijkheden voor overleven onder ongunstige weersomstandigheden. Heterogeniteit in microklimaat, in vegetatiestructuur of reliëf, vergroot de kans dat er onder droogte, hitte of juist extreme neerslag toch geschikte plekkjes zijn om te overleven. Door deze interne heterogeniteit ontstaan zgn. klimaatrefugia. In klimaatrefugia kunnen soorten overleven als er in de omgeving door bijvoorbeeld opwarming of uitdroging geen geschikt habitat aanwezig is (Vos et al., 2008a, Hansen et al., 2010). Vanuit dergelijke refugia kunnen andere plekken, wanneer ze geschikt zijn, opnieuw of voor het eerst, gekoloniseerd worden.

### **3.3.4 Abiotische kwaliteit: nutriënten en waterbeheer**

Maatregelen in beheer zijn erop gericht om de standplaatsfactoren gunstig te beïnvloeden. Eén van de verwachte gevolgen van hogere temperaturen is dat de mineralisatiesnelheid toeneemt, wat leidt tot grotere nutriëntenbeschikbaarheid voor de vegetatie, wat weer kan leiden tot meer groei. Ook hogere CO<sub>2</sub>-concentratie leidt tot versterkte groei van de vegetatie. Hogere temperaturen leiden eveneens tot veranderingen in de samenstelling van vegetaties, omdat C4-planten meer profiteren en dan C3-planten. Meer groei, mogelijke verruiging, meer biomassaopbouw in grazige vegetaties leiden tot mogelijke grote verschuivingen in soortensamenstelling, waarbij algemene soorten toenemen ten koste van zeldzame. Een maatregel waarmee de gevolgen van de grotere nutriënten beschikbaarheid kan worden gecompenseerd is het frequenter maaien en afvoeren van de biomassa. Echter, dit kan ook verstorend werken op diverse processen, zoals verstoring van gedrag van dieren, vermindering van zaadzetting bij planten, enz. Zeker wanneer er op grote schaal wordt gemaaid en afgevoerd (of geplagd), kan dit nadelig zijn. Kleinschaligheid en afwisseling in beheer zijn kenmerken van het beheer die mogelijk de nadelige gevolgen beperken. Preventieve maatregelen om de nutriëntenbelasting omlaag te krijgen zijn minstens zo belangrijk (eutrofiëring vanuit landbouw bij voorbeeld afspoeling nutriënten, inundatie met eutroof water, e.d.).

Ingrijpende veranderingen in standplaatsfactoren zijn te verwachten door veranderingen in neerslagpatronen gecombineerd met hogere temperaturen. In Nederland is het beheren van wateroverschot (afvoeren, ontwateren) verweven met de inrichting van het landschap. De verwachting is dat technische maatregelen geen duurzame oplossing voor klimaatverandering bieden. Een duurzame oplossing ligt in het vergroten van het waterbergend vermogen binnen regionale stroomgebieden. Dat betekent in stroomgebieden dat bovengstrooms water langer vastgehouden wordt. Bijvoorbeeld door het verder herstellen van meanderende stromen en door het verwijderen van drainagevoorzieningen, het ondieper maken of dempen van sloten leidt ook tot minder snelle afvoer van water en dus langer vasthouden van water in gebieden. Maar ook de ontwikkeling van het waterbergend vermogen van bodems zelf door opbouw van organisch materiaal zou een belangrijke factor

kunnen zijn. Het gevolg is minder droogte in perioden met weinig neerslag en minder wateroverlast in tijden van veel neerslag.

### Ruimtelijk concentreren van adaptatiemaatregelen

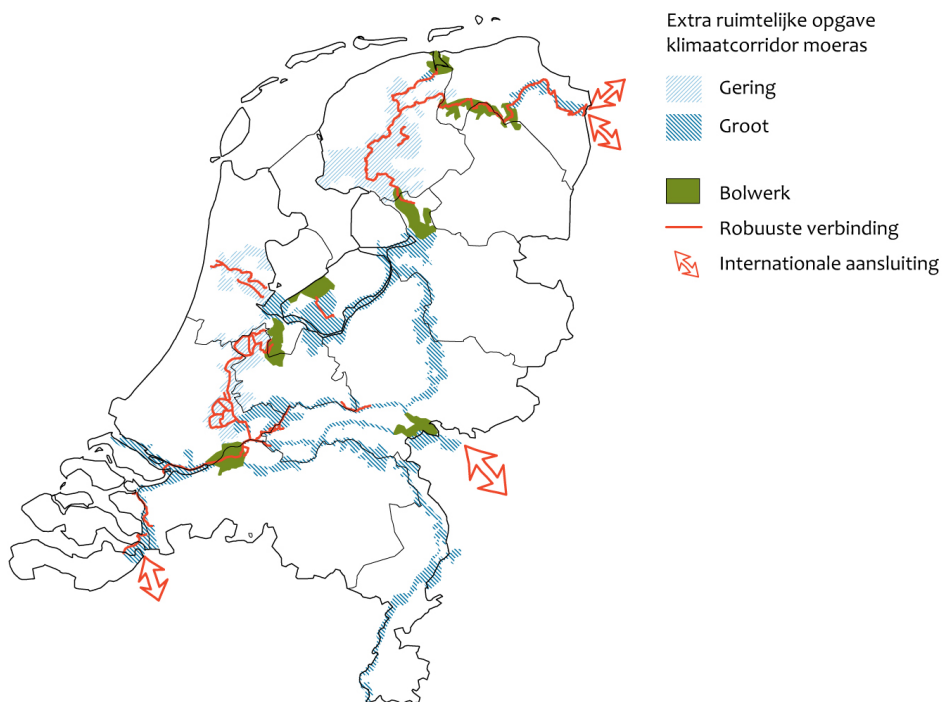
Adaptatiemaatregelen zijn het meest effectief wanneer ze ruimtelijk geclusterd worden uitgevoerd. Een duidelijk voorbeeld daarvan is het belang van de ruimtelijke samenhang tussen natuurgebieden om verschuiving van soorten en herkolonisatie na verstoringen mogelijk te maken. Die ruimtelijke samenhang zal op landelijke schaal afgestemd moeten worden om verschuiving ook daadwerkelijk mogelijk te maken. Daarbij is aansluiting op eventuele grensoverschrijdende natuurgebieden van belang.

In een nationale adaptatiestrategie zijn voor de belangrijkste ecosysteemttypen in Nederland zones aangewezen waarbinnen adaptatiemaatregelen genomen zouden moeten worden (Vonk et al., 2010): moerassen, bossen, heide en beekdalen. Deze zones worden hier kort geïntroduceerd:

Voor moerassen is internationale aansluiting en een doorgaande route aan de orde, vanwege het internationale belang van de Nederlandse moerassen in Europa (figuur 22).

Voor bosgebieden is een strategie waarbij internationale aansluiting wordt gezocht op boscomplexen in Duitsland aan de orde (figuur 23). Een doorgaande route door Nederland ligt niet voor de hand, vanwege de grote rivieren tussen de bossen in het zuidelijke zandgebied (Noord-Brabant) en de bossen op de zandgronden in midden en Noord-Nederland. Een doorgaande route is ook niet noodzakelijk, vanwege de grote boscomplexen ten oosten van Nederland in bijvoorbeeld België, Frankrijk en Duitsland.

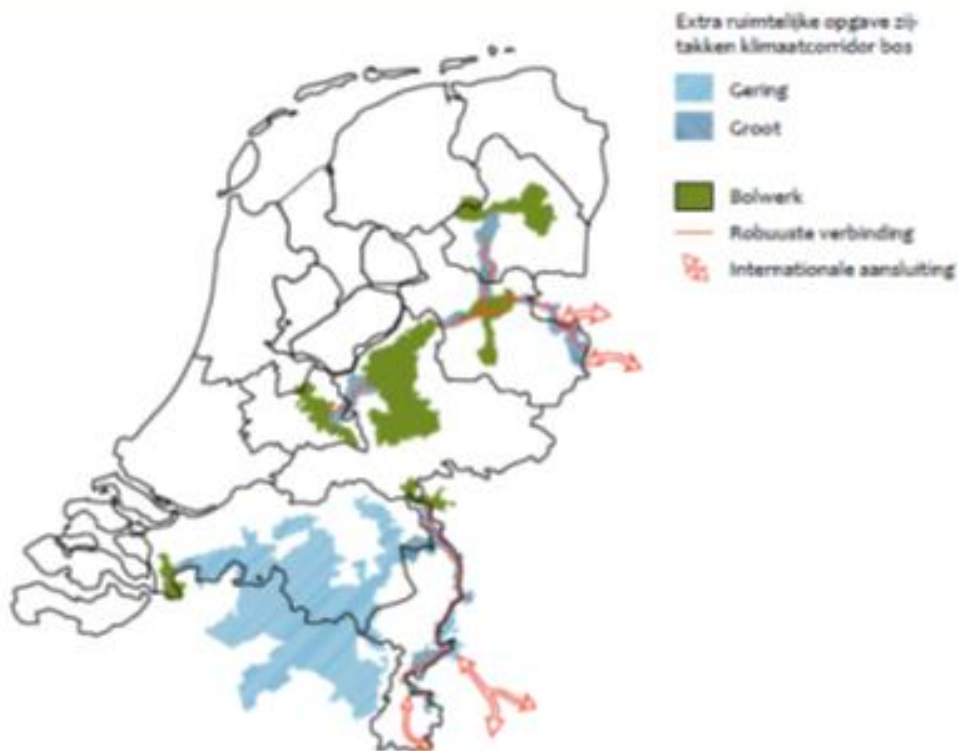
#### Klimaatcorridor moeras



**Figuur 22**

*De klimaatcorridor moeras verbindt de Nederlandse moerasbolwerken onderling en met moerassen elders in Europa. Binnen deze corridor is het nemen van adaptatiemaatregelen het meest effectief voor een samenhangende adaptatiestrategie voor moerassen (Vonk et al., 2010).*

## Zijtakken Europese klimaatcorridor bos

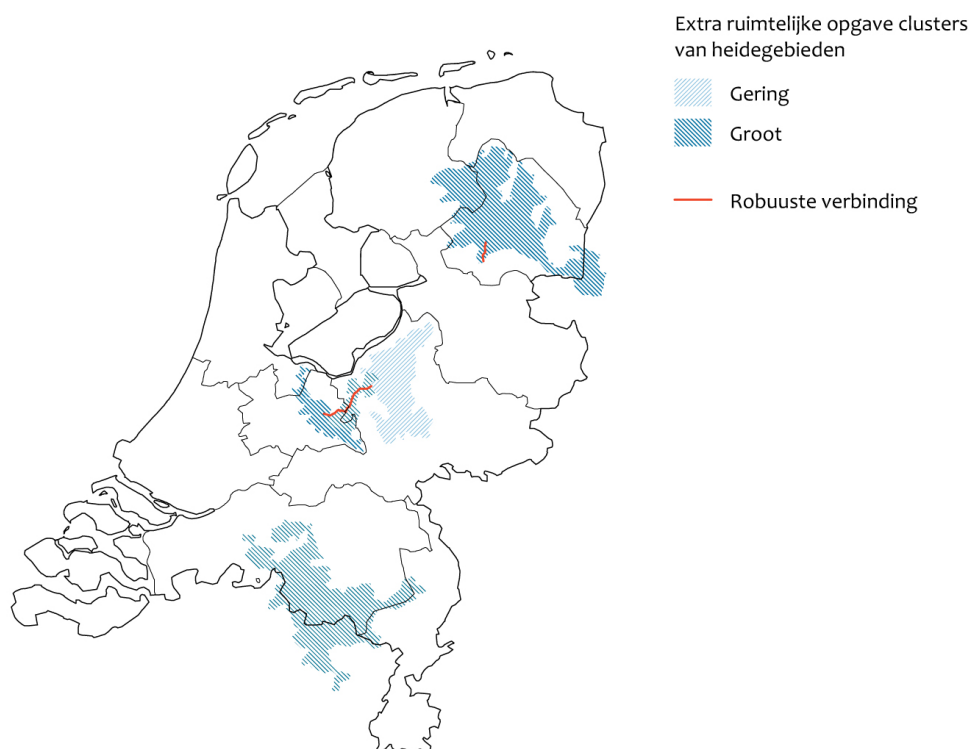


**Figuur 23**

*De Nederlandse bossen vormen zes bolwerken en een cluster van kleinere bossen in het zuiden. De bolwerken vormen de basis voor een twee zijtakken van de Europese klimaatcorridor voor bos (Vonk et al., 2010).*

De heidegebieden in Nederland en ons omringende landen zijn sterk versnipperd. Voor deze ecosystemen is het van belang om in te zetten op versterking van de veerkracht van regionale clusters (figuur 24). Maatregelen ter versterking van de veerkracht moeten zich richten op verbeteren van de onderlinge ruimtelijke samenhang, de abiotische kwaliteit en heterogeniteit.

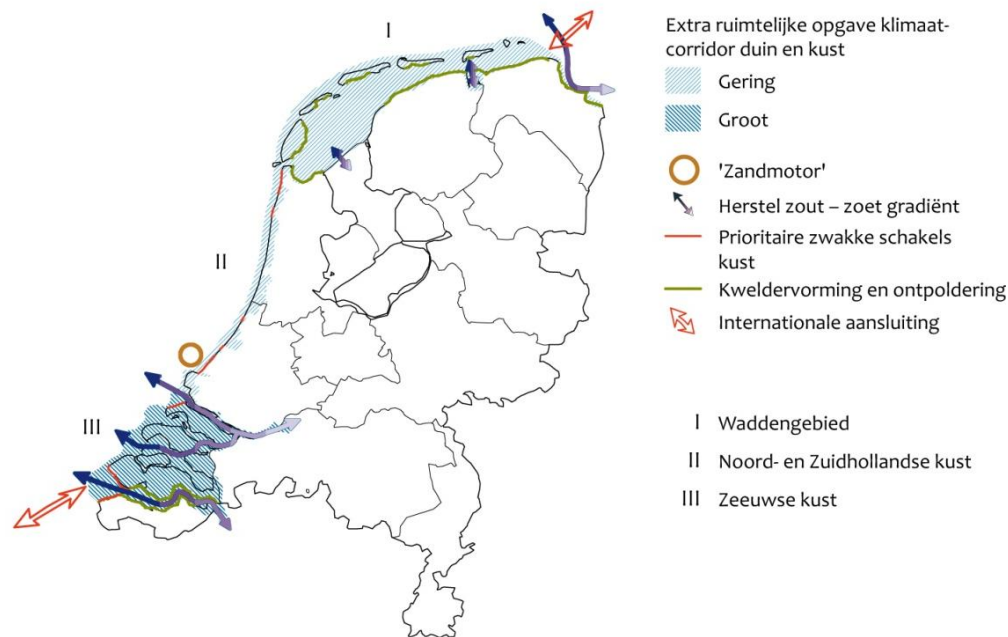
## Clusters van heidegebieden



### **Figuur 24**

*Nederland heeft vier clusters met een hoge dichtheid aan grote heidegebieden die een belangrijke bijdrage leveren aan het duurzaam voorkomen van heidesoorten in Nederland (Vonk et al., 2010).*

De natuurgebieden in de kust- en duinzone hebben over het algemeen een goede ruimtelijke samenhang, met uitzondering van het Zeeuwse kustgebied en de zwakke schakels langs de Noordzeekust. Internationaal gezien is de kust van groot belang. Een doorgaande route met internationale aansluiting vormt de basis voor de klimaatcorridor duin en kust (figuur 25). De 'zandmotor' vormt een belangrijke maatregel om de kustlijn langs de Noordzee vast te houden. Door zandsuppletie wordt verlies van zand door zeespiegelstijging gecompenseerd.



**Figuur 25**

De klimaatcorridor duin en kust vormt een doorgaande internationale route die de clusters natuurgebieden langs de Nederlandse kust verbindt met natuurgebieden in aangrenzende landen (Vonk et al., 2010).

### 3.4 Effecten van klimaatverandering en opties voor klimaatadaptatie per beheertype

#### 3.4.1 Beschrijvingen per beheertype en natuurtype

In dit hoofdstuk wordt per beheertype beschreven wat de belangrijkste effecten van klimaatverandering op het natuurdoel zijn. We proberen zo veel mogelijk aandacht te geven aan de onderliggende abiotische en biotische processen, aan zowel effecten op standplaatsfactoren als op soortensamenstelling. Sommige effecten zijn specifiek voor de Beheertypen, andere gelden generiek voor het Natuurtype waar meerdere Beheertypen onder vallen. In enkele gevallen worden de Beheertypen onderverdeeld, bijvoorbeeld afhankelijk van de hydrologische relaties.

Behalve de effecten wordt ook ingegaan op de mogelijke adaptatiemaatregelen. Ook bij die maatregelen proberen we terug te grijpen op de onderliggende processen en effecten.

### 3.4.2 N05 Moerassen

#### Bestaande situatie

*Ecosysteempromessen, stressfactoren, beheer*

##### 05.01 Moeras

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H7210 Galigaanmoerassen
- H6430A Ruigten en zomen, moerasspirea
- H6430B Ruigten en zomen, harig wilgenroosje

De dynamiek van verlandingsstadia en open water zijn de belangrijkste ecosysteempromessen in dit natuurtype. Moeras wordt in stand gehouden door goede waterkwaliteit en een natuurlijk fluctuerend waterpeil. Vermesting, verdroging en verbossing vormen bedreigingen die onder andere leiden tot versnelde successie en verlanding. Gecombineerd met onvoldoende nieuwworming, is er geen tegenwicht tegen de versnelde successie. Beheer, zoals maaien, begrazen of kappen, is noodzakelijk om de successie terug te zetten. Een belangrijk onderscheid binnen de moerassen ligt in de oorsprong van het water. Klei en riviermoerassen worden gevoed door oppervlaktewater. Laagveenmoerassen kunnen daarnaast door kwelwater gevoed worden. De oorsprong van het water is relevant omdat het de kwaliteit en de dynamiek van het water beïnvloedt.

Ook tussen de gerelateerde habitattypen bestaan grote verschillen, het bodemtype en oorsprong van het water spelen hierbij een cruciale rol. Galigaanmoerassen komen voor langs oevers van laagveenplassen, duinplassen en heidevennen, onder basenrijke en niet al te zuurstofarme omstandigheden, vaak onder invloed van kwel.

Het habitatype 'Rugten en Zomen (Moerasspirea)' komt voor in het rivierengebied en beekdalen, het meest op zand en leem. Het andere habitatype rugte en zomen (Harig wilgenroosje) komt het meest voor op veen en klei, vooral in laagveengebieden en zoetwatergetijdengebied.

In laagveenmoerassen kan verzilting optreden. Verzilting in lage gebieden is een proces dat al eeuwen gaande is: bodemdaling veroorzaakt een steeds lagere ligging van deze gebieden, waardoor ze onder invloed van brakke kweldruk komen te staan.

##### 05.01 Gemaaid rietland

- Gemaaid rietland is vaak onderdeel van moerassen. Bepalend voor het voorkomen en de kwaliteit van het type zijn waterkwaliteit, bodemtype, het verlandingsproces en het beheer.

#### Effecten klimaatverandering

##### *Standplaatsfactoren*

De verwachte toename van dynamiek in de waterhuishouding door nattere winters en droge zomers heeft mogelijk grote gevolgen voor het terrestrische deel van moerassen. De verwachting is dat dit verschillend kan uitpakken voor laagveen en kleimoerassen.

##### *Laagveenmoerassen (zie ook N06, voedselarme venen en natte heides)*

Hogere temperaturen (alle scenario's) en minder neerslag (W+ scenario) leiden tot sterkere mineralisatie en eutrofiëring en verzuring, een ontwikkeling die negatief uitpakt voor de laagveenmoerassen. Verzuring wordt ook versterkt wanneer invloed van kwel in de zomer afneemt en invloed van (zuur) regenwater toeneemt. Hydrologische veranderingen door klimaatverandering zouden voor laagveenmoerassen echter gunstig kunnen uitpakken. Cruciaal hierbij is wat er gebeurt met de kwel en de kwaliteit van het kwelwater (basenrijk of brak?). Het effect van toegenomen neerslag in de winter, drogere zomers, gemiddeld meer neerslag over het jaar

(W-scenario) op kwel is onzeker. Mogelijk neemt de kwelstroom toe door klimaatverandering (Witte et al., 2009). Door toename van kwel neemt de kwaliteit van het water toe. Onzekerheden in de effecten op kwel zitten bijvoorbeeld in de evapotranspiratie in infiltratiegebieden, en verdamping in de kwelgebieden zelf (Witte et al., 2009). Daarnaast is het onzeker wáár eventuele extra kweldruk tot nattere omstandigheden leidt. Die wordt verwacht in de laagste delen van een kwelgebied, in laag-Nederland zijn dat vaak de droogmakerijen. Die liggen lager dan de veengebieden. Binnen de veengebieden hebben natuurgebieden vaak nog weer een hogere ligging dan het omliggende landschap, wat de toename van kweldruk weer minder waarschijnlijk maakt. De natuurgebieden liggen hoger, vanwege minder sterke ontwatering en daardoor minder sterke inklinking en bodemdaling.

Voor drijvende kraggen en drijftillen en smalle legakkers in laagveenmoerassen zijn nauwelijks veranderingen in dynamiek van de waterspiegel ten opzichte van de vegetatie te verwachten (Witte et al., 2009).

Verzilting in lage gebieden is een proces dat al eeuwen gaande is: brakke kweldruk door steeds lagere ligging van deze gebieden, zoals Botshol en de Nieuwkoopse plassen (Kooiman et al., 2005). Verzilting wordt versterkt door klimaatverandering: verschillende processen spelen daarbij een rol: zeespiegelstijging, brakke kwel en lagere rivierafvoeren, maar ook hogere zoutconcentratie door versterkte verdamping (Witte et al., 2009, Roos et al., 2004).

Kortom, een deel van de effecten van klimaatverandering kan positief, een deel kan negatief uitpakken voor laagveenmoerassen.

#### *Kleimoerassen*

De gevolgen van klimaatverandering voor moerasgebieden die door oppervlaktewater gevoed worden (alle kleimoerassen, enkele laagveenmoerassen) is divers. Het zijn voedselrijke moerassen, die minder gevoelig voor eutrofiëring als gevolg van hogere temperaturen en droogte zijn dan laagveenmoerassen. Toename van dynamiek door extreme weersomstandigheden en (gedeeltelijke) verzilting vergroot mogelijk de heterogeniteit en daardoor de kans op meer diverse levensgemeenschappen. Hoe de relatie tussen toename van dynamiek en heterogeniteit en soortenrijkdom precies is, is niet bekend. Dynamiek kan namelijk ook zodanig uitpakken dat vooral generalistische soorten die onder allerlei omstandigheden kunnen groeien profiteren. Specialistische soorten, die vaak gebaat zijn bij stabiele condities, zouden juist kunnen verdwijnen. Toename van heterogeniteit kan daarnaast ook versnippering in de hand werken, wat ook ongunstig is voor de overleving van populaties.

Tot de klei- en riviermoerassen behoren enkele grote gebieden (zoals Oostvaardersplassen, Biesbosch, Gelderse Poort). Deze zullen daardoor goed gebufferd zijn tegen negatieve gevolgen in de waterhuishouding.

In kleine gebieden is de ruimte voor natuurlijke waterdynamiek kleiner en verloopt verlanding en successie sneller dan in grotere gebieden. Hogere temperaturen en droogte leiden tot verdamping en versnelde mineralisatie. Hogere temperaturen leiden tot verslechterde waterkwaliteit, leidend tot vissterfte, vertroebeling, plantsterfte. Ook is in kleinere moerassen versterkte verlanding en verzuuring te verwachten. De snellere afbraak van organische stof door hogere temperaturen leidt tot verrijking van de bodem. Plantensoorten van voedselarme omstandigheden gaan achteruit. Planten van voedselrijke omstandigheden nemen toe, zoals pitrus, brandnetel en bramen. De voedselrijkere omstandigheden leiden tot eentoniger en soortenarmere vegetaties.

#### *Soortensamenstelling*

Bij de doelsoorten van het moeras is het aandeel doelsoorten met een terugtrekkend geschikt klimaat (34%) groter dan het aandeel doelsoorten waarvoor het geschikte klimaat zich uitbreidt (20%). Het terugtrekken van het geschikte klimaat zal geleidelijk optreden. De meeste terugtrekkende soorten zullen naar verwachting wel tot in 2100 geschikte klimatologische omstandigheden in Nederland aantreffen, onder de omstandigheden die in het W+-scenario voorspeld worden.

Doelsoorten waarvoor het geschikte klimaat zich uitbreidt, kunnen alleen nieuwe geschikte gebieden bereiken, wanneer knelpunten die veroorzaakt worden door isolatie worden opgelost. Bij de verwachte verschuiving van

soorten door verschuivende klimaatzones hebben we geen rekening gehouden met verschillen tussen laagveen- en kleimoerassen.

De moerassen in Nederland bestaan uit een aantal grote bolwerken die ook onder extreme weersomstandigheden duurzame populaties kunnen herbergen, zoals de Weerribben, Oostvaardersplassen en de Gelderse Poort (Vonk et al., 2010). Er zijn echter ook veel moerasgebieden te klein om die extremen op te vangen. De kans dat de biodiversiteit hierdoor afneemt in met name de kleine gebieden is reëel.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Nederland is op Europese schaal een belangrijk gebied voor moerasnatuur. Het ligt voor het verschuiven van moerassoorten op een cruciale plaats, zodat het ook in een internationale context grote verantwoordelijkheden heeft. Om het meebewegen van veranderende soortarealen mogelijk te maken is ruimtelijke samenhang van moerasnetwerken op nationale en internationale schaal urgent. Via het tot stand brengen van een klimaatcorridor voor natte natuur kan dit gerealiseerd worden (Geertsema et al., 2009, Vonk et al., 2010,). Deze klimaatcorridor is bedoeld als ruimtelijke adaptatiestrategie: maatregelen ter versterking van de ruimtelijke samenhang en kwaliteit van moerassen zouden binnen deze corridor genomen moeten worden, omdat ze daar het meest effectief zijn. Het betekent uiteraard niet dat de hele corridor als moeras moet worden ingericht, en het betekent ook niet dat er buiten de corridor geen waardevolle moerasgebieden liggen die het beschermen waard zijn.

Vergroten van moerasgebieden en vergroten van de interne heterogeniteit biedt soorten grotere overlevingskansen bij extreme weersomstandigheden. Het biedt immers de gelegenheid om grotere populaties op te bouwen die beter bestand zijn tegen fluctuaties, en ook biedt het uitvluchtmogelijkheden in extreem droge of juist extreem natte jaren.

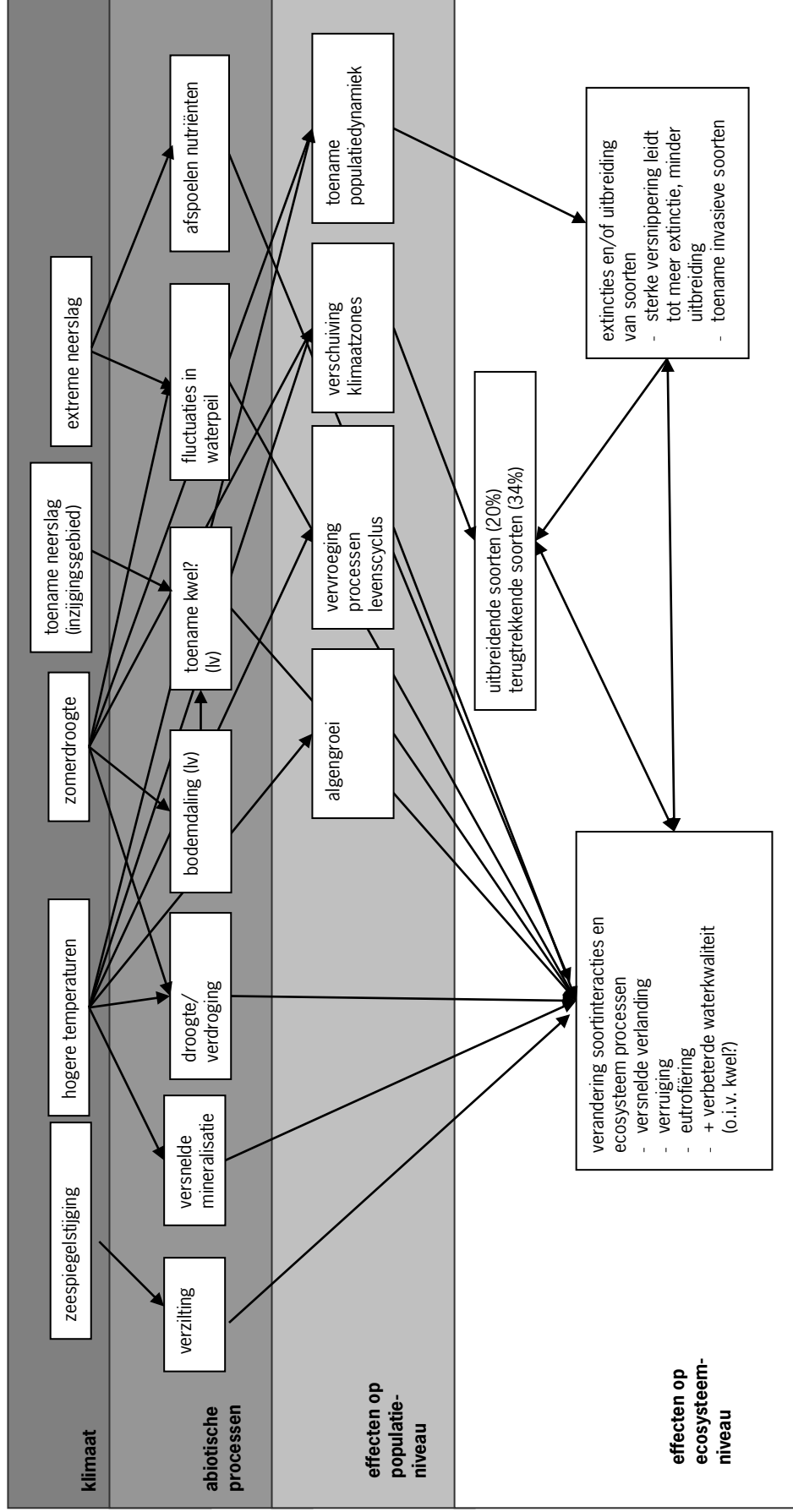
Bij de adaptatie van moeras aan klimaatverandering is het oplossen van ecohydrologische problemen cruciaal, te denken valt aan:

- verminderen van drainage;
- verminderen van evapotranspiratie door struiken of bomen te verwijderen. Deze verdampen meer dan kruidige vegetaties. Keuze voor deze maatregel moet wel worden afgestemd met de benodigde habitatkwaliteit en heterogeniteit in gebieden;
- natuurlijker waterpeil;
- wanneer bij uitdrijving gekozen wordt voor inlaat van gebiedsvreemd water is verbeteren van de kwaliteit van dat inlaatwater van belang.



**Schema moeras**

(/IV) alleen voor laagveenmoerassen.



### 3.4.3 N06 Voedselarme venen en vochtige heiden

#### Bestaande situatie

##### *Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

Voedselarme venen en vochtige heiden bestaan uit lage vegetaties door natte en voedselarme omstandigheden. De beheertypen vormen verschillende successiestadia van voedselarme natte systemen. Binnen dit beheertype komen zowel regenwatergevoede als kwelwater afhankelijke vegetatietypen voor. Regenwatergevoede systemen ontstaan door stagnatie van regenwater op ondoorlatende lagen of door hydrologische isolatie ten opzichte van het grondwater, bijvoorbeeld door successie. Het vasthouden van regenwater is cruciaal voor deze voedselarme systemen.

#### 06.01 Veenmosrietland en moerasheide

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H7140B Overgangs- en trilvenen, veenmosrietlanden
- H4010B Vochtige heiden, laagveengebied

Veenmosrietland en moerasheide zijn vrij voedselarme moerastypen en komen voor in laagveenmoerassen en veenweidegebieden. In veenweidegebieden vormt het veenmosrietland vaak linten langs sloten. Moerasheide is zowel binnen Nederland als Europa zeer zeldzaam. Het kan beschouwd worden als een overgang naar hoogveen, maar moerasheide komt alleen op laagveen voor.

Veenmosrietland en moerasheide zijn oude verlandingsstadia in de reeks van open water naar moerasbos. Vanuit jong rietland kan bij een toenemende dikte meer invloed ontstaan van regenwater, waardoor veenmosrietland tot ontwikkeling kan komen. Bij moerasheide is de invloed van regenwater het grootst. Bij verlanding vanuit brak water kan deze successie bijzonder snel verlopen.

Veenmosrietland en moerasheide vormen een natuurlijk, laat stadium in de successiereeks. Bedreigingen zijn verdroging, verzuring, vermesting en verbossing. Een gevolg van veranderde waterhuishouding is versnelde successie naar moerasbos. Maaien helpt het versnelde successieproces te vertragen, of terug te zetten. Ook ontwikkeling van petgaten en ontgronden zijn maatregelen om successie terug te zetten.

#### 06.02 Trilveen

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H7140A Overgangs- en trilvenen, trilvenen

Trilveen is vaak beperkt tot plekken die onder invloed van kwelwater staan en is afhankelijk van grondwater of oppervlaktewater en bestaat uit drijvende kraggen met plantenresten. De meeste trilvenen komen nu in Nederland voor in het laagveengebied en plaatselijk in beekdalen op plekken die onder invloed van kwelwater staan. Het heeft een goede (nutriëntenarme en basenrijke) waterkwaliteit en stabiel peil nodig. Bedreigingen vormen verslechterde waterkwaliteit en verzuring.

### 06.03 Hoogveen

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H7110A Actieve hoogvenen, hoogveenlandschap
- H7110B Actieve hoogvenen, heideveentjes
- H7120 Herstellende hoogvenen

Hoogveen ontstaat door de groei van een veenmospakket. De vegetatie wordt gedomineerd door veenmos. Het vegetatietype is regenwaterafhankelijk. Door afwisseling van slenken en bulten (lenshoogvenen) ontstaat er variatie binnen de hoogvenen. Bedreigingen vormen vermessing, inclusief N-depositie uit de lucht en verdroging.

### 06.04 Vochtige heide

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H4010A Vochtige heiden, hogere zandgronden
- H7150 Pioniervegetaties met snavelbiezen
- H6230 Heischrale graslanden

Vochtige heide wordt gekenmerkt door dominantie van dopheide. Het komt vooral voor op natte en vochtige, vrij zure en voedselarme bodems die bestaan uit zand of leem. Het habitatype heischrale graslanden dat aan dit beheertype gerelateerd is, komt voor op enigszins gebufferde omstandigheden door kalk in de bodem of resten van vroegere kalkbemesting, of invloed van kwel. Verdroging en vermessing vormen een bedreiging voor het beheertype.

*PM aquatisch*

### 06.05 Zwakgebufferd ven

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H3110 Zeer zwakgebufferde vennen
- H3130 Zwakgebufferde vennen

Zwakgebufferd ven wordt gekenmerkt door helder, voedselarm water dat door grondwater of basenrijk moeder materiaal zwak gebufferd is tegen verzuring. In de zomer vallen de vennen vaak droog, wat versneld wordt door drainage. Dit versterkt de invloed van (zuur) regenwater. Ze komen meestal voor in natte of droge heideterreinen. Bedreigingen zijn verzuring door verdroging en luchtverontreiniging.

*PM aquatisch*

### 06.06 Zuur ven en hoogveenven

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H3160 Zure vennen
- H7110B Actieve hoogvenen, heideveentjes

Zuur ven en hoogveenven komen voor op zandgronden. Ze ontstaan door toestromend en stagnerend regenwater. Vaak is er sprake van een ondoorlatende laag in de bodem. Zure vennen vallen geregeld droog; hoogveenvenen doen dit zelden. Het water is (matig) zuur en voedselarm en bevat humuszuren. Bedreigingen vormen slechte luchtkwaliteit en verdroging. Ze liggen vaak in bos of heidegebieden en zijn daardoor minder kwetsbaar dan lenshoogvenen voor slechte luchtkwaliteit en verdroging.

## Effecten klimaatverandering

### *Standplaatsfactoren*

Voor voedselarme venen en vochtige heiden is de verwachte toename van dynamiek in de hydrologie door toename van neerslag (behalve in het W+-scenario), nattere winters en droge, warme zomers relevant (G+- en W+-scenario's).

De vraag is welke veranderingen de door oppervlaktewater en kwelwater gevoede Beheertypen binnen laagveenmoerassen ondervinden door toename in de dynamiek van de waterspiegel. Momenteel hebben de meeste laagveenmoerassen een kunstmatig zomer- en winterpeil. De vraag is in hoeverre het peilbeheer afgestemd zal worden op de veranderende neerslagpatronen. Drijvende trilvenen zullen mogelijk meebewegen met het water. Als het water meer onder invloed van regenwater komt te staan dan leidt dit tot zuurdere omstandigheden, wat ongunstig uitpakt voor trilvenen.

Het is onzeker hoe de veranderingen in neerslag en temperatuur uitpakken op kwelstromen. Van belang is of de balans tussen toegenomen verdamping en evapotranspiratie (door hogere temperaturen) en toegenomen neerslag zodanig uitpakt dat de kwelstroom kan toenemen. Als de kwel niet toeneemt, is het risico van verdroging groot, vooral in de G+-en W+-scenario's. Wanneer bij verdroging (nog meer) gebiedsvreemd water wordt ingelaten om het waterpeil te beheren, dan vormt dat een extra risico vanwege de slechte kwaliteit die dat water veelal heeft. Het water is rijk aan nutriënten, wat ongunstig is voor de vegetaties die bestaan uit soorten van voedselarme omstandigheden.

Regenwaterafhankelijke systemen zijn erg gevoelig voor droogte. Hoogvenen zijn zeer gevoelig voor zomerdroogte en de vraag is of dit type zich kan handhaven in Nederland, 'vooral onder het W+- , maar ook onder het G+-scenario (in de +scenario's neemt de zomerneerslag met 9,5% (G+) en 19% (W+) af). Natte heiden zijn ook gevoelig voor droogte, maar iets minder dan hoogvenen. Vooral hoogveenvenen zijn gevoelig voor uitdroging.

Versterkte mineralisatie door hogere temperaturen in combinatie met droogte zijn ongunstig voor deze voedselarme typen. De dikte van de humuslaag of veenlaag is cruciaal in het vermogen van deze typen om water vast te houden en bepaalt in grote mate de gevoeligheid voor de effecten van droge zomers (Bijlsma et al., 2009a,b).

Zure, regenwaterafhankelijke, vennen zullen nog vaker droogvallen dan nu al het geval is en wellicht deels het karakter krijgen van vochtige heiden of pioniervegetaties van snavelbiezen (type 06.04). Voor grondwaterafhankelijke zwakgebufferde vennen is het risico van verdroging kleiner. Zie verder de hoofdstukken over de aquatische typen (hoofdstuk 2).

De toename van neerslag kan gunstig uitpakken voor de natte, regenwater afhankelijke typen, zoals hoogveen en natte heide. Ongunstige effecten treden op wanneer door invloed van oppervlakkige afstroming nutriënten aangevoerd worden uit aangrenzende landbouwgebieden.

Het totale oppervlakte van de gebieden van dit beheertype in Nederland is klein en de gebieden zijn versnipperd. De voorwaarde van goede waterkwaliteit en stabiele (hoge) waterstanden is gemakkelijker te bereiken in grotere dan in kleine gebieden. In grote gebieden is buffering tegen bijvoorbeeld vermesting, verdroging en verzuring beter te realiseren. De invloed van het beheer (ontwatering, invloed van nutriënten) van omliggende gebieden in een gebied is kleiner in grote gebieden.

### *Soortensamenstelling*

Veel Beheertypen van voedselarme venen en vochtige heiden hebben specialistische soorten die zijn aangepast aan het extreme milieu (zuur, voedselarm, nat). Deze soorten staan landelijk al geruime tijd onder zware druk van stikstofdepositie en verdroging. Bovendien hebben deze typen relatief veel soorten met een noordelijke verspreiding.

De Beheertypen van dit natuurtype vallen op door hun grote aandeel terugtrekkende soorten. Het aandeel uitbreidende soorten is bovendien klein. Het risico voor verarming van de biodiversiteit is groot en veranderingen in relaties tussen soorten en ecosysteemprocessen worden verwacht.

Natte heide en hoogveen zijn bovendien sterk versnipperde typen, wat de kans op extinctie na een ongunstig jaar versterkt en de kans op herstel verkleint. Populaties in kleine geïsoleerde gebieden produceren bovendien kleine aantallen individuen die voor kolonisatie kunnen zorgen wat de kans op herstel van lokale populaties en nieuwe koloniaties van het kleine aantal uitbreidende soorten beperkt. Ook de andere Beheertypen hebben kleine oppervlakten, zodat extinctiekansen groot zijn en koloniatiekansen door isolatie klein.

Veel beheertypen die tot dit natuurtype behoren zijn zeldzaam tot zeer zeldzaam in Nederland en Europa. Voor een aantal typen is Nederland ondanks de zeldzaamheid van de typen een belangrijk onderdeel van het voorkomen van de soorten die aan de typen gebonden zijn.

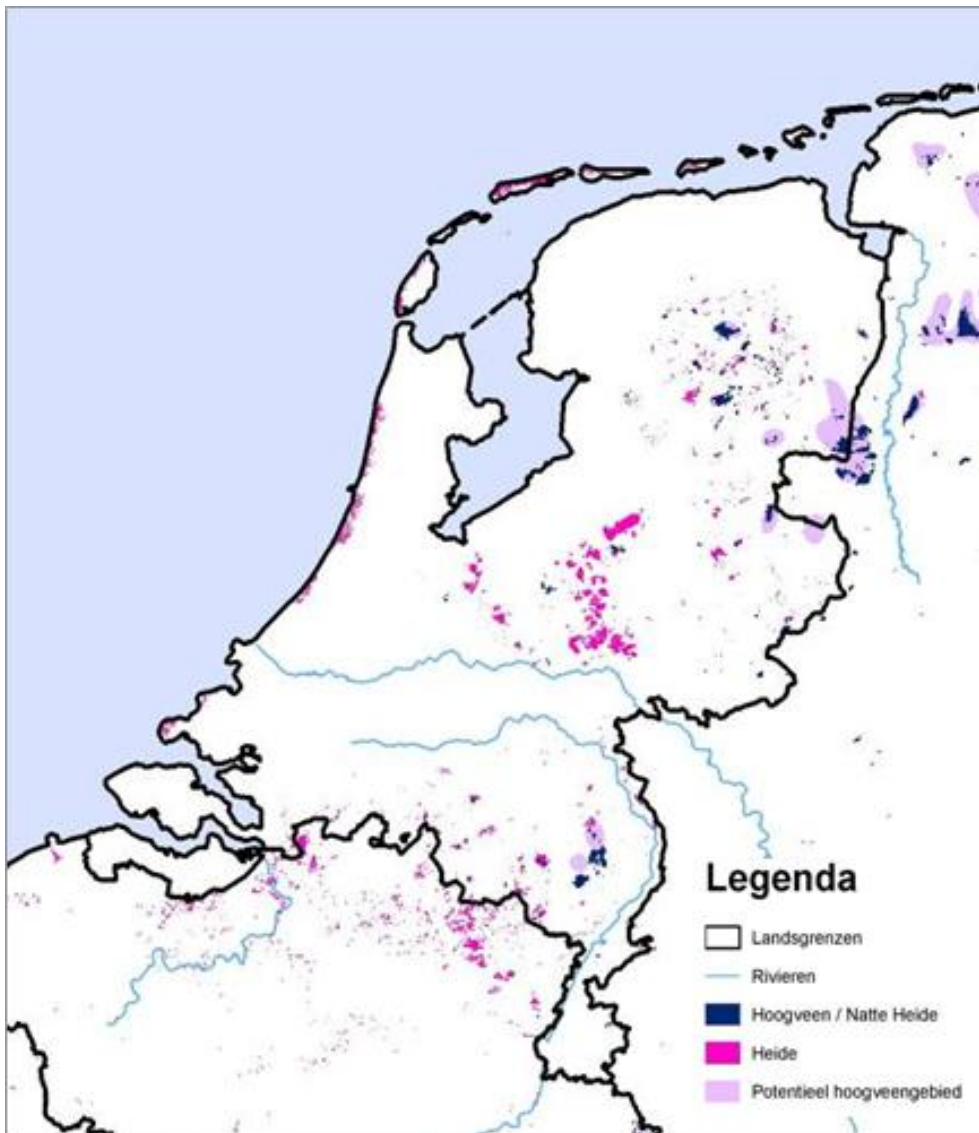
### **Adaptatiemogelijkheden**

Herstel van Beheertypen als hoogveen is onzeker, zeker onder klimaatverandering, omdat het lastig is de juiste hydrologische omstandigheden te herstellen. Voor herstel is een zeer stabiele waterstand, weinig verlies van water en een goede waterkwaliteit noodzakelijk. Klimaatverandering leidt tot sterkere variatie in waterstand, grotere kans op droge zomers (G+, W+) en ook versterkte eutrofiëring. Allen factoren die ongunstig voor het herstel van hoogveen, maar ook voor het voortbestaan van bestaande gebieden met dit beheertype. De toename van de jaarlijkse neerslag in een aantal scenario's heeft mogelijk een positieve invloed.

Ongeacht het klimaatscenario is het voor het voortbestaan van bestaande gebieden en de bijbehorende soorten in Nederland van belang deze gebieden te versterken: abiotische condities verbeteren, met name waterkwaliteit, een stabiel waterpeil en afname van de nutriëntendruk door bijvoorbeeld stikstofdepositie. Aan hoogveenherstel wordt o.a. al gewerkt in de Peel, het Bargerveen, Korenburgerveen en de Engbertsdijkvenen. Maatregelen om successie te vertragen zijn voor een aantal beheertypen noodzakelijk. Opties zijn begrazen, maaien of gericht hakken van bomen en struiken. Dat laatste helpt ook in de strijd tegen verhoogde evapotranspiratie en verdroging. Daarnaast zal er gezocht moeten worden naar mogelijkheden van vernieuwing van het successieproces. Dit is waarschijnlijk alleen mogelijk als het oppervlakte van de gebieden toeneemt. Ruimtelijk aansluiten bij bestaande gebieden is daarbij de beste optie.

Binnen grote gebieden is meer ruimte voor heterogeniteit en naast elkaar voorkomen van successiestadia van voedselarme venen en natte heide. Dit vergroot de veerkracht van deze gebieden en de kansen voor biodiversiteit. Hoe groot gebieden moeten zijn en hoe groot de heterogeniteit moet zijn om effectieve bescherming te bieden is nog niet bekend.

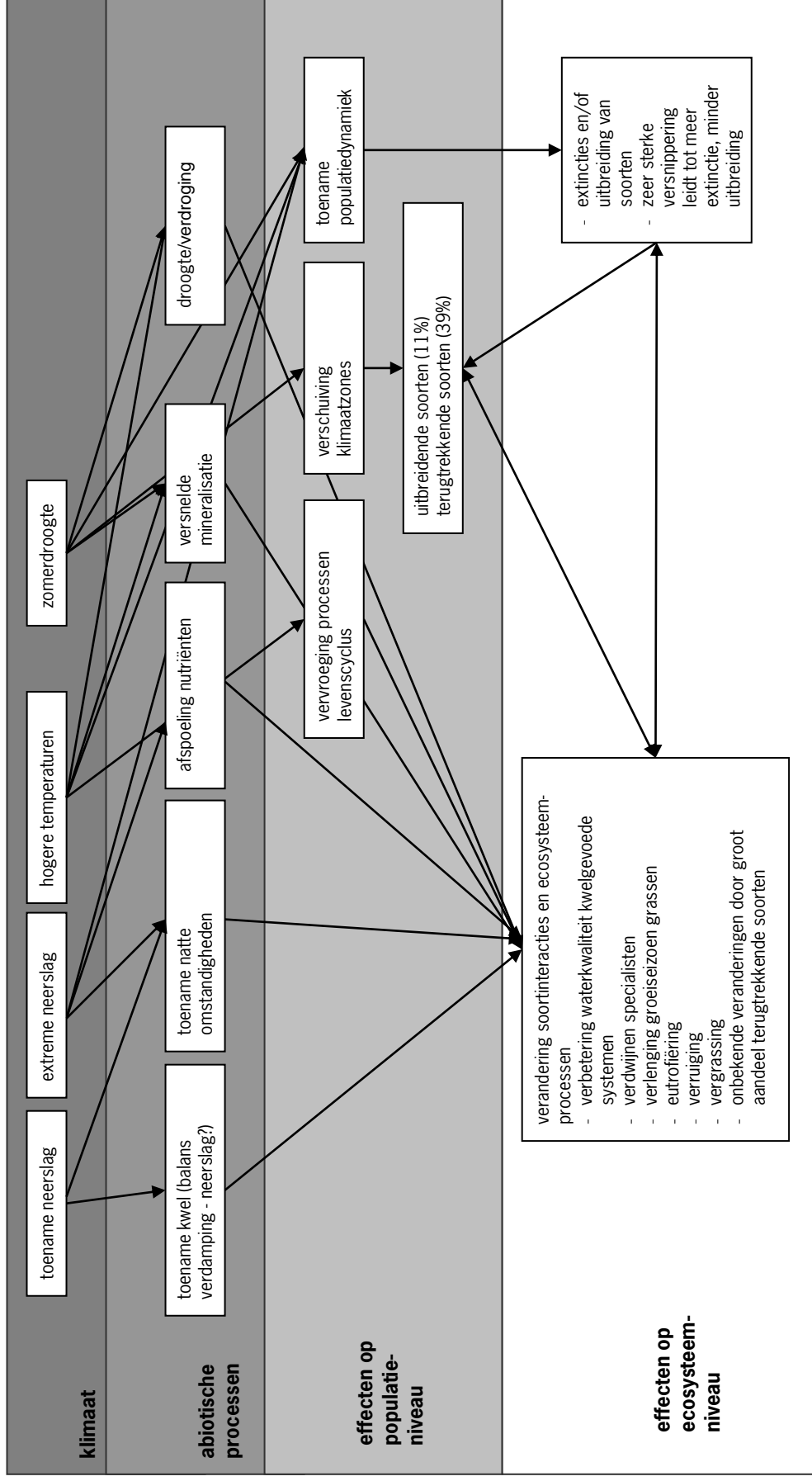
Uitbreidingsmogelijkheden van natte heide en hoogveen zijn echter beperkt. Natte pleistocene zandgronden bieden mogelijkheden voor natte heide, voor hoogveenontwikkeling zijn de randvoorwaarden strikter. Afgraven van veen en veranderingen in de hydrologie hebben de omstandigheden veranderd. Bodems zijn zodanig veranderd dat de specifieke randvoorwaarden voor ontwikkeling van nieuwe hoogveen en natte heide gebieden nog maar beperkt aanwezig zijn ontwikkelen (figuur 26).



**Figuur 26**

*Ligging van bestaande hoogveen en heidegebieden en van potentieel hoogveengebied in Nederland en grensgebieden (naar Geertsema et al., 2009).*

## Schema voedselarme vennen en vochtige heiden



### 3.4.4 N07 Droge heiden

#### Bestaande situatie

##### *Ecosysteempromessen, stressfactoren, beheer*

##### 07.01 Droge heide

Droge heide komt voor op voedselarme droge bodems. Door maaien, plaggen en gecontroleerd branden wordt dominantie van dwergstruiken, met name struikheide, in stand gehouden ('paarse heide'). Begrazing en het verwijderen van opslag voorkomen successie naar bossen. De balans tussen grassen en heide, begrazing van heide, verstuiwen van zand is kenmerkend voor droge heide.

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2310 Stufzandheiden met struikheide
- H2320 Binnenlandse kraaiheidebegroeiingen
- H4030 Droge heiden
- H5130 Jeneverbesstruwelen

##### 07.02 Zandverstuivingen

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2330 Zandverstuivingen

Zandverstuivingen worden gekarakteriseerd door kaal zand en pionierbegroeiingen.

#### Effecten klimaatverandering

##### *Standplaatsfactoren*

Droge heiden zijn grondwateronafhankelijk. Grote veranderingen zijn te verwachten door toenemende kans op droogte (bij W+- en G+-scenario's). De effecten zijn wel afhankelijk van het moment waarop droogte optreedt. Met name voorjaarsdroogte leidt tot sterfte van struikheide (Witte et al., 2009). De sterfte van vegetatie door droogte kan op stufzandbodems ook leiden tot meer kaal zand. Deze ontwikkelingen zijn gunstig voor zandverstuivingen en stufzandheide. Onduidelijk is, in hoeverre verstuiwing zal leiden tot meer heterogeniteit en gunstig uit zou kunnen pakken voor biodiversiteit. Naast verdroging leidt klimaatverandering tot sterkere groei door hoge CO<sub>2</sub>-concentraties en snellere afbraak van organisch materiaal door hogere temperaturen. De afbraak van organisch materiaal leidt tot beschikbaarheid van nutriënten. Samen met de al aanwezige eutrofiëring door N-depositie leiden deze processen tot gunstige omstandigheden voor de groei van grassen. In competitie met struikheide leidt dit tot verdere vergrassing van de heide. Hierin is N-depositie wel de belangrijkste bron van eutrofiëring. De omstandigheden leiden ook tot 'vermossing', vanwege profiterende mossen. De grondwaterstand in dit Beheertype is laag, toename van neerslag zal daardoor waarschijnlijk niet snel leiden tot meer beschikbaarheid van water in de wortelzone. Toch zal een bodem met een goede structuur en organisch materiaal langer water vast kunnen houden en profiteren van toename in neerslag. Onzeker is hoe dit uitpakt voor de heidevegetatie en bijbehorende fauna. Extreme neerslag kan leiden tot toestroom van nutriënten bij tijdelijke overstrooming.

##### *Soortensamenstelling*

Door het toenemen van droogte en warmte zullen zuidelijke soorten die aangepast zijn aan drogere en warmere omstandigheden mogelijk toenemen. Volgens de klimaatvelop-modellen zal het geschikte areaal van 18% van de doelsoorten van droge heide zich uit kunnen breiden, en ook voor 18% van de doelsoorten wordt verwacht dat het areaal zich terugtrekt. Bij zandverstuivingen liggen de getallen nog iets ongunstiger: 15% uitbreidend, 20% terugtrekkend. De vraag is of zuidelijke soorten zich daadwerkelijk zullen vestigen in Nederland en reeds aanwezige soorten zich kunnen uitbreiden. Onzeker is of de zure bodems geschikt zijn,



en bovendien is zeer onzeker of het verspreidingsvermogen van soorten voldoende is om nieuw leefgebied te bereiken.

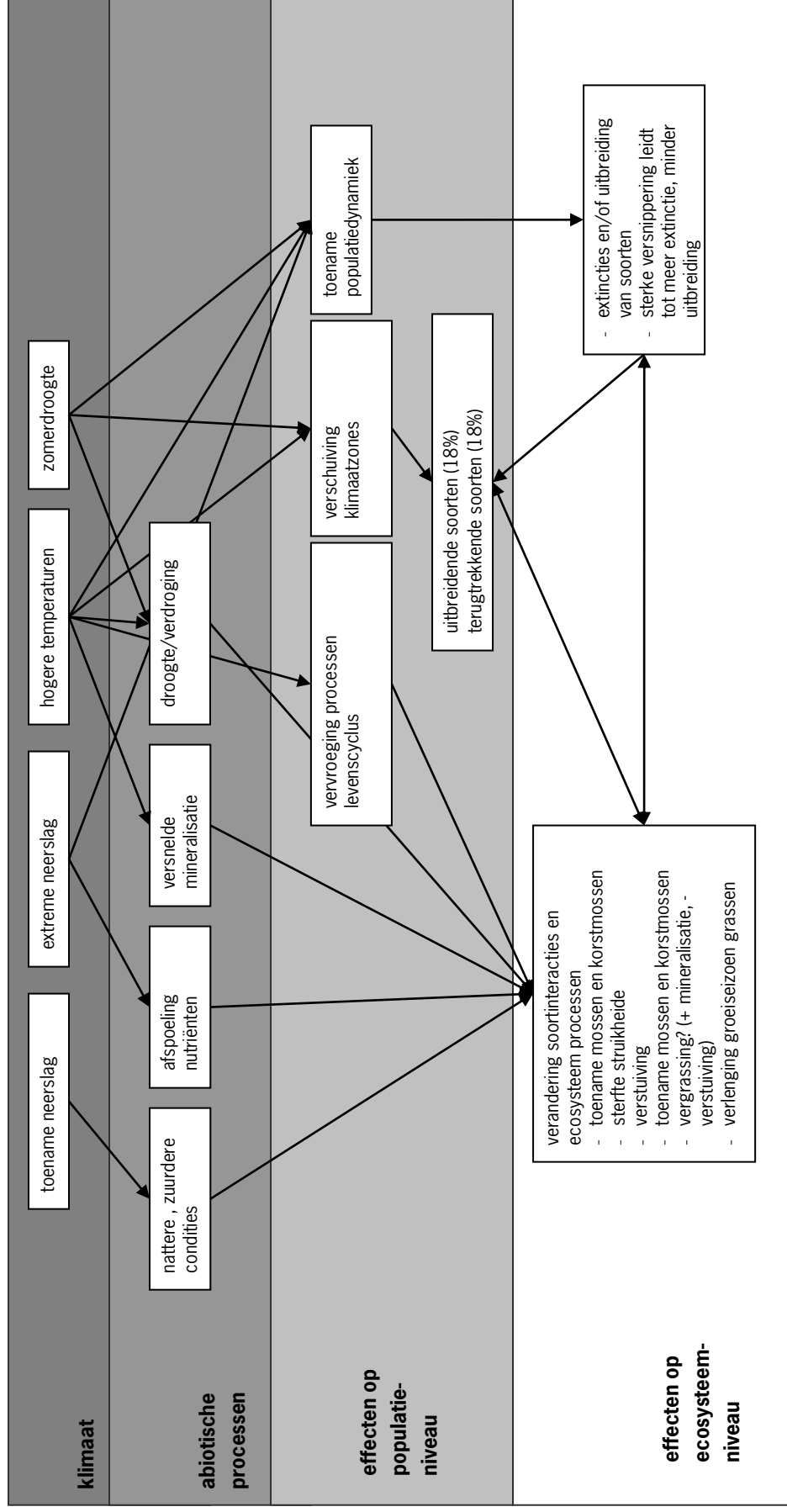
De heidegebieden en zandverstuivingen zijn gemiddeld over Nederland sterk versnipperd, daarom is het onzeker of de potentiële uitbreiding daadwerkelijk zal plaatsvinden (Vos et al., 2007). Bovendien liggen de heidegebieden in Zuidwest- en Midden-Europa geïsoleerd van die in Noord-Europa (Witte et al., 2009). Dit leidt tot problemen voor soorten die zich vanuit het zuiden zouden kunnen uitbreiden, omdat ze de heidegebieden in Nederland dan niet kunnen bereiken. Ook hier geldt dat de standplaatsfactoren van heidegebieden in Zuidwest- en Midden-Europa afwijken van die in Noord-Europa, zodat zuidelijke soorten lang niet altijd geschikte groeicondities aantreffen in Nederland.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Voor droge heide is het van belang dat de veerkracht van de gebieden versterkt wordt. Door langdurig plaggen en maaien is de veerkracht van droge heide sterk afgenomen. Plaggen en maaien is bedoeld om nutriënten af te voeren en successie terug te zetten, maar het beheer leidt ook tot het afvoeren van de humuslaag. Het huidige beheer voorkomt in feite vooral de ontwikkeling van een volwassen heidesysteem waarbij vegetatie en humusvorm in (dynamisch) evenwicht zijn met de werkzame verstoringregimes (begrazing, heidehaantjes, droogte, vorst) (Bijlsma et al., 2009b). Een dik humusprofiel draagt sterk bij aan het vochtbufferend vermogen en maakt heide daardoor veel minder gevoelig voor perioden met extreme droogte (Bijlsma et al., 2009a,b). Een dikke humuslaag verhoogt dus de veerkracht van droge heide.

Veerkracht van droge heide kan versterkt worden door het extensiveren van het huidige beheer en het creëren van grotere interne heterogeniteit en grotere gebieden. Op deze manier kunnen de gunstige effecten optreden, terwijl door vergroten van gebieden de extinctiekansen bij extreme weersomstandigheden in ieder geval niet groter worden dan in de huidige situatie in dit versnipperde systeem. Extensiever beheer laat ruimte voor cycli van natuurlijke verjonging en sterfte in heidevegetaties. Belangrijk is dat ook oude heide de kans krijgt tot ontwikkeling te komen. Oude heide is minder gevoelig voor weersextremen, en vormt het habitat voor karakteristieke soorten die in jonge heide niet voorkomen (Bijlsma et al., 2009b). Het is onzeker hoe vanuit de huidige situatie (heide op minerale grond) oude heide zich kan ontwikkelen. Mogelijk is begrazing door runderen een oplossing bij een vergraste, uniforme uitgangssituatie (Bokdam, 2003). Voor de ontwikkeling van verschillende vormen van heide kan gebruik gemaakt worden van de variatie in bodem en terrein. Bij heideontwikkeling kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van variatie in bodemvruchtbaarheid tussen bossen en (oude, extensieve) cultuurgrond.

## Schema droge heide



### 3.4.5 N08 Open duinen

#### Bestaande situatie

*Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

##### 08.01 Strand en embryonaal duin

Strand en embryonaal duin bestaan uit stranden, strandplaten en jonge duinen. Ze kunnen nat of droog zijn. De begroeiing is schaars of helemaal afwezig. De invloed van wind, zout zeewater, saltspray en sandspray (stuivend zand) houdt de plantengroei zeer open en schaars. Het beheertype staat aan het begin van successie in de duinen. Factoren die de biodiversiteit bedreigen zijn hoge recreatiedruk, kustverdediging en beperkte ruimte voor natuurlijke processen.

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2110 Embryonale duinen
- H1210 Vegetatie van vloedmerken (niet genoemd in de vertaaltabel (Siebel en Schipper, 2008))

Dit habitatype is van belang als voorloper van het habitatype H2110 (Embryonale duinen), waarvoor wel gebieden in Nederland zijn aangewezen. Voor H1210 zijn echter geen gebieden aangewezen.

##### 08.02 Open duin

Open duin bestaat uit een afwisseling van stuivend zand, duingrasland, helmduinen en struweel. Het bevat structuurrijke begroeiingen, maar ook onbegroeide delen van de zeeduinen. Door wind, ontkalking (door neerslag), begrazing, humusvorming, afslag en aangroei van de zee en saltspray ontstaat variatie. Saltspray en sandspray (stuivend zand) zijn belangrijke factoren die zorgen voor de openheid van de duinen. Bedreigingen zijn luchtvervuiling, verminderde begrazing door afname in de konijnenstand en verminderde verstuuving. Ook kustverdediging kan zeer nadelige effecten hebben, ook bij de meer ecologische verantwoorde zandsuppletie. Al deze bedreigingen hebben geleid tot vergrassing, verruiging en toename van struwelen van de open duinen en afname van de biodiversiteit. Enkele invasieve exotische struiken dragen bij aan de toename van de bedekking door struiken: *Rosa rugosa*, *Prunus serotina* en *Pinus nigra*.

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2120 'Witte duinen'
- H2130 'Grijze duinen'
- H2160 Duindoornstruwelen

##### 08.03 Vochtige duinvallei

Vochtige duinvalleien bestaan uit in het duin- en kustgebied gelegen vochtige tot natte laagten. Ze bevatten open, voedselarm water of vochtige delen van drooggevalen zandplaten. De vegetatie kent veel variatie van lage pionierbegroeiingen tot zeggenvetaties en kruipwilgstruweel. Ook zoet open water komt voor. Veel valleien ontstaan door het uitstuiven van duinen tot het grondwater. De valleien staan dan ook vaak onder invloed van zoet grondwater. Door zee- inbraken of verdroging van het duinmassief bij een kustafslag kan de ontwikkeling van een natte duinvallei afgebroken worden. Verjonging van de duinen door erosie- en sedimentatieprocessen is cruciaal voor het behoud van de pionierstadia. Ontginning, bebossing, eutrofiëring en verdroging door waterwinning vormen belangrijke bedreigingen. Door kustuitbreiding kan het zandmassief meer water bevatten, wat kan leiden tot vernatting, of zelfs tot verdrinken van valleien.

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2170 Kruipwilgstruwelen
- H2190\* Vochtige duinvalleien
- H2140A Duinheide met kraaihei, vochtig

#### 08.04 Duinheide

Duinheide omvat droge tot natte heiden in de zeeduin. Duinheide ontwikkelt zich op ontcalcite bodems met een humuslaag. De variatie is groot, bijvoorbeeld tussen noord- en zuidhellingen van duinen. Vochtige vormen ontwikkelen zich uit (zure) duinvalleien, droge uit duingrasland. Duinheide blijft open en soortenrijk door begrazing. Bedreigingen zijn eutrofiëring en verstruweling, onder andere door invasieve exotische struiken:

*Rosa rugosa*, *Prunus serotina* en *Pinus nigra*.

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H2140\* Duinheiden met kraaihei
- H2150 Duinheiden met struikhei

#### **Effecten klimaatverandering:**

##### *Standplaatsfactoren*

De effecten van klimaatverandering voor de Beheertypen van open duin hangen af van menselijk ingrijpen. Daarnaast verschillen die effecten tussen Beheertypen die aan de zee- en landzijde van de kust liggen. Zeespiegelstijging leidt tot afslag van duinen aan zeezijde, waardoor minder strand beschikbaar is. De afslag speelt reeds lange tijd en wordt momenteel gecompenseerd door het aanvullen van het strand en de duinen met zand uit diepere delen van de Noordzee. Door deze voortdurende zandsuppleties wordt steeds grover zand aangevoerd (Roos et al., 2004). Dit heeft gevolgen voor de biodiversiteit: diverse soorten schelpdieren, wormen en kreeftachtigen kunnen tijdelijk verdwijnen. Herstel is mogelijk, maar daar is tijd voor nodig. Daarom moeten suppleties gefaseerd in ruimte en tijd worden uitgevoerd. Voor planten is het moeilijker wortelen in het grove zand (Roos et al., 2004).

De toegenomen kans op zomerdroogte (met name in het W+-scenario) leidt tot toename van het vochttekort bij de duingraslanden en droge duinheide. Dit kan leiden tot sterfte van planten en tot toename van dynamiek en verstuiving van zand. Deze ontwikkeling stimuleert de dynamiek in de duinen wat gunstig is voor de variatie en kansen voor biodiversiteit. Grazige en soortenrijke duingraslanden zullen zich echter sterker terugtrekken op beschutte noordhellingen. Ook is een nadelig gevolg van sterfte van planten dat het leidt tot eutrofiëring en verruiging, Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) is een soort die hiervan profiteert.

Klimaatverandering leidt door toename van neerslag (met name W-scenario) tot toename van de grondwateraanvulling in inzigingsgebieden wat mogelijk leidt tot sterkere kwel. De voorjaarsgrondwaterstand zal naar verwachting stijgen. De kwel naar duinvalleien zal gemiddeld mogelijk iets gaan stijgen, waarmee de invloed van baserijk grondwater toeneemt (Witte et al., 2009). Indien de stijging van het grondwater niveau te snel gaat, kan dit leiden tot verdrinking van valleien, wat leidt tot sterfte van planten. Dit heeft eutrofiëring en verruiging tot gevolg.

Voor grotere duinvalleigebieden zullen deze veranderingen gunstig uitpakken, mits overtollig oppervlaktewater kan worden afgevoerd. Is het systeem te klein, en de intensiteit van de kwel in de zomer te laag, dan zal de grondwaterstand in de zomer diep weg kunnen zakken. Dit is fataal voor plantensoorten die afhankelijk zijn van vochtige omstandigheden (Witte et al., 2009).

Op lange termijn leidt de zeespiegelstijging tot versterkte kweldruk die problematisch kan worden. Door zeespiegelstijging dringt er ondergronds meer zout water de duinen in. Dit zoute water duwt de zoetwaterbel onder het duinmassief omhoog. Dit leidt tot meer mogelijkheden voor de ontwikkeling van natte duinvalleien. De opwaartse druk op het grondwater kan echter zo sterk zijn, dat de valleien onder water komen te staan (Roos et al., 2004; Witte et al., 2009). Dit proces kan funest zijn voor de vele soorten die gebonden zijn aan de zomers droogvallende duinvalleien. Veranderingen in de zoetwaterbel verlopen echter traag (Witte et al., 2009).

Op Ameland wordt meerjarig veldonderzoek gedaan om de effecten van bodemdaling te kunnen bestuderen. Dit staat in feite model voor het effect van zeespiegelstijging. Hieruit kwam naar voren dat de waterstand in kleine duinvalleien niet zo zeer door bodemdaling worden beïnvloed, maar door zeer natte jaren (persoonlijke mededeling Pieter Slim, Alterra; zie ook [www.opgewarmdederland.nl](http://www.opgewarmdederland.nl))

### *Soortensamenstelling*

Uitgezonderd de open duinen, hebben de andere Beheertypen een flink groter aandeel terugtrekkende dan uitbreidende soorten. De duinen hebben over het algemeen een goede ruimtelijke kwaliteit, waardoor verschuiven van soorten langs de kust mogelijk is. Ook kunnen ze zo de aantalsschommelingen van populaties door weersextremen redelijk opvangen (Vonk et al., 2010). Voor soorten die gebonden zijn aan duinvalleien geldt dat de ruimtelijke kwaliteit een stuk minder is. Langs de Hollandse vastelandskust is die kwaliteit beperkt door onderbrekingen.

### **Adaptatiemogelijkheden**

De ruimtelijke kwaliteit van open duinen is redelijk goed, maar kan beter. De aaneengesloten kuststrook kan een belangrijke bijdrage leveren aan het verschuiven van soorten naar het noorden.

Een groot deel van de vastlandsduinen is waterwingebied. Waterwinning is één van de oorzaken van verdroging. Aandachtspunt is daarom de achteruitgang van de kwaliteit van de standplaatsen door verdroging. Overigens komen er wel veel rode lijstsoorten voor in de duinen.

Om kustafslag te voorkomen blijft zandsuppletie nodig. Voor behoud van veiligheid en ecologische kwaliteit is deze maatregel beter dan het gangbare starre kustbeheer. Als techniek kan waarschijnlijk het best gewerkt worden met een zogenaamde zandmotor: een grote hoeveelheid zand die wordt aangebracht voor de kust. Door wind, golven en zeestroming wordt de kust met dit zand gevoed. Dit levert een bijdrage aan de kustveiligheid op lange termijn en er is meer ruimte voor natuur en recreatie. Verschillende aspecten (natuur, recreatie, veiligheid, enz.) van zandsuppletie worden momenteel onderzocht in het *Building with Nature*-project. Ruimte geven aan natuurlijke dynamiek vergroot de heterogeniteit en veerkracht van de duinen en daarmee de opbouw van de zeereep: de natuurlijke verdediging tegen de zee. Wanneer de duinen aan de landzijde worden vergroot, leidt dit tot grotere veiligheid en tot meer ruimte voor dynamische processen.

## **3.4.6 N09 Schorren of kwelders**

### **Bestaande situatie**

#### *Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

##### 09.01 Schor of kwelder

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H1310A Zilte pionierbegroeiingen, zeekraal
- H1310B Zilte pionierbegroeiingen, zeevetmuur
- H1320 Slijkgrasvelden
- H1330A Schorren en zilte graslanden, buitendijks

Schor of kwelder zijn verschillende benamingen voor hetzelfde beheertype: schor in Zuidwest-Nederland, kwelder in Noord-Nederland. Ze zijn buitendijks gelegen, of minder frequent binnendijks. Ze zijn begroeid met zoutminnende en zouttolerante vegetaties die twee maal per etmaal, of af en toe, overstroomd worden door zeewater. De vegetaties bestaan uit pioniergemeenschappen, graslanden en ruigten. Naast de invloed van zee speelt ook de invloed van rivieren een belangrijke rol (Eems, Dollard, Westerschelde). Begrazing en overstroming met sedimentatie van zand en slib zorgen ervoor dat de drogere delen van schorren en kwelders niet door ruigten worden overgenomen. Landaanwinning, ontginning en afsluitingen of afdammingen van zeegaten hebben tot een enorme afname van het areaal geleid (o.a. Zuiderzee). Herstel van natuurlijke erosie en sedimentatie is van belang, zodat oudere, soortenarme stadia weer afnemen en jonge stadia kunnen toenemen.

### Zandsuppletie en Habitattypen van Zee en Wad

Zandsuppleties hebben invloed op kusthabitats, maar ook op de habitats in zee, waar het zand vandaan komt. Het betreft de volgende habitattypen van kusthabitats en halofytenvegetaties:

- H1110 Permanent overstromde zandbanken
- H1130 Estuaria
- H1140 Slik- en zandplaten
- H1160 Grote baaien

Voor deze habitattypen zijn gebieden langs de Nederlandse kust aangewezen, zowel langs de Noordzee-kust als de Waddenkust. In feite zijn het marine typen, die buiten de scope van dit rapport vallen. We noemen ze hier, vanwege de enorme impact van de zandsuppletie. Ook hier is gefaseerd - in ruimte en tijd - afvoeren van zand van belang om herstel een kans te geven.

## **Effecten klimaatverandering**

### *Standplaatsfactoren*

Winderosie en sterkere golven veroorzaken het ontstaan van kliffen en slaan kwelders plaatselijk af. Zeespiegelstijging vormt een bedreiging voor ecosystemen zoals schorren en kwelders. Echter, bij elk hoogwater wordt de getijdenzone langer overspoeld, net zoals nu de delen van de kwelders en schorren die het laagste liggen, langer overspoeld worden dan de hogere delen. Bij klimaatverandering blijft het getij wel even lang duren, maar er is voor diepere delen meer tijd voor het sediment om te bezinken. Dit leidt dus tot een grotere opslibbingssnelheid. Deze terugkoppeling leidt ertoe dat kwelders niet sterk bedreigd worden door een hogere zeespiegel (Roos et al., 2004; Vonk et al., 2010). De aanwas door sedimentatie compenseert de versterkte erosie door de zee. Aandachtspunt is wel dat er voldoende ruimte is voor sedimentatie: is het bijvoorbeeld nodig dat de kustlijn zich terugtrekt? Schorren die onder invloed van riviermondingen staan hebben wellicht baat bij toegenomen dynamiek in de rivieren.

### *Soortensamenstelling*

Het aandeel doelsoorten van Schorren en kwelders waarvoor wordt verwacht dat het geschikte klimaat zich uitbreidt (33%) is een stuk hoger dan het aandeel uitbreidende soorten (13%). De doelsoorten waar deze getallen betrekking op hebben zijn vogels en hogere planten. De uitbreidende soorten bestaan vooral uit hogere planten, de enige uitbreidende vogelsoort is de Kleine zilverreiger. De directe gevolgen van temperatuurstijging op de begroeiing worden geïllustreerd door Zoutmelde. Zoutmelde kan beter overleven bij zachtere winters. De plant sterft af door vorst. Bij uitblijven van vorst kan zoutmelde zich beter handhaven en uitbreiden (Roos et al., 2004). Een andere uitbreidende soort is Slijkgras (invasieve exoot), een C4-plant die ook profiteert van de hogere temperaturen. Verarming van de biodiversiteit en verlies van interacties tussen soorten ligt voor de hand wanneer we naar de verwachte verschuivingen van soorten kijken. Voor planten wordt verwacht dat de diversiteit iets zal toenemen (Roos et al., 2004).

Het algemene beeld tot nu toe in het veld is dat er meer soorten vanuit zuidelijke gebieden zich in het Nederlandse kustgebied uitbreiden dan dat er noordelijke soorten verdwenen zijn.

De variatie in verwachtingen en waarnemingen voor de doelsoorten zit hem mogelijk in het feit dat doelsoorten per definitie alleen uit soorten bestaan die al langere tijd in Nederland voorkomen en relatief vaker achteruit gaan dan de totale soortensamenstelling van de beheertypen. Het is mogelijk dat er op termijn soorten bij komen en dat het proces van uitbreiden voorloopt op het proces van verdwijnen. Ook is het mogelijk dat door heterogeniteit in groeicondities en microklimaat in kustgebieden veel soorten toch kunnen overleven, terwijl op basis van klimaatontwikkelingsmodellen voorspeld wordt dat het geschikte klimaat zich terugtrekt.

De hogere zeewatertemperatuur heeft ook effect op de voortplanting van schelpdieren, de belangrijkste voedselbron voor veel vogelsoorten. Zo legt het nonnetje eitjes bij precies 8 °C. Door gestegen temperatuur van het zeewater, gebeurt dat eerder in het jaar. De larven van het nonnetje leven van algen, maar geschikt algenvoedsel is op dat moment nog niet voldoende aanwezig. Het gevolg is dat de larven van de schelpdieren minder goed groeien. Een andere soortgroep die reageert op temperatuurstijging zijn garnalen. Zij kunnen eerder de zandplaten op en zullen waarschijnlijk ook meer jonge stadia van nonnetjes eten.

In de warmere wateren kunnen ook exoten die bijvoorbeeld via de scheepvaart (ballastwater) in West-Europese wateren terecht zijn gekomen overleven en uitbreiden. Een voorbeeld van een exoot die negatieve invloed op inheemse soorten heeft, is de Japanse oester. Deze soort is geïntroduceerd voor de oesterteelt. Mosselen en kokkels worden door deze exoot weggeconcentreerd, waardoor het voedselaanbod van schelpenetende vogels verder afneemt.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Voor adaptatie voor kwelders en schorren liggen kansen door het meer toelaten van natuurlijke dynamiek, omdat gebleken is dat dat ook gunstig is voor de kustbescherming. Kwelderontwikkeling voor de kust is mogelijk door sediment vast te houden met dammen van rijshout en begreppeling. Kwelderontwikkeling is een maatregel die ingezet kan worden als compensatie voor kwelderverlies elders. Kwelders gelegen voor een dijk zorgen er voor dat golven een deel van hun energie al verloren zijn als ze bij de dijk aanlopen (Hofstede, 2003). Op die manier draagt kwelderontwikkeling bij aan kustbescherming en biodiversiteit (Doody et al., 2004).

Een alternatief voor kwelderontwikkeling buitendijks is ontpoldering. Hierbij wordt een kwelder ontwikkeld op het vaste land. Opslibbing van ontpolderde gebieden leidt tot verbetering van de veiligheid en biedt compensatie voor kwelders die verloren gaan door zeespiegelstijging (Gardiner et al., 2007).

## **3.4.7 N10 Vochtige schraalgraslanden**

### **Bestaande situatie**

*Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

#### 10.01 Nat schraalland

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H6410 Blauwgraslanden
- H7140A Overgangs- en trilvenen, trilvenen
- H7230 Kalkmoerassen
- H6230 Heischrale graslanden

Nat schraalland omvat voedselarme zeer soortenrijke graslanden op natte, slappe bodems. 's Winters staan ze onder water, 's zomers drogen ze oppervlakkig uit (geldt overigens niet voor de drijvende trilvenen). De variatie in de graslanden is groot. Blauwgraslanden en kleine zeggenvegetaties worden tot nat schraalland gerekend. Hiermee in mozaiek voorkomende dotterbloemhooilanden en veldrusschraallanden worden ook tot nat schraalland gerekend.

De schraallanden staan onder invloed van grond- en oppervlaktewater. Kleine gradiënten in het vochtgehalte zijn belangrijk voor de biodiversiteit. De bodems zijn matig zuur. Omdat de graslanden vaak zeer gevoelig zijn voor verdere verzuring, is aanwezigheid van bufferstoffen nodig. Jaarlijks hooien is nodig om het voedselarme karakter te bewaren, dan wel om verbossing te voorkomen (bijvoorbeeld bij trilvenen). Verdroging, verzuring en vermesting vormen belangrijke bedreigingen.

## 10.02 Vochtig hooiland

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H6510B Glanshaver- en vossenstaarthooiden, grote vossenstaart

Vochtig hooiland is iets productiever dan nat schraalland, en de bodems zijn stevig. Het bestaat uit soortenrijke graslanden. Ze komen voor op natte veen- en kleibodems (o.a. beekdalen, langs rivieren) De hooilanden worden vrijwel jaarlijks overstroomd door oppervlaktewater, staan onder invloed van kwelwater of liggen op een bodem met een hoog gemiddeld waterpeil. Vochtige hooilanden worden jaarlijks gehooit, eventueel met nabegrazing. Ontginning, ontwatering en bemesting hebben ertoe geleid dat dit beheertype zeldzaam is geworden.

### **Effecten klimaatverandering**

#### *Standplaatsfactoren*

Wanneer graslanden onder invloed van kwel staan, en deze gaat toenemen (door toegenomen neerslag en minder verdamping), is dit gunstig voor de abiotische kwaliteit van vochtige graslanden. Ook toename van de (winter)neerslag is gunstig voor deze graslanden. Stijging van de gemiddelde temperatuur heeft echter negatieve gevolgen door toename van C4-grassen, mineralisatie en verzuuring.

Nat schraalland komt voor in kleine reservaten is daarom zeer gevoelig voor ingrepen in de omgeving. Vooral in kleine reservaten is het risico op uitdroging in de zomer groot.

De kans op negatieve gevolgen door droogte voor dit beheertype is groot door frequenter optreden van voorjaars en zomerdroogte en de toegenomen temperaturen. Ook de maatregel om gebiedsvreemd water in te laten ter compensatie van droogte is ongunstig. Juist in perioden van droogte is de kwaliteit van dit water vaak niet erg hoog. Het is nutriëntenrijk en daardoor niet gunstig voor de plantensoorten die juist in schrale omstandigheden zich kunnen handhaven.

#### *Soortensamenstelling*

Uit klimaatvelop-modellen blijkt dat het aandeel terugtrekkende soorten aanmerkelijk groter is dan het aandeel uitbreidende soorten. Een andere studie laat echter zien dat de soortensamenstelling van vochtige schraallanden in beekdalen in Frankrijk niet veel afwijkt van die in Nederland (Van Walsum et al., 2002). Het is dus onduidelijk hoe de soortensamenstelling in dit beheertype zich in de toekomst zal ontwikkelen. Mochten soorten uit het zuiden zich uitbreiden dan zal het huidige verspreidingsgebied wel voldoende met het toekomstige verbonden moeten zijn.

### **Adaptatiemogelijkheden**

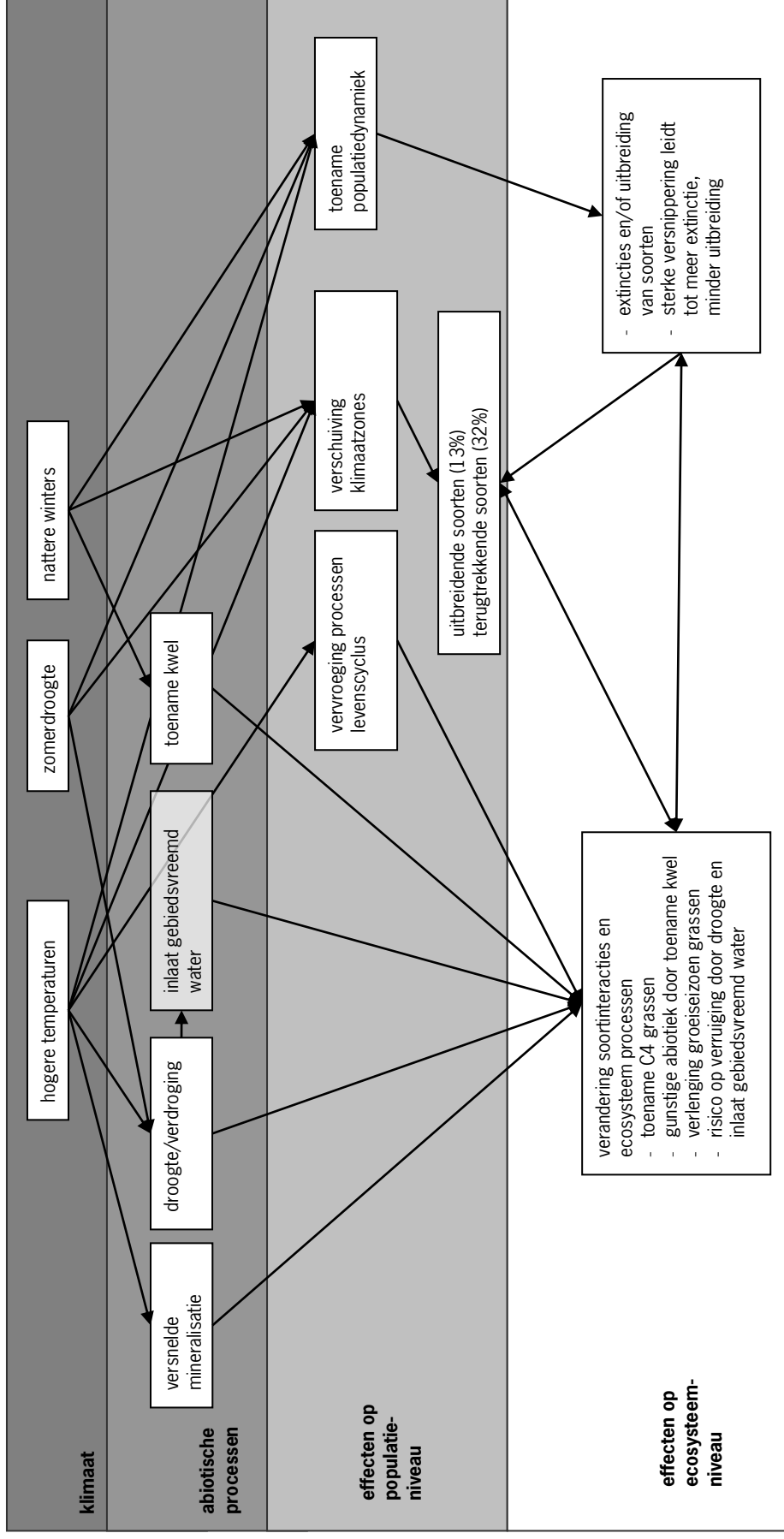
Momenteel staan deze graslanden vaak onder invloed van actief peilbeheer. Inlaat van gebiedsvreemd water bij droogte is echter niet altijd gunstig. Wanneer dit water van slechte (= nutriëntenrijke) kwaliteit is, dan is dit ongunstig voor de vegetatie. Maatregelen om de kwaliteit te verbeteren kunnen hierbij ingezet worden om de nadelen te verminderen, bijvoorbeeld door op natuurlijke waterzuivering door helefytenfilters of natuurlijke oevers in te zetten.

Adaptatiemogelijkheden bestaan uit robuuster maken van het hydrologische systeem door grotere gebieden, creëren van heterogeniteit, invloed van buitenaf (bijvoorbeeld ontwatering) verkleinen.

Veel (planten)soorten van natte graslanden kunnen zich via water verspreiden, wat in potentie over grote afstanden kan plaatsvinden. De vraag is hoe het met de dispersiecapaciteit van de bijbehorende (nieuwe) fauna zit.



## Schema vochtige schraalgraslanden



### 3.4.8 N11 Droge schraalgraslanden

#### Bestaande situatie

*Ecosysteempromessen, stressfactoren, beheer*

##### 11.01 Droog schraalland

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H6210 Kalkgraslanden
- H6110 Pionierbegroeiingen op rotsbodems (in NL?)
- H6230 Heischrale graslanden
- H6120 Stroomdalgraslanden
- H5130 Jeneverbesstruwelen
- H6130 Zinkweiden

Droog schraalland omvat open, droge, laagproductieve, kruidenrijke grazige vegetaties op droge lemige zandgronden, rivierduinen en op löss en kalkbodems. De Natura 2000-habitattypen die volgens de Index NL (Schipper en Siebel, 2008) gerelateerd zijn aan dit beheertype zijn zeer gevarieerd: zowel de Kalkgraslanden op kalkbodems als heischrale graslanden die nog enige zuur-buffering hebben behoren tot dit type, evenals andere droge graslanden van droge zandgronden die op zeer zure bodems groeien, waaronder Jeneverbesstruwelen (vroeger ook wel op kalkrijke standplaatsen).

Het grasland is afhankelijk van voldoende basenrijkdom. Deze wordt vaak via de bodem (o.a. door niet verzuurd zand uit de ondergrond), soms via water (bij kort overstromingen) of sedimentatie van vers zand aangevoerd. Ook mieren en mollen kunnen een rol spelen door niet uitgelooft zand naar de oppervlakte te brengen. Droog schraalland is op zeer arme zandgronden vaak aanwezig langs paden of vormt een overgang tussen heide en vochtig hooiland. Op lemige zandbodems en op rivierduinen kan droog schraalland op grotere oppervlakten voorkomen. In Zuid-Limburg gaat het om hellinggraslanden, waarin zowel heischrale graslanden als kalkgraslanden voorkomen. Er zijn vaak gradiënten aanwezig in basenrijkdom of vocht, die voor overgangen naar andere graslanden of heiden zorgen. Vermesting door stikstofdepositie is een belangrijke bedreiging. Bij achterwege blijven van een adequaat beheer kunnen algemene grassen de doelsoorten verdringen, een proces dat door stikstofdepositie versneld wordt. De graslanden kennen een lange historie van begrazing.

#### Effecten klimaatverandering

##### *Standplaatsfactoren*

Toegenomen droogtes in de zomer (met name W+-scenario) leidt tot verder wegzakken van de grondwaterstand. Dit is gunstig voor droogteresistente soorten. De vraag is wat er gebeurt met de natuurlijke verzuring van de bovengrond.

De verwachting is dat de potentie voor droge graslanden zal toenemen, omdat ook andere, vochtiger graslanden met droogte te maken krijgen.

Oppervlakkige afspoeling van nutriënten door extreme regenbuien is een bron van extra nutriënten voor kalkgraslanden (Vos et al., 2007). De verwachting is dat dit ongunstig is voor de diversiteit van planten in droge schrale graslanden, omdat enkele soorten sterk profiteren van de extra nutriënten en soorten die aan voedselarme omstandigheden wegconcurreren. Tegelijkertijd kan droogte juist de groei van dergelijke soorten afremmen. Hoe dit precies uitpakt, hangt af van het voorkomen van droogte en extreme regenval, van de frequentie en het seizoen waarin het optreedt. Inzicht in de gevoeligheid van individuele plantensoorten voor extra nutriënten en voor droogte is experimenteel vast te stellen. Onder veldomstandigheden spelen allerlei andere variabelen mee, zoals concurrentie met andere planten, aanwezigheid van herbivoren en bestuivers, ruimte om te kiemen, enz.

Momenteel liggen de droge graslanden vooral op hogere zandgronden, maar een uitbreiding richting klei en zavelgronden is te verwachten. Deze bodems zijn echter wel voedselrijker, dus er kan een ander, wellicht nieuw type vegetatie verwacht worden. Onzeker is welke planten- en diersoorten zich hier kunnen vestigen. De bereikbaarheid zal als een trechter voor de soortensamenstelling fungeren. Het risico bestaat dat alleen algemeen voorkomende soorten zich zullen vestigen, soorten die zich gemakkelijk verspreiden of die een brede ecologische amplitude hebben. Voor het behoud van biodiversiteit zullen dergelijke graslanden dus mogelijk niet veel bijdragen.

#### *Soortensamenstelling*

Het aandeel uitbreidende doelsoorten is groter (23%) dan het aandeel terugtrekkende soorten (14%). Uitbreiding met nieuwe plantensoorten is te verwachten vanuit de droogte- en warmteminnende Midden-Europese stroomdalvegetaties.

Dit beheertype is sterk versnipperd, leidend tot een vrij grote extinctiekans door kleine oppervlakten. Ondanks relatief veel uitbreidende soorten zijn kolonisatiekansen klein door isolatie van gebieden.

#### **Adaptatiemogelijkheden**

Klimaatverandering kan gunstig uitpakken voor dit beheertype. Dat blijkt ook uit het aandeel doelsoorten met een uitbreidende geschikte klimaatzone. De vraag is wel in hoeverre de dispersiecapaciteit van de bijbehorende (nieuwe) flora en fauna zit. Kunnen de kansen op uitbreiding van droge graslanden, omgezet worden in graslanden met waarde voor behoud of ontwikkeling van de biodiversiteit? Afhankelijk daarvan kan het beheertype geholpen zijn met extra verbindingen en stapstenen om kolonisatie van de nieuwe plekken mogelijk te maken.

Relatief veel plantensoorten van dit beheertype kunnen zich slecht verspreiden, daarom is inzetten op behoud en versterken van de veerkracht van bestaande gebieden ook cruciaal voor dit beheertype.

### **3.4.9 N12 Rijke graslanden en akkers**

#### **Bestaande situatie**

##### *Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

##### 12.01 Bloemdijk

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H6510A Glanshaver- en vossenstaartheilanden, glanshaver

Bloemdijk is een beheertype dat voorkomt op oude dijken die betaan uit kalkhoudende zandige klei. Het bestaat uit kruidenrijke, min of meer schrale graslanden. Ze worden vaak extensief begraasd of gehoid. Dijkverzwarings en intensiever beheer vormen bedreigingen.

##### 12.02 Kruiden- en faunarijk grasland

Kruiden- en faunarijk grasland bestaat uit soortenrijke graslanden, die niet tot de andere (schralere) graslandtypen te rekenen zijn. Het kan op diverse bodems van vochtig tot droog voorkomen en heeft een matig voedselrijk karakter. Het grasland wordt begraasd of gehoid. Bemesting en opnieuw inzaaien van graslanden heeft het areaal sterk teruggedrongen. De overgebleven graslanden hebben vaak een kleine oppervlakte. Ze kunnen wel onderdeel zijn van grotere natuurgebieden.

### 12.03 Glanshaverhooiland

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H6510A Glanshaver- en vossenstaarthooiden, glanshaver

Glanshaverhooiland bevat hooilanden met bloemrijke vegetaties, gedomineerd door hoogopgaande grassen en kruiden. Het komt voor op diverse bodems van matig vochtige tot periodiek overstromde uiterwaarden, op zeekeigronden en op löss en krijtafzettingen. Vaak is het te vinden in gradiëntrijke gebieden. Het grasland wordt jaarlijks gehooid. Intensiever agrarisch gebruik vormt een bedreiging.

### 12.04 Zilt- en overstromingsgrasland

Gerelateerde habitattypen:

- H1330B Schorren en zilte graslanden, binnendijks

Zilt- en overstromingsgrasland bestaat uit vegetaties met grassen, russen en kruiden op vochtige zand- veen- of kleigronden. Zilt grasland staat incidenteel onder invloed van brak of zout water, zonder dat er sprake is van getijden. Onderbemaling kan een oorsprong zijn van zout grondwater. Overstromingsgrasland wordt vrijwel jaarlijks langdurig overstromd in het voorjaar door oppervlaktewater of door uittredend kwelwater.

### 12.05 Kruiden- en faunarijke akker

Kruiden- en faunarijke akker bestaat uit akkers met ijle kruid- en grasachtige vegetaties die tussen de verbouwde hoofdgewassen voorkomen. Door huidige gewaskeuze en intensivering van teelten (o.a. zaad-schoning en onkruidbestrijding) is het beheertype niet in gangbare akkerbouw te realiseren, maar alleen in speciaal voor natuurbeheer beheerde akkers.

### 12.06 Ruigteveld

Ruigteveld bestaat uit grootschalige droge ruigtevelden met plaatselijk struweel. Ze ontstaan vaak na grootschalige ingrepen, zoals drooglegging of plotselinge sterke extensivering na intensief landbouwbeheer.

## **Effecten klimaatverandering**

### *Standplaatsfactoren*

Hogere temperaturen en droogte leiden tot meer verdamping en mineralisatie. Dit heeft toename van C4-grassen en vermindering van de graslanden tot gevolg.

Toename van neerslag en extreme neerslag kunnen wellicht zorgen voor voldoende vocht. Het effect van frequenter overstroomd na hevige regenval hangt sterk af van de kwaliteit van het overstromingswater.

Het oppervlakte zilte graslanden zou binnendijks toe kunnen nemen, door toename van zoute kwel, een effect dat vooral bij droogte te verwachten is. In dat geval zou het mogelijk andere graslanden kunnen vervangen.

Ook is er een kans dat het inlaatwater in droge zomers een hoger zoutgehalte krijgt. Wanneer dit water gebruikt wordt om het water op het juiste peil te houden kan dit ook een bron van verzilting zijn.

De graslanden die tot de Bloemdijken, Kruiden- en faunarijke graslanden en Glanshaver hooilanden behoren zijn sterk versnipperd. De verwachte effecten van extreme neerslag of juist droogte, en effecten van versterkte mineralisatie zullen vooral meer invloed hebben in kleinere gebieden, omdat die weinig gebufferd zijn tegen variatie in watertekort of juist wateroverschot.

Ruigteveld is een type dat op allerlei bodems gevonden wordt. Dit type is waarschijnlijk niet erg gevoelig voor gevolgen van klimaatverandering, vanwege de diversiteit aan standplaatsen en vanwege het feit dat dit type ontstaat door grootschalige verstoringen. Mogelijk is het een type dat kan profiteren van klimaatverandering.

### *Soortensamenstelling*

De aandelen uitbreidende en terugtrekkende soorten voor Bloemdijken, Kruiden-en faunarijke graslanden en Glanshaver hooilanden zijn redelijk in balans: respectievelijk zo'n 20% en 15%.

Voor Zilt- en overstromingsgrasland en Ruigteveld wordt verwacht dat meer soorten zich terugtrekken (32% en 33%) dan zich uitbreiden (16% en 27%).

Voor de Kruiden- en faunarijke akkers wordt juist voor meer doelsoorten een uitbreidende klimaatzone (37% van de doelsoorten) dan terugtrekkende klimaatzone (9% van de doelsoorten) verwacht.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Voor het voortbestaan van de rijke graslanden vormt de extra mineralisatie een bedreiging. De verruiging die dit tot gevolg heeft kan mogelijk via extra hooibeurten enigszins beperkt worden. Aandachtspunt is wel dat planten voldoende gelegenheid krijgen hun levenscyclus te voltooien en zaad te zetten. Een adaptatiestrategie om de gevolgen van verdroging te beperken is het vergroten van de heterogeniteit, zodat er ook bij droogte of zomerhitte voldoende vochtige/koele plekken zijn. Voor veel insecten is het microreliëf dat voor deze variatie zorgt van groot belang voor overleving.

De Beheertypen van Rijke graslanden en akkers kunnen op diverse bodems ontwikkeld worden. Dit biedt mogelijkheden voor uitbreiding, waardoor de Beheertypen niet tot de meest kwetsbare behoren. Hoewel het Beheertype op verschillende bodems tot ontwikkeling kan komen, zullen de plantensoorten die tot het Beheertype behoren niet op alle bodemtypes voor kunnen komen. Het gevolg is dat binnen het beheertype variatie in levensgemeenschappen zal ontstaan. Soorten zouden in die situatie zeer disjunct voor kunnen komen, waardoor er weinig uitwisseling tussen gebieden mogelijk is, laat staan verspreiding naar nieuwe gebieden. Het uitblijven van herstel van soortenrijke vegetaties onderstreept de moeizame uitbreiding van plantensoorten. Aandachtspunt is ook hier dus het behoud van bestaande gebieden met dit beheertype.

## **3.4.10 N13 Vogelgraslanden**

### **Bestaande situatie**

#### *Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

##### 13.01 Vochtig weidevogelgrasland

Vochtig weidevogelgrasland omvat natte en vochtige graslanden die van belang zijn voor weidevogels. Het zijn matig zure tot neutrale gronden, met een minimaal lichte voedselrijkdom. Een open karakter en een mozaïek van diverse vormen van grasland beheer zijn van belang voor de overleving van weidevogelpopulaties. Voor de meeste weidevogels is extensief gebruikt kruidenrijk grasland met een rustperiode tot begin of half juni het beste habitat. De beste bodems zijn veen en zware klei met grondwatertrap I of II. Intensivering van de landbouw (hoge mestgift, inzaai met hoogproductieve grassen en ontwatering) vormt een belangrijke bedreiging voor dit type. Extensief grasland is in beperkte mate inpasbaar in moderne melkveebedrijven maar deze moeten worden ingezet om het beheer kostendekkend uit te kunnen voeren. Maai en grasbeheer wordt gefaseerd, o.a. om overleving van kuikens mogelijk te maken.

##### 13.02 Wintergastenweide

Wintergastenweide omvat voedselrijk, productief grasland dat is aangewezen als fourageergebied voor ganzen, zwanen en eenden. Het wordt intensief gemaaid en bemest en gaat met een korte vegetatie de winter in. In de winter moet er een minimale hoeveelheid gras van een bepaalde voedingswaarde aanwezig zijn. Dit maakt in sommige reservaatgebieden bemesting met kunstmest noodzakelijk, ondanks voedselrijke bodems. In de winter ligt het vaak deels onder water. Op intensieve beheerde landbouwpercelen zijn wintergasten vaak niet welkom, terwijl de vogels er wel graag willen zitten.

## Effecten klimaatverandering

### *Standplaatsfactoren*

Droogte in mei en juni leidt aanvankelijk tot snelle grasgroei en daarna tot stagnatie daarvan. Het eerste is ongunstig omdat de kwaliteit als opgroei-habitat voor weidevogelkuikens negatief wordt beïnvloed. De oogsttijd wordt vervroegd en het beschikbare areaal ongemaaid gras neemt snel af. Het tweede is ongunstig omdat de bodem uitdroogt waardoor de weerstand voor vogelsnavels toeneemt, regenwormen, voedsel voor volwassen vogels, zich terugtrekken tot onbereikbare diepte en het langer duurt voor er weer een nieuwe grasmat is met voldoende voedsel en dekking voor weidevogelkuikens.

Ook toename van de frequentie van zware slagregens in mei en juni leidt tot extra kuikensterfte.

Voor wintergasten zijn de overwinteringsomstandigheden de afgelopen decennia sterk verbeterd. Er is minder sneeuwbedekking en de beschikbaarheid van hoogwaardig voedsel is toegenomen. De aantallen zijn dan ook sterk gestegen. Als het klimaat nog zachter wordt zullen de omstandigheden nog verder verbeteren. De concurrentie tussen intensieve beheerde landbouwgronden en wintergasten neemt daardoor echter ook toe.

### *Soortensamenstelling*

De aandelen uitbreidende en terugtrekkende soorten verschillen weinig bij de weidevogelgraslanden. De soortgroep waar dit doeltypen vooral op gericht is, de weidevogels, heeft echter een groot aandeel terugtrekkende soorten. Van de soorten waarvoor een responsgroep bepaald kon worden (44 soorten), zijn er 21 ingedeeld als centrale soorten, drie als uitbreidend. De scholekster is één van die drie, de andere twee, Hop en Roodkopklauwier, komen nu in Nederland niet voor en worden niet gerekend tot de weidevogels van open landschappen met vochtig grasland. Bij uitbreiding naar Nederland is eerder vestiging in kleinschalig halfopen landschap te verwachten. Twintig vogelsoorten zijn gekarakteriseerd als terugtrekkend. Tot de terugtrekkende soorten behoren onder andere: Tureluur, Watersnip, Grutto, Zomertaling, Wulp, Kwartelkoning, Roerdomp (moerasvogel) en Goudplevier (is geen broedvogel meer in Nederland.)

De uitbreidende soorten van dit Beheertypen zijn vooral planten.

Veel weidevogels vervroegden de legdatum van eieren. Veranderende landbouwpraktijken hebben hier invloed op (Beintema et al., 1985), maar de rol van hogere voorjaarstemperatuur is ook als oorzaak aangewezen (Both et al., 2005). De overleving van de kuikens van deze vogelsoorten is sterk afhankelijk van voedselaanbod. Het is de vraag of het voedsel ook voldoende vroeg beschikbaar is voor deze vogels.

Recente analyses voor de Grutto (Kleijn et al., 2010) laten zien dat de afgelopen 50 jaren het grasoogstseizoen minstens een maand is vervroegd. Aanvankelijk konden de weidevogels deze vervroeging volgen en gingen eerder tot broeden over. Na 1980 konden de weidevogels de vervroeging in de grasgroei niet volgen. Voor 1980 kan de vervroeging worden toegeschreven aan intensivering van de landbouw, in de periode daarna is er een relatie met klimaatverandering. Doordat de weidevogels het tempo van de klimaatverandering niet kunnen bijhouden is de periode voor opgroei van de kuikens, die bij voorkeur in de ongemaaide eerste snede verblijven, verkort. Bij een rustperiode tot in juni wordt het gras niet geoogst maar wordt in de steeds mildere voorjaren de grasmat te dicht. Uitgaand van een gerealiseerde temperatuurstijging van 0,7 °C is bij een verdere stijging tot 1 °C nog een week vervroeging te verwachten, bij een stijging tot 2 °C van vijf weken. Deze resultaten hebben betrekking op de Grutto. Soorten die later in het seizoen broeden zoals Watersnip en Kempshaan kunnen zich nu al niet meer in gebieden met intensieve landbouw handhaven. Zij zullen nog meer last hebben van een vervroeging van het grasgroei-seizoen door klimaatverandering.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Het is niet duidelijk of de weidevogels hun broedseizoen verder kunnen vervroegen. Enerzijds zal dit afhangen van de selectiedruk in het voordeel van vroege broeders, anderzijds van eventuele belemmeringen voor vroeger broeden door een grotere variabiliteit in het klimaat. Een deel van de weidevogelpopulatie broedt in reservaten en ervaart de selectiedruk om vroeger te broeden minder dan de vogels in het agrarisch gebied. In het agrarisch gebied is het reproductiesucces echter veel lager. De uitkomst van de selectie is dus ongewis. Het totale areaal aan weidevogelreservaten is mogelijk te klein en te versnipperd om een duurzame weidevogelpopulatie te herbergen. Er is uitwisseling van broedvogels tussen reservaten waarin later broeden gunstig is en intensief gebruikt agrarisch gebied waar vroeg broeden vereist is om succesvol te zijn. Indien weidevogels reservaten leren selecteren en indien het areaal voldoende groot en samenhangend is, zouden de weidevogels zich kunnen aanpassen aan nog mildere condities. De vraag is of weidevogels dit vermogen hebben. Vergroten van de oppervlakte, ruimtelijke samenhang en ruimtelijke heterogeniteit vergroten mogelijk die kans op aanpassing. Hoe groter de temperatuurstijging en hoe groter de dynamiek hoe moeilijker het voor weidevogels zal zijn om zich aan te passen.

### **3.4.11 N14 Vochtige bossen**

#### **Bestaande situatie**

*Ecosysteempromotie, stressfactoren, beheer*

#### 14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- gH91E0\* Vochtige alluviale bossen
- H91F0 Droge hardhoutoibossen
- H6430C Ruigten en zomen, droge bosranden
- H7220 Kalktufbronnen

Rivier- en beekbegeleidend bos omvat bossen en struwelen die periodiek door oppervlaktewater worden overstroomd bij hoge waterstanden in beek of rivier en bossen die direct onder invloed staan van vrijwel permanent uittredend grondwater. Bedreigingen zijn bedijking, verdroging, grote wijzigingen in overstromingsdynamiek en bosexploitatie. Bronbos komt voor op plekken waar grondwater uittreedt, het is door verdroging vaak sterk verruigd of geheel verdwenen en is erg zeldzaam in Nederland geworden. Overstromingen en begrazing zorgen voor variatie in structuur van open plekken tot ontoegankelijke bossen en struwelen.

#### 14.02 Hoog- en laagveenbos

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H91D0 (Hoog)veenbossen
- H7120 Herstellende hoogvenen

Hoog- en laagveenbos omvat bossen en struwelen op natte standplaatsen op venige bodems. Hoogveenbossen worden door regenwater beïnvloed, laagveenbossen door grondwater. De veenbossen ontstaan op natuurlijke wijze of na stopzetten van maaibeheer van rietlanden of door verdroging en stikstofdepositie op hoogveen. De bossen worden bedreigd door verdroging, versnippering en eutrofiëring.

### 14.03 Haagbeuken- en essenbos

Gerelateerde habitattypen:

- H91E0\* Vochtige alluviale bossen
- H9160\* Eiken-haagbeukenbossen
- H6430C Ruigten en zomen, droge bosranden

Haagbeuken- en essenbos omvat bossen en struweel op basenrijke klei- en leemgronden en op gronden waar periodiek aanrijking plaatsvindt door periodiek hoge grondwaterstanden buiten de invloed van overstromingen van rivier en beek. De bodems zijn vrij vochtig tot nat. Het beheertype is rijk aan structuur met een opvallende voorjaarsflora. In de bossen wordt hout geoogst op een klein deel van het oppervlak.

### **Effecten klimaatverandering**

#### *Standplaatsfactoren*

De bosgroei in Europa is sinds de jaren zestig met 5 tot 10 % toegenomen. Als oorzaak hiervan worden de verhoging van de temperatuur en het CO<sub>2</sub>-gehalte van de lucht (koolstofvastlegging) gezien (Roos et al., 2004). De hogere temperatuur, het grotere areaal en de snellere groei werken echter ook verdamping en daarmee verdroging in de hand. Een bijkomend risico is de grotere kans op bosbranden door de hogere temperatuur en verminderde zomerse neerslag. Weerextremen leiden tot een toename van stormschade, maar ook tot een toename van ruimtelijke variatie en dynamiek. Verdroging is in het algemeen ongunstig voor vochtige bossen, al kunnen voor natte bossen iets drogere omstandigheden gunstig uitpakken voor de groei: beperkte verdroging in combinatie met een hogere temperatuur leidt tot een toename van de mineralisatie, die in de minder rijke bossen de beschikbaarheid van extra voedingsstoffen tot gevolg heeft. Verdroging leidt echter ook tot verruiging en sterfte onder droogtegevoelige soorten en een bijkomend risico is de grotere kans op bosbranden door de hogere temperatuur en verminderde neerslag in de zomerperiode.

Voor bos op veengronden (14.02 Hoog- en laagveenbos) zal de groei afnemen door vochttekort en met name laagveenbos komt voor in voor verzilting gevoelige gebieden. Vochttekort op arme gronden zal leiden tot extra mineralisatie. Door het vochttekort kan de groei van de vegetatie afnemen, maar anderzijds leidt verrijking van de bodem tot meer groei. Onduidelijk is dus wat de uitkomst van hogere temperaturen op de bosgroei zal zijn. De uitkomst is afhankelijk van de veranderingen in beschikbaarheid van vocht, nutriënten en invloed van temperatuur.

Wanneer de ondergrond uit klei bestaat (vooral 14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos en een deel van 14.03 Haagbeuken- en essenbos) treedt verdroging minder snel op, maar ook voor bossen van kleigronden geldt dat verdamping en minder neerslag inwerken op waterbeschikbaarheid en de kwaliteit van het ecosysteem.

Bossen van rijke gronden zijn vaak hellingbossen waar verrijking plaatsvindt door afspoeling. Ook bij deze bossen speelt het vochttekort in de zomer een rol in de afname van de groei. Een grotere neerslag in de winter kan echter ook voor fysieke schade aan vegetaties zorgen. Voor bos van bron en beek geldt dat door de toenemende verdamping en temperatuur bronnen en beken kunnen droogvallen. In combinatie met een groter overstromingsdynamiek zorgt dit wel voor een grotere (ruimtelijke) variatie in typen en kwaliteit.

Een grotere overstromingsfrequentie als gevolg van extremen neerslag en grotere waterhoogten en stroomsnelheden tijdens overstromingen zorgen voor meer variatie in dynamiek en ruimtelijke patronen.

Bossen van rijke, vochtige gronden (Rivier- en beekbegeleidend bos, Haagbeuken- en Essenbos) zijn sterk tot zeer sterk versnipperd. De gevolgen van extreme weersomstandigheden, vooral zomerdroogte hebben daardoor mogelijk grotere effecten op deze bostypen. Dit alles versterkt de extinctiekans van doelsoorten. Kwel, wat voor sommige van de vochtige bossen belangrijk is, kan mogelijk toenemen als gevolg van meer aanvullingen van het grondwater in inzijgingsgebieden door toename van neerslag. Bossen in voor verzilting gevoelige zones kunnen kwalitatief achteruitgaan bij bijvoorbeeld bodemdaling en toetreden van zilte kwel.



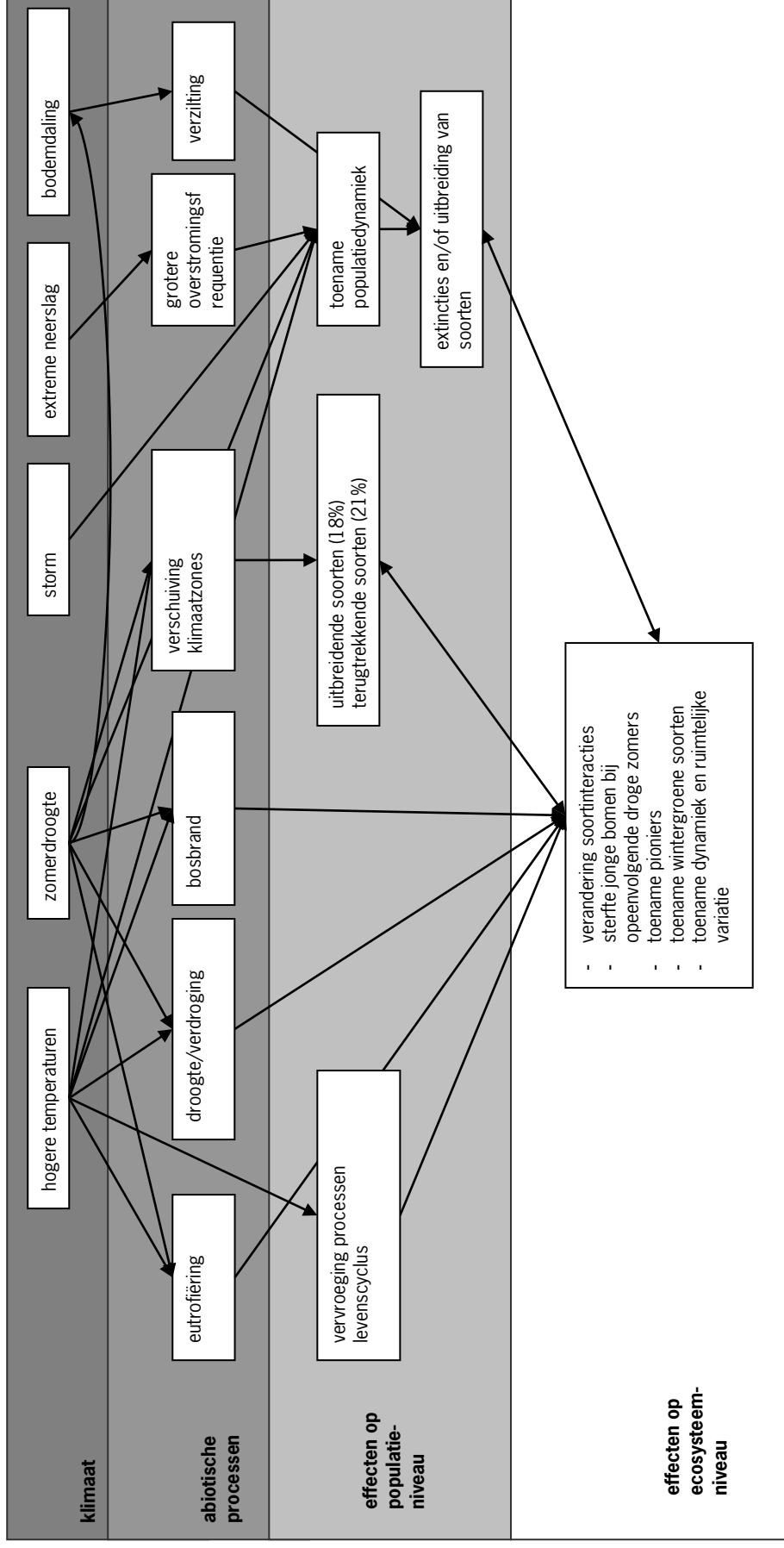
### *Soortensamenstelling*

Vochtige bossen hebben iets meer terugtrekkende (21%) dan uitbreidende doelsoorten (18%). Bij de verschillende beheertypen die tot de vochtige bossen behoren, zijn de aandelen terugtrekkende soorten vrijwel gelijk aan het aandeel uitbreidende soorten. Bij bossen van hoog- en laagveen moeras is het aandeel voor klimaatverandering ongevoelige (centrale) soorten veel lager (43%) dan bij de andere twee typen (resp. 71 en 63%). Met name voor laag- en hoogveenbossen betekent dat een groot risico op soortenverarming, omdat het immers onzeker is of uitbreidende soorten eventueel nieuwe gebieden kunnen bereiken.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Negatieve effecten worden vrijwel uitsluitend veroorzaakt door verdroging en de grootse winst is dan ook te halen door adaptatiemaatregelen die dit effect beperken. Beter beheersen (verhogen) van het grondwaterpeil, verbeteren van de waterretentie en buffering en beperken van de verdamping (dunnen) liggen voor de hand. Omdat vochtige bossen sterk versnipperd zijn is verbeteren van de ruimtelijke samenhang noodzakelijk om kolonisatie door nieuwe soorten mogelijk te maken. Bossen die aan moerassen gebonden zijn (zoals rivierbossen, maar ook laagveenbossen), zullen als onderdeel van de klimaatcorridor voor moerassen verbonden moeten worden met bossen in België (bijvoorbeeld rivierbos langs de Schelde) en Duitsland (bijvoorbeeld langs de Rijn en de Ems), om verschuiving van soorten met verschuivende klimaatzones mogelijk te maken. Zowel in het rivierengebied als in de moerasgebieden in Groningen liggen opgaven voor het verder ontwikkelen van de moerassen (zie figuur 21).

## Schema N14 vochtige bossen



### 3.4.12 N15 Droge bossen

#### Bestaande situatie

*Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

##### 15.01 Duinbos

Gerelateerde Habitattypen: H2180\* Duinbossen

- H2160 Duindoornstruwelen

Duinbos omvat bossen en struwelen in het Duin- en Kustgebied. Het bevat loof- en naaldbos. Het komt voor op zowel kalkarme als kalkrijke zandgronden in duinen, vochtige valleien en op drooggevalen zandplaten. De bossen zijn toegenomen door sterke afname van konijnenvraat en slechte luchtkwaliteit waardoor successie vanuit open duin versnelde. In de bossen wordt hout geoogst op een klein deel van het oppervlak.

##### 15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos

Gerelateerde Habitattypen: H9110 Veldbies-beukenbossen

- H9120 Beuken-eikenbossen met hulst
- H9190 Oude eikenbossen

Dennen-, eiken- en beukenbos omvat bossen met dennen, eiken, beuken en/of berken. Ze komen vooral voor op zure, droge en zandige bodems. Ze zijn vaak aangeplant als productiebos en hebben weinig structuur. De soortenrijkdom is beperkt door jonge leeftijd en gevolgen van verzuring en vermesting. Oude bossen (van voor 1850) komen vooral voor op de betere (lemige) bodems en zijn van belang voor bosrelictsoorten ('ancient woodland species'). Storm en begrazing zijn de natuurlijke oorzaken van variatie in structuur.

#### Effecten klimaatverandering

##### *Standplaatsfactoren*

Droogte (met name bij W+-scenario) leidt bij deze bossen tot afname van de groei. In extreem droge zomers kunnen bomen hun blad vroegtijdig laten vallen, vooral jonge bomen zijn hier gevoelig voor. Herstel is wel mogelijk, maar wanneer er enkele jaren achter elkaar extreme droogte optreedt, wordt de kans op herstel klein (Witte et al., 2009). Sterfte van de bomen leidt tot meer natuurlijke dynamiek, wat gunstig voor de variatie in de bosstructuur is.

Het effect van toename van neerslag en vaker optreden van extreme buien hangt af van het watervasthoudend vermogen van de vegetatie (bijvoorbeeld door organisch materiaal) en of er tijdelijke overstroming bij extreme neerslag optreedt. In dat laatste geval is het weer van belang wat de kwaliteit van dat water is. Meestal zal het regenwater diep wegzakken in de bodem.

Grove den en Beuk zijn gevoelig voor stormen, maar een toename in de kracht of frequentie van stormen is nog geen trend in Nederland. Windworp door storm is ongunstig voor de houtproductie, maar is gunstig voor verjonging en variatie in de bossen. Pioniersoorten zoals Berk en Lijsterbes zouden kunnen profiteren van de frequentere verstoring door stormen.

Het frequenter voorkomen van zachtere winters is gunstig voor wintergroene soorten zoals Hulst en Taxus.

Door hogere temperaturen wordt het mineralisatieproces versterkt wat leidt tot voedselrijker worden van bodems. De combinatie van droogte en verzuring is desastreus voor bossen op kalkloze zandgronden (bijvoorbeeld Veluwe). Naar verwachting neemt hier ook de kans op bosbrand toe.

### *Soortensamenstelling*

Vooraf voor de Dennen-, eiken- en beukenbossen geldt dat het aandeel uitbreidende doelsoorten (14%) een stuk kleiner is dan het aandeel terugtrekkende doelsoorten (29%). Voorbeelden van soorten waarvoor verwacht wordt dat het geschikte klimaat zich uitbreidt: Bosparelmoevlinder, Draaihals, Europese kanarie. Voorbeelden van terugtrekkende soorten zijn: Kleine ijsvogelvlinder, Heikikker, Kranssalomonszegel en Bonte vliegenvanger. Bossen van arme droge gronden zijn sterk versnipperd. Extreme weersomstandigheden hebben grotere effecten op kleine dan grote bossen, wat de extinctiekansen van lokale populaties vergroot.

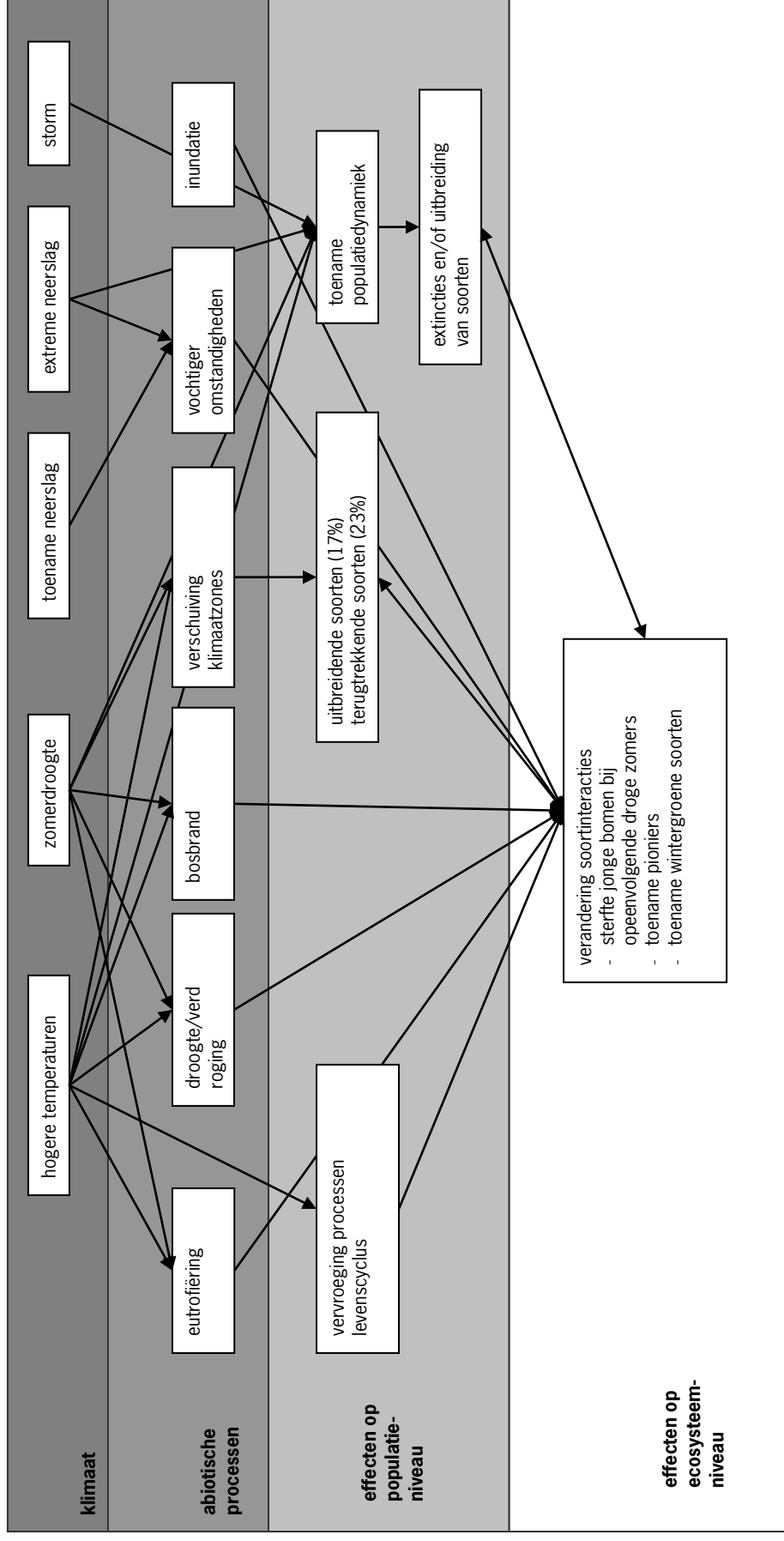
### **Adaptatiemogelijkheden**

Een heterogene ruimtelijke bosstructuur (kleine en grotere open ruimtes, jonge en oude stadia) geeft een grote variatie in microklimaat (instraling, luchtvochtigheid) en is daarmee belangrijk voor zowel koude- als warmteminnende soorten.

Om het verschuiven van bossoorten met hun geschikte klimaatzone mogelijk te maken is een klimaatcorridor die verschillende grote boscomplexen met elkaar verbindt aan te raden. Voor droge bossen in Nederland is het van belang om die internationaal aan te laten sluiten op boscomplexen met name in Duitsland.

Een voorstel voor de ligging van een klimaatcorridor voor bossen in Nederland en de internationale aansluiting is geïllustreerd in paragraaf 3.3.

## Schema droge bossen



### **3.4.13 N16 Bossen met productiefunctie**

Deze bossen vormen de productievarianten van hiervoor beschreven bostypen. Ze verschillen hiervan door de houtoogst. Voor de effecten van klimaatverandering op de ecosysteemprocessen en soorten verwijzen we naar de betreffende bostypen.

16.01 Droog bos met productie is de productievariant van het beheertype 15.02 Droog bos.

16.02 Vochtig bos met productie is de productievariant van delen van de Beheertypen 14.01 Rivier- en beek-begeleidend bos en 14.03 Haagbeuken- en essenbos.

### **3.4.14 N17 Cultuurhistorische bossen**

*Ecosysteemprocessen, stressfactoren, beheer*

17.01 Vochtig hakhout en middenbos

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H9160 Eiken-haagbeukenbossen

17.02 Droog hakhout

Gerelateerde Natura 2000-habitattypen:

- H9120 Beuken-eikenbossen met hulst

Vochtig hakhout en middenbos en droog hakhout zijn loofbossen die bestaan uit houtgewas dat men niet te hoog laat opschieten, maar dicht bij de grond afzet om de stronken weer te laten ontspruiten en de gevormde opslag te kunnen oogsten. Middenbos bestaat uit hakhout met doorgegroeide hakhouttelgen of aanplant. Het beheertype komt in verschillende vormen voor, van grienden tot elzenhakhout (vochtig hakhout) en hakhout op de droge zandgronden en aan de kust in de binnenduinrand (droog hakhout). De bomen worden periodiek afgezet, variërend van eens in de 3-10 jaar (vochtig hakhout) of 4-15 jaar (droog hakhout).

17.03 Park- en stinzenbos

Park- en stinzenbos bestaat uit opgaand bos als onderdeel van een (voormalig) landgoed, met meestal een rijke struiklaag en veel kruiden die vooral in het voorjaar bloeien. Het beheer is vrij intensief en gericht op het behouden van de bijzonder bomen en het handhaven van de struiken en kruiden: vrijstellen van bomen, vrijhouden van opslag.

17.04 Eendenkooi

Eendenkooien bestaan uit een kooiplas en vangpijpen (sloten) omgeven door een kooibos. Het kooibos bevat vaak hakhout en knotbomen. Het zijn cultuurhistorische elementen die dateren uit de middeleeuwen. Het beheer is gericht op openhouden van de plas en vangpijpen en onderhoud van het bos door afzetten en knotten van bomen.

### **Effecten klimaatverandering**

*Standplaatsfactoren*

Verdroging is ongunstig voor vochtige bossen. Het leidt tot versterkte mineralisatie en verzuuring. Bij droge bossen is er het risico op bladsterfte bij zomerdroogte.

### *Soortensamenstelling*

De aandelen uitbreidende en terugtrekkende soorten zijn voor de Beheertypen ongeveer hetzelfde (ca. 20 resp. 18%).

Deze bossen zijn vaak klein van oppervlakte, wat de populaties gevoelig maakt voor extremen.

### **Adaptatiemogelijkheden**

Adaptatie voor de Beheertypen van cultuurhistorische bossen moet vooral gezocht worden in het veerkrachtiger maken van de bossen. Mogelijkheden liggen in het vergroten van de heterogeniteit en het oppervlakte en verbeteren van de waterhuishouding (verdroging voorkomen). Verbindingen met andere bossen versterkt het herstelvermogen.

## **3.5 Gevolgen voor natuur(doelen)**

### **3.5.1 Synthese terrestrische Beheertypen**

In een synthese tabel (tabel 3.3) wordt de gevonden kennis over de effecten van klimaatverandering samengevat. De gegevens in de tabel zijn als volgt:

- % uitbreidend: % van de doelsoorten van het beheertype waarvan de geschikte klimaatzone zich uitbreidt binnen Nederland;
- % terugtrekkend: % van de doelsoorten van het beheertype waarvan de geschikte klimaatzone zich terugtrekt uit Nederland;
- effect klimaatverandering (o.a. ecohydrologie): belangrijkste gevolgen. Hoewel de verschillende gevolgen die klimaatverandering heeft (direct, indirect, diverse processen) niet onderling vergeleken zijn op mate van invloed, is een inschatting van gedaan voor welke gevolgen het belangrijkste zijn;
- belang Nederland in Europa: internationaal belang van het beheertype in Nederland, is Nederland bijvoorbeeld de kern van het verspreidingsgebied van het type, of ligt het aan de grens van het verspreidingsgebied en komt het type bijvoorbeeld veel meer voor in aangrenzende landen. De score is afgeleid van Lammers et al., (2005) en uit de beschrijving van de Beheertypen (Schipper en Siebel, 2008), en is in drie klassen gescoord: +, ++ en +++;
- ruimtelijke uitbreiding mogelijk? Kan het beheertype zich elders (in Nederland) uitbreiden, of zijn er ruimtelijke beperkingen die dat onmogelijk maken. Dit hangt in sterke mate af van de mate waarin abiotische en biotische condities aanwezig zijn of eventueel ontwikkeld kunnen worden in Nederland;
- onzekerheden: is er sprake van grote onzekerheid over het optreden van effecten?;
- kwetsbaar: een eindoordeel over de veranderingen in de Beheertypen in een beperkt aantal categorieën. Op basis van de voorgaande kolommen wordt een kwalitatieve inschatting gemaakt van de kwetsbaarheid van het beheertype. De kwetsbaarheid varieert van gunstig, neutraal, ongunstig, zeer ongunstig.

### **3.5.2 Onzekerheden**

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat voorspellingen over de effecten van klimaatveranderingen een mate van onzekerheid hebben. Onzekerheid over de ernst van de effecten, maar ook over wanneer en waar ze optreden.

De oorzaken van de onzekerheid zijn deels niet op te lossen, omdat ze inherent zijn aan de stochastiek van het klimaat, van populaties en van ecosystemen. Een belangrijke en relevante bron van onzekerheid vormen de klimaatscenario's zelf. Door het KNMI is wel aangegeven dat het W- en W+-scenario meer waarschijnlijk zijn dan het G- en G+-scenario. Echter, ook tussen het W- en W+-scenario zijn grote verschillen, met name de ontwikkeling van neerslag of droogte in de zomer.

Desondanks is de richting van de effecten wel duidelijk, er zijn overeenkomsten tussen het W- en W+-scenario. Het geschikte klimaat van veel soorten verschuift in noordelijke richting. Voor sommige soorten in Nederland is dat gunstig, voor anderen maakt het niet zo veel uit en voor veel soorten is dit ongunstig. Hogere temperaturen en droogte leiden tot versterkte mineralisatie en eutrofiëring. De winters worden over het algemeen natter en de zomers droger. Extreme neerslag komt vaker voor. Het optreden van extremen is ongunstig voor met name kleine populaties.

De vraag hoe om te gaan met onzekerheid in het klimaat hebben we ook aan de orde laten komen bij de bespreking van de adaptatie opties, waarbij inzetten op veerkrachtige systemen het antwoord op onzekerheid kan zijn.

Een andere bron van onzekerheid is onvoldoende kennis van het systeem. De onzekerheid in de tabel slaat vooral op die laatste categorie. Vragen die daarbij horen zijn:

- Hoe pakt de balans van minder verdamping (door terugkoppeling met de vegetatie of verandering van de vegetatie) en minder neerslag op de aanvulling op het grondwater uit? Wat zijn de gevolgen voor kwel, waar treden veranderingen op?
- Wanneer werkt dynamiek in ecosystemen positief op biodiversiteit door toename van heterogeniteit en wanneer werkt dynamiek ongunstig voor biodiversiteit omdat alleen generalisten en opportunistische soorten overleven?
- Hoe kan heterogeniteit vergroot worden binnen gebieden zodat veerkracht toeneemt, is er interactie met versnippering?
- Hoe zit het met gevoeligheid van soorten voor het moment (in het jaar) en de tijdsduur en frequentie van weersextremen, zoals droogte?
- Hoe pakt de balans uit voor uitbreidende en terugtrekkende soorten, hoe zit het met functionele groepen en kunnen uitbreidende soorten de gebieden bereiken, welke soorten vormen potentieel een probleem, omdat ze andere soorten wegconcurreren of op een andere manier bedreigen?
- Hoe representatief zijn doelsoorten voor de levensgemeenschap, hoe veranderen vastomschreven Beheertypen als er doelsoorten afvallen?
- Kunnen Beheertypen in elkaar overgaan? (natte - droge graslanden, natte - droge heide) of ontstaan er nieuwe levensgemeenschappen?



**Tabel 30**

*Synthese van verwachte veranderingen in Beheertypen.*

Beheertype	% uitbreidend	Effect klimaatverandering	Belang NL in Europa	Ruimtelijke uitbreiding mogelijk (qua abiotiek, concurrentie met ander grondgebruik is een knelpunt voor alle beheertypen)?	Onzekerheden	Resultaat
<b>N05 Moeras</b>						
N 05.01 Moeras (kiet- en rivier)	20%	23% droogte, eutrofiëring, meer dynamiek in waterstanden, versnelde verlanding, vooral in kleine gebieden	++	+	Effect droogte? Verschiil grote en kleine gebieden?	+/- (grote gebieden) - (Kleine gebieden)
Moeras (laagveen)		Iedem, toename kwel gunstig voor laagveenmoeras Bodemdaling door inklinken veen Eutrofiëring en toename dynamiek ongunstig	++	-	Toename kwel in laagveenmoeras? Verdroging?	-
N 05.02 Gemaaid riet	19%	35% eutrofiëring		+		+/-
<b>N06 Voedselarme vennen en vochtige heide</b>						
N 06.01 Veenmosrietland en moerasheide	11%	40% toename kwel? droogte, eutrofiëring		+/-	toename kwel?	-
N 06.02 Trilveen	8%	44% toename kwel? droogte, eutrofiëring		+/-		-
N 06.03 Hoogveen	6%	66% droogte, verdwijnen hoogveen, lokale extinctie bij extremen in kleine populaties	+++	-	- effect grote % terugtrekkende soorten	-
N 06.04 Vochtige heide	10%	43% droogte, eutrofiëring lokale extinctie bij extremen in kleine populaties			- overlevingskans van Beheertypen	-
N 06.05 Zwakgebufferd ven	15%	31% droogte, eutrofiëring	+++			-
N 06.06 Zuur ven of hoogveenven	10%	60% droogte, eutrofiëring				-

**Tabel 30 (vervolg)**  
*Synthese van verwachte veranderingen in Beheertypen.*

Beheertype	% uitbreidend	Effect klimaatverandering	Belang NL in Europa	Ruimtelijke uitbreiding mogelijk (qua abiotiek, concurrentie met ander grondgebruik is een knelpunt voor alle beheertypen)?	Onzekerheden	Resultaat
<b>N07 Droge heiden</b>						
N 07.01 Droge heide	18%	18% sterfte struikheide sterkere dynamiek vegetatie lokale extinctie bij extremen in kleine populaties	+++	+	toe-/afname grassen? toename biodiversiteit door meer dynamiek?	+/-
N 07.02 Zandverstuiving	15%	20% gunstig: meer verstuiven bij droogte		+		+
<b>N08 Open duinen</b>						
N 08 01 Strand en embryonaal duin	13%	44% zeespiegelstijging	+++	-	balans natuurlijke processen/menselijk ingrijpen? effect van meer dynamiek?	+/-
N 08 02 Open duin	23%	12%		-	'verdrinken' door te sterke kwel na zeespiegelstijging?	+
N 08 03 Vochtige duinvallei	11%	30% + meer dynamiek - te sterke kwel		-	effect verschuiven van soorten op functioneren?	-
N 08 04 Duinheide	4%	3% verdroging, stuiven		-		
<b>N09 Schorren en kwelders</b>						
N 09 01 Schor of kwelder	13%	33% stijging zeespiegel gunstig voor dynamiek, ongunstig voor uitbreiding? mismatch in voedselketen	++	-	Beperkt: buitendijks of door ontpolderen	+

**Tabel 30 (vervolg)**  
*Synthese van verwachte veranderingen in Beheertypen.*

Beheertype	% uitbreidend	% terugtrekkend	Effect klimaatverandering	Belang NL in Europa	Ruimtelijke uitbreiding mogelijk (qua abiotiek, concurrentie met ander grondgebruik is een knelpunt voor alle beheertypen)?	Onzekerheden	Resultaat
<b>N10 Vochtige schraalgraslanden</b>							
N 10 01 Nat schraalland	13%	34%	+ toename kwel - toename C4 grassen, mineralisatie, vervuiling, verdroging	++	- beperkt door abiotische randvoorwaarden	Toename kwel?	+/-
N 10 02 Vochtig hooiland	15%	30%	- inundatie eutroof water - lokale extinctie bij extremen in kleine populaties		- idem		-
<b>N11 Droge schraalgraslanden</b>							
N 11 01 Droog schraalgrasland	23%	14%	eutrofiëring mogelijk toename gunstige condities door frequentere droge zomers	+++	+ gunstig	toename soortenrijkdom? kunnen nieuwe soorten er komen? impact eutrofiëring?	+
<b>N12 Rijke graslanden en akkers</b>							
N 12 01 Bloemdijk	20%	14%	hogere temperaturen en droogte toename mineralisatie	+	+/- beperkt tot dijken	effect toename eutrofiëring? idem	-
N 12 02 Kruiden-en faunarijck grassland	19%	17%	hogere temperaturen en droogte toename mineralisatie		+		-
N 12 03 Glanshaverhooiland	19%	14%	hogere temperaturen en droogte toename mineralisatie		+	idem	-
N 12 04 Zilt- en overstromingsgrasland	16%	32%	veranderingen in waterhuishouding en toename kansen voor zoute kwel binnensdijks		+	effect veranderingen in waterhuishouding?	+
N 12 05 Kruiden- en faunarijck Akker	37%	9%	hogere temperaturen en droogte toename mineralisatie		+		+
N 12 06 Ruigteveld	27%	3%	hogere temperaturen en droogte toename mineralisatie		+		+

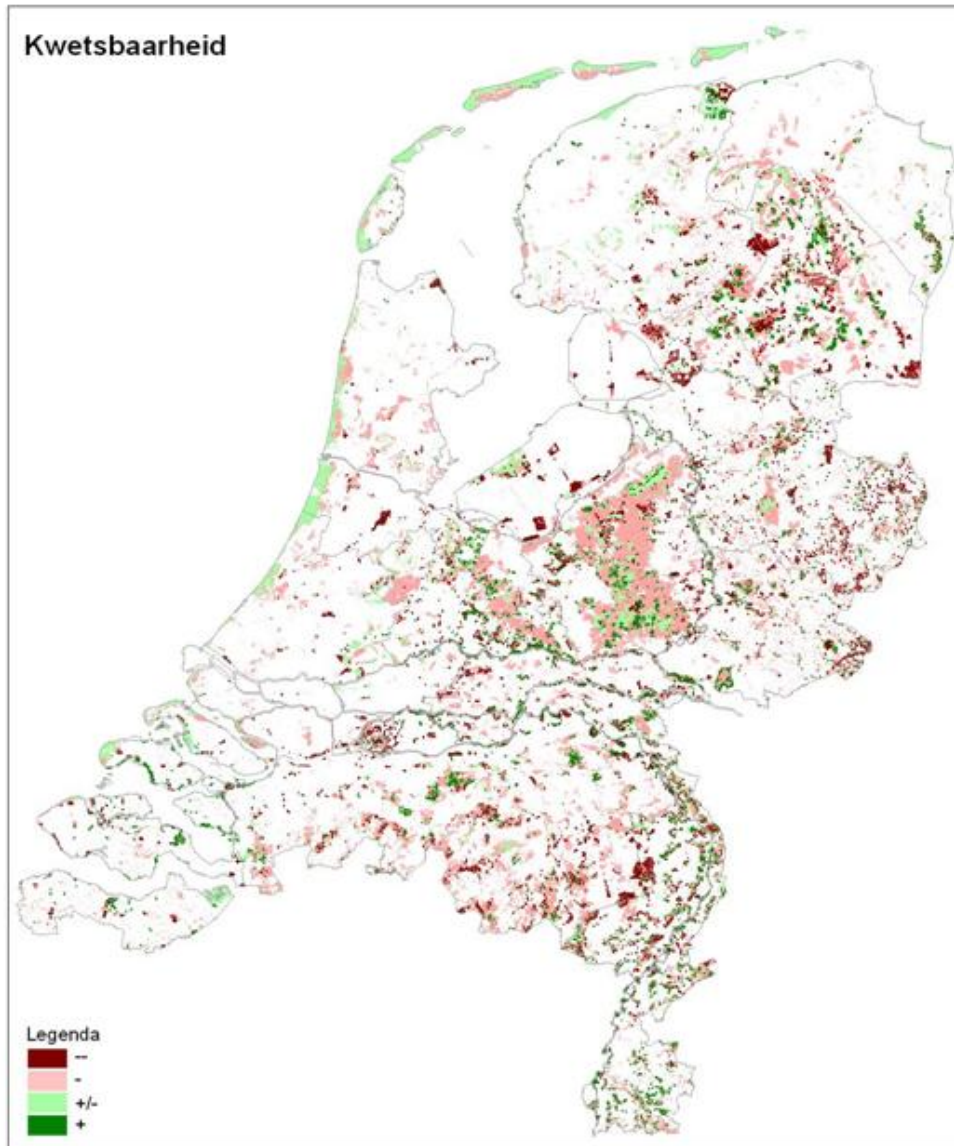
**Tabel 30 (vervolg)**  
*Synthese van verwachte veranderingen in Beheertypen.*

Beheertype	% uitbreidend	% terugtrekkend	Effect klimaatverandering	Belang NL in Europa	Ruimtelijke uitbreiding mogelijk (qua abiotiek, concurrentie met ander grondgebruik is een knelpunt voor alle beheertypen)?	Onzekerheden	Resultaat
<b>N13 Vogelgraslanden</b>							
N 13 01	19%	18%	terugtrekkende doelsoorten droogte	++	+ (biotisch)		-
N 13 02	-	-	nattere winters		+	effect veranderingen trekpatroon	+
<b>N14 Vochtige bossen</b>							
N 14 01	14%	15%	verdroging, waterdynamiek	++	+/-, beperkt tot rivierengebied en beekdalen	leidt meer dynamiek tot hogere soortenrijkdom (rivierengebied)?	-
N 14 02	28%	30%	droogte en hogere temperaturen, toename mineralisatie		-		-
N 14 03	18%	19%	droogte en hogere temperaturen, toename mineralisatie		+/-		-
<b>N15 Droge bossen</b>							
N 15 01	19%	22%	droogte	++	- beperkt tot duinzone	leidt meer dynamiek tot hogere soortenrijkdom?	-
N 15 02	14%	29%	brand		+ op droge zandgronden		-

NB. De natuurtypen Bossen met een productiefunctie en Cultuurhistorische bossen zijn niet in de tabel opgenomen, omdat ze sterk door beheer beïnvloed worden. De natuurlijke processen die optreden, zijn vergelijkbaar met de processen in Vochtige en Droge bossen.

### 3.5.3 Geografische duiding en gevoeligheid

De informatie over gevolgen van klimaatverandering, en gevoeligheid van de Beheertypen zijn gekoppeld aan de beheertypen kaart.



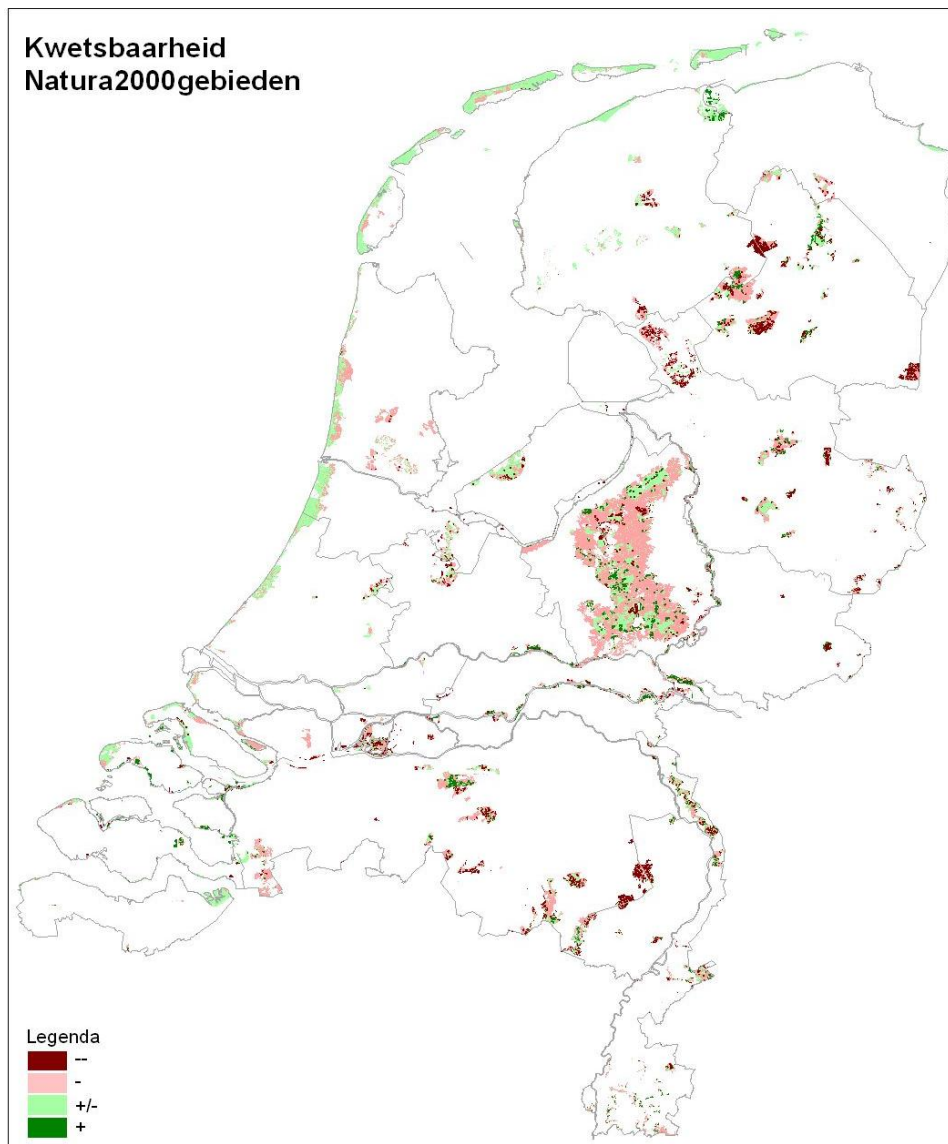
**Figuur 27**

*Geografische duiding van gevoeligheid voor klimaatverandering van Beheertypen. Toekenning gevoeligheid op basis van de informatie in hoofdstuk 3.4 - = veel negatieve gevolgen verwacht, - negatieve gevolgen verwacht, +/-: negatieve en positieve gevolgen verwacht of onzeker, + vooral positieve gevolgen verwacht.*

Op de kaart in figuur 27 tonen we de gevoeligheid van de Beheertypen, zoals die in tabel 9 is weergegeven. Het patroon toont een gevarieerd beeld. Zowel op de zandgronden als in de lagere gebieden (veen, klei) liggen kwetsbare en minder kwetsbare Beheertypen. Natuurgebieden die uit een mozaiek van Beheertypen bestaan, hebben soms zowel kwetsbare als zeer kwetsbare typen binnen één terrein.

De zeer gevoelige typen liggen wel vaker op de hoge zandgronden, het betreft onder andere vochtige heide en hoogveen. In laag-Nederland springen enkele kleinere (laagveen) moerassen eruit als kwetsbaar.

De meest kwetsbare gebieden op de hoge zandgronden vallen op. Ook de iets minder kwetsbare gebieden liggen vooral op de hoge zandgronden. Gebieden waarvoor de effecten positief of negatief kunnen uitpakken, liggen vooral langs de kust. Dit is wellicht tegen de intuïtieve verwachting in, immers zeespiegelstijging lijkt een serieuze bedreiging, dus eventuele positieve gevolgen lijken niet voor de hand te liggen. Echter, de ingrepen van mensen (zandsuppletie, kustverdediging) en het grote herstelvermogen en het aanpassingsvermogen aan dynamiek van het systeem (sedimentatie bij kwelders en schorren) kunnen juist voor een positieve uitkomst zorgen. Gebieden waar vooral positieve gevolgen verwacht worden, liggen vooral op de hoge zandgronden en in het rivierengebied. Op de zandgronden betreft het met name Zandverstuivingen en Droge graslanden die profiteren van hoge temperaturen en droge zomers. In het rivierengebied blijkt het stroomdalgraslanden te betreffen. Deze vallen volgens de systematiek van de Index ook onder de droge graslanden en vallen daardoor in de categorie met vooral positieve effecten. Of dit terecht is, zou nog eens goed onderzocht moeten worden. In figuur 28 wordt dezelfde informatie getoond, maar daar worden alleen de Natura 2000-gebieden getoond. De gevoeligheid van die gebieden is dus gebaseerd van onze analyse van de Beheertypen die binnen de grenzen van de Natura 2000-gebieden liggen. Vergeleken met figuur 27, waar de hele EHS getoond is, vallen in de Natura 2000-gebieden relatief vaker gebieden die zeer kwetsbaar zijn.



**Figuur 28**

*Geografische duiding van gevoeligheid voor klimaatverandering van terrestrische Beheertypen die binnen Natura 2000-gebieden liggen.*





## 4 Discussie en conclusies

Het doel van deze studie was een overzicht te geven van de gevolgen van klimaatverandering voor de terrestrische doelen van het Nederlandse natuurbeleid. Daarbij zijn we uitgegaan van de indeling van Beheertypen en Natuurtypen volgens de Index Natuur en Landschap. Bij het bespreken van de gevolgen per beheertype, bleek dat die vaak wel maar niet altijd geschikt was voor deze studie. Wanneer er binnen een beheertype variatie is tussen bodemtype of hydrologische processen, dan variëren de effecten van klimaatverandering binnen een beheertype vaak sterk. Dit is bijvoorbeeld het geval binnen het beheertype moeras en bij natte schraalgraslanden, waarbij de afhankelijkheid van het water in het systeem (grondwater of regenwater) cruciaal is. Omdat de processen waarlangs effecten van klimaatverandering optreden tussen de verschillende typen binnen een beheertype, is het soms niet mogelijk om op het niveau van beheertype uitspraken te doen over effecten van klimaat en mogelijke adaptatiemaatregelen. Uitsplitsing van beheertypen is dan nodig.

We hebben de effecten van klimaatverandering beschreven aan de hand van gevolgen voor standplaatsfactoren en gevolgen voor soortensamenstelling. Die effecten staan niet los van bestaande stressfactoren. Veel bestaande stressfactoren worden versterkt: hogere temperaturen en zomerdroogte versterken verdroging, vermesting en verzuring. Verschuiving van geschikte klimaatzones leidt tot problemen wanneer soorten hun verspreidingsgebied niet aan die geschikte klimaatzones kunnen aanpassen door versnippering van het habitat.

De uitdaging bij het beschrijven van de effecten van klimaatverandering is om op een goede manier met onzekerheden om te gaan. Allereerst is er de onzekerheid in het klimaatsysteem zelf. Een manier om met onzekerheid om te gaan is het ontwikkelen van scenario's, zoals de vier klimaatscenario's die het KNMI ontwikkeld heeft. Ook binnen de scenario's zit onzekerheid, bijvoorbeeld de toegenomen kans en frequentie op extreme weersomstandigheden, zoals extreme neerslag, of juist langdurige droogte. Deze extremen hebben grote invloed op de natuur en op andere gebruiksfuncties zoals landbouw en op veiligheid. Echter, de onzekerheid over het moment waarop extremen optreden en de locatie waar ze optreden is groot.

Ook in de kennis over de gevolgen van klimaatverandering voor natuur zitten grote onzekerheden. Deels zijn dat onzekerheden door het stochastische karakter van populaties (je weet nooit precies hoe de overlevingskansen zijn, hoe soorten invloed op elkaar hebben, hoe ze reageren op de omgeving), dit is inherent aan levende organismen en hun interacties.

Een andere bron van onzekerheid zit in kennis die we nu nog niet hebben, maar die wel ontwikkeld zou kunnen worden in onderzoeksprojecten. Het gaat dan bijvoorbeeld om kennis over het effect van extremen op de ontwikkeling van populaties.

Uit de beschrijving van de effecten komt een aantal Beheertypen als zeer kwetsbaar naar voren. Het betreft met name Beheertypen die tot het natuurtype Voedselarme venen en Vochtige heide behoren. Hoogvenen zijn het meest kwetsbaar. Deze typen hebben zowel te maken met relatief veel terugtrekkende soorten als achteruitgang van de standplaatsfactoren door verdroging en eutrofiëring. Bovendien zijn het typen met vaak kleine, versnipperde gebieden. Kortom, allerlei factoren die kwetsbaarheid in de hand werken komen samen bij deze typen.

De onzekerheid voor de effecten van klimaatverandering is groot bij typen die afhankelijk van basenrijke kwel. Mocht de kwel toenemen, dan pakt dit gunstig uit. Zo niet, dan zijn dit ook zeer kwetsbare typen (bijvoorbeeld vochtige schraalgraslanden).

Droge typen (Zandverstuiving, Droge schraalgraslanden) zullen mogelijk profiteren van klimaatverandering. Door hogere temperaturen en droge zomers zullen gunstige standplaatsfactoren meer kans krijgen. Aandachtspunt is hier wel de voedselrijkdom van de bodem door versterkte mineralisatie bij hogere temperaturen. Bovendien is ruimtelijke samenhang cruciaal om soorten ook in staat te stellen mogelijk nieuw habitat te bereiken. Anders worden nieuwe gebieden slechts bevolkt door zich gemakkelijk verspreidende generalisten of opportunisten die niet zo veel bijdragen aan de biodiversiteit, omdat ze nu ook reeds op veel plaatsen en onder verschillende condities voorkomen.

Ook typen van dynamische milieus (kleimoerassen, duinen, kwelders) zullen mogelijk profiteren van klimaatverandering, vanwege de toegenomen kans op dynamiek in de omstandigheden, veroorzaakt door extreme weersomstandigheden. Aandachtspunt is ook hier de ruimtelijke condities.

In het begrip van de effecten van klimaatverandering is het van belang om goed naar de veranderingen die optreden in ecosystemen te kijken en die proberen te duiden. Het relateren van veranderingen in soorten-samenstelling aan de weersomstandigheden, de beschikbaarheid van water en de ruimtelijke kenmerken van gebieden kan allerlei inzichten opleveren die ons helpen in het begrip van de effecten van klimaatverandering. Dit begrip is weer cruciaal voor het ontwerpen of aanpassen van adaptatiemaatregelen.

De verwachting is dat huidige monitoringssystemen een deel van de antwoorden zouden kunnen geven. Toch verdient het aanbeveling om te controleren welke soorten en soortgroepen gemonitord worden. Is er bijvoorbeeld voldoende aandacht voor zowel terugtrekkende als uitbreidende soorten?

Ook het monitoren van de effectiviteit van adaptatiemaatregelen is van belang om te leren van de gevolgen van klimaat en het menselijk ingrijpen op de biodiversiteit. Juist wanneer blijkt dat sommige soorten het erg moeilijk krijgen onder veranderende klimaatomstandigheden en andere soorten zich in Nederland vestigen is het belangrijk om die veranderingen te volgen.

# Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., M.H. Jalink en A.J.M. Jansen, 1997. Indicatorsoorten voor verdroging, verzuring en eutrofiëring van plantengemeenschappen in vennen. Basisrapport en figuren, tabellen en bijlagen (2 delen). Rapport KIWA., Onderzoek en Advies. SWE 94.046.
- Alonso, A. en P. Castro-Diez, 2008. What explains the invading success of the aquatic mud snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca)? *Hydrobiologia* 614: 107-116.
- Arts, G.H.P., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 11, Rijkskanalen. Rapport AS-11 EC-LNV. Wageningen, 56 p.
- Arts, G.H.P., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 13, Vennen. Rapport AS-13 EC-LNV. Wageningen, 80 pp.
- Beckett, 1992. Phenology of the larval Chironomidae of a large temperate nearctic river. *Journal of Freshwater Ecology* 7(3): 303-316.
- Beers, P.W.M. van en P.F.M. Verdonschot, 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 4, Brakke binnenwateren. Rapport AS-04 EC-LNV. Wageningen, 80 pp.
- Besse-Lototskaya, A., R.C.M. Verdonschot, P.F.M. Verdonschot en J. Klostermann, 2007. Doorwerking klimaatverandering in KRW-keuzen: casus beken en beekdalen. Literatuurstudie. Alterra-rapport 1536, 134 p.
- Bleeker, M. en P.F.M. Verdonschot, 2007. Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen, V. Maatregelwijzer Waterbeheer. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1521.
- Bloemendaal, F.H.J.L. en J.G.M. Roelofs, 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. *Natuurhistorische Bibliotheek van de KNNV* nr. 45.
- Boer, K. de en W.J. Wolff, 1996. Tussen zilt en zoet. Voorstudie naar de betekenis van estuariene gradiënten in het Waddengebied. Rijksuniversiteit Groningen, Vakgroep Mariene Biologie.
- Bos, F. en M. Wasscher, 1997. *Veldgids libellen*. Stichting Uitgeverij KNNV, Utrecht.
- Brouwer, E., R. Bobbink R., J.G.M. Roelofs en G.M. Verheggen, 1996. Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring van oppervlaktewateren. Eindrapport monitoringsprogramma tweede fase. Vakgroep Oecologie, Werkgroep Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Dam, H. van en A. Mertens, 2008. Monitoring van vennen 1978-2006: effecten van klimaatverandering en vermindering van verzuring. Grontmij I AquaSense, Amsterdam, rapport nr. 202542 / Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam, rapport nr. 606. 100 p.
- Euro-impacts Position Paper, Impact of climate change on European freshwater ecosystems: consequences, adaptation and policy.

Hall, Jr., R.O., J.L. Tank en M.F. Dybdahl, 2003. Exotic snails dominate nitrogen and carbon cycling in a highly productive stream. *Frontiers in Ecology and Environment* 1: 407-411.

Hartog, C. den, 1964. Typologie des Brackwassers. *Helgolaender wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* 10: 377-390.

Heerebout, G.R., 1970. A classification system for isolated brackish inland waters, based on median chlorinity and chlorinity fluctuation. *Netherlands Journal of Sea Research* 4(4): 494-503.

Higler, 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 7, Laagveenwateren. Rapport AS-07 EC-LNV. Wageningen.

Illies, J., 1978. *Limnofauna Europaea*. Gustav Fischer, Stuttgart, Germany, p. 532.

Jaarsma, N.G. en P.F.M. Verdonschot, 2000a. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 5, Poelen. Rapport AS-05 EC-LNV. Wageningen, 60 p.

Jaarsma, N.G. en P.F.M. Verdonschot, 2000b. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 10, Regionale kanalen. Rapport AS-10 EC-LNV. Wageningen, 60 p.

Jaarsma, N.G. en P.F.M. Verdonschot, 2000c. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 8, Wingaten. Rapport AS-08 EC-LNV. Wageningen, 64 p.

Krebs, B., A. Fortuin en H. Boeyen, 1995. Brakke binnenwateren het beschermen waard. *De Levende Natuur* 96 (1): 14-19.

Milner A.M., 1994. Colonization and succession of invertebrate communities in a new stream in Glaciers Bay National Park, Alaska. *Freshwater Biology* 32: 387-400.

Molen, D.T. van der, 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 9, Rijkswateren. Rapport AS-09 EC-LNV. Wageningen, 68 p.

Mooij, W.M.S., L. Hülsmann, B.A. De Senerpont Domis, B.A. Nolet, P.L.E. Bodelier, P.C.M. Boers, L.M. Dionisio Pires, H.J. Gons, B.W. Ibelings, R. Noordhuis, R. Portielje, K. Wolfstein en E.H.R.R. Lammens, 2005. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquatic Ecology* 39: 381-400.

Mooney, H.A. en J.A. Drake, 1989. Biological invasions: a SCOPE program overview. In: Drake, J.A., Mooney, H.A., Di Castri, F., Groves, R.H., Kruger, F.J., Rejmanek M. en Williamson, M. (red.). *Biological Invasions: A Global Perspective*. SCOPE 37. John Wiley & Sons, Chichester.

Moss, B., D. McKee, D. Atkinson, S.E. Collings, J.W. Eaton, A.B. Gill, L. Harvey, K. Hatton, T. Heyes en D. Wilson, 2003. How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology* 40: 782-792.

Nijboer, R., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 6, Sloten. Rapport AS-06 EC-LNV. Wageningen.

Nooren, M. en B. Beltman, 2007. Moeras. NatuurKennis OBN website.

Nuis, C. en A.J. Rossenaar, 1999. Overlevende vennen bij Staatsbosbeheer. Evaluatie van herstelbeheer in vennen in de periode 1989-1995. Staatsbosbeheer, afdeling terreinbeheer. 42 p. + bijlagen.

Odum, E.P., 1971. *Fundamentals of Ecology*. Saunders Comp., Philadelphia. 574 p.

Oswood, M.W., 1989. Community structure of benthic invertebrates in interior Alaskan (USA) streams and rivers. *Hydrobiologia* 172: 97-110.

Paffen, B.G.P., 1990. Onderzoek naar de mogelijkheden van hoogveenregeneratie in 'De Groote Peel', met speciale aandacht voor de effecten van atmosferische depositie. Vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie, Universiteit van Nijmegen. 113 p. + bijlage.

Paulissen, M.P.C.P., E.P.A.G. Schouwenberg en G.W.W. Wamelink, 2007. Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen. Verkenning en kennislacunes. Alterra-rapport 1545, Alterra, Wageningen.

Paulissen, M.P.C.P. en P.F.M. Verdonschot, 2007. Levensstrategieën van exoten in Nederlandse binnenwateren: Een verkennende studie. Alterra-rapport 1496, 107 p.

Remane, A. en C. Schlieper, 1971. *Biology of brackish water*. Die Binnengewässer volume 15. Stuttgart.

Rijkswaterstaat, 2008. Effectiviteit herstel- en inrichtingsmaatregelen voor KRW en Natura 2000: wat ecologische monitoring ons heeft geleerd. WD rapport 2008.040.

RIZA, 2002. Blauwalgen (Cyanobacteriën).

Roelofs, J.G.M., J.A.A.R. Schuurkes en A.J.M. Smits, 1984. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters. II Experimental studies. *Aquatic Botany* 18: 389-411.

Rossaro, B., 1991. Chironomics and watertemperature. *Aq. Insects* 13(2): 87-98.

Schaminée, J. en A. Jansen (red.), 1998. Wegen naar natuurdoeltypen. Ontwikkelingsreeksen en hun indicatoren voor herstelbeheer en natuurontwikkeling (sporen A en B). Rapport IKC Natuurbeheer nr. 26. 320 p.

Scheffer, M., S.H. Hosper, M.L. Meijer, B. Moss en E. Jeppesen, 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends Ecol. Evol.* 8: 275-279.

Segal, S., 1965. Een vegetatie-onderzoek van hogere waterplanten in Nederland. Wetenschappelijke mededelingen van de K.N.N.V., nr. 57. Hoogwoud (N.-H.).

Staatsbosbeheer, 2009. Faciliteren inspraak waterplannen: Een verkenning van de waterplannen van Rijkswaterstaat, provincies en waterschappen op de doelen voor het natuurbeheer. Concept-rapport, 258 p.

Thiennemann, A. 1922. Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen (I-IV). *Arch. f. Hydrobiol.* XIV: 151-190.

Tobias, W. en D. Tobias, 1981. *Trichoptera Germanica*. Bestimmungstabellen für die Deutschen Köcherfliegen. Teil I: Imagines. Courier Forschungsinstitut Senckenberg. Frankfurt.

Torenbeek, R., 1988. Hydrobiologie en waterhuishouding: een beleidsvoorbereidende studie. RIN-rapport 88/55. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

- Verdonschot, P.F.M. (red.), 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. STOWA / Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, subgroep Beekherstel., 95-03 / WEW-06.
- Verdonschot, P.F.M., 2000a. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 1, Bronnen. Rapport AS-01 EC-LNV. Wageningen, 88 p.
- Verdonschot, P.F.M., 2000b. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 2, Beken. Rapport AS-02 EC-LNV. Wageningen, 128 p.
- Verdonschot, P.F.M., 2009. Verkenning van de steekmuggen- en knuttenproblematiek bij klimaatverandering en vernatting. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1856, 76 p.
- Verdonschot, P.F.M. (in druk). Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving: Flexibele toepassing van het 5B-concept in Peel en Maasvallei, 60 p.
- Verdonschot, P.F.M. en S.N. Janssen, 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 12, Zoete duinwateren. Rapport AS-12 EC-LNV. Wageningen, 80 p.
- Verdonschot, P., E. Peeters, J. Schot, G. Arts, J. van der Straaten en M. van den Hoorn, 1997. Waternatuur in de regionale blauwe ruimte. Gemeenschapstypen in regionale oppervlaktewateren. Achtergronddocument 2A Natuurverkenningen 1997. IKC-natuurbeheer, Wageningen.
- Verdonschot, R.C.M., H.J. de Lange, P.F.M. Verdonschot en A. Besse, 2007. Klimaatverandering en aquatische biodiversiteit: literatuurstudie naar temperatuur. Alterra-rapport 1451, 128 p.
- Verhoeven, J.T.A. en R. Bobbink, 2001. Plant diversity of fen landscapes in the Netherlands. In: Gopal, B. (eds.) Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation. Leiden, the Netherlands: Backhuys Publishers.
- Vierssen, W. van en J.T.A. Verhoeven, 1983. Plant and animal communities in brackish supra-littoral pools ('dobben') in the northern part of the Netherlands. *Hydrobiologia* 98: 203-221.
- Wetzel, R.G., 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. San Diego, Academic Press, 1006 p.
- Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, 1995. Levensgemeenschappen van brakke wateren, aanzet tot beschrijving en bescherming. WEW-Thema-nummer 05.
- World Health Organization, 2004. The vector-borne human infections of Europe. Their distribution and burden on public health. WHO publication, 144 p.
- Araújo, M.B., W. Thuiller en R.G. Pearson, 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33: 1677-1688.
- Ashcroft, M.B., L.A. Chisholm en K.O. French, 2009. Climate change at the landscape scale: predicting fine-grained spatial heterogeneity in warming and potential refugia for vegetation. *Global Change Biology* 15: 656-667.

Bakkenes, M., J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans en 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.

Bal, D., H.M. Beije, Y.R. Hoogeveen, S.R. Jansen en P.J. van der Reest, 1995. *Handboek Natuurdoeltypen in Nederland*. IKC-Natuurbeheer, Wageningen.

Beintema A.J., R.J. Beintema-Hietbrink en G.J.D.M. Müskens, 1985. A shift in the timing of breeding in meadow birds. *Ardea* 73: 83-89.

Berry, P.M., A.P. Jones, R.J. Nicholls en C.C. Vos (eds.), 2007. Assessment of the vulnerability of terrestrial and coastal habitats and species in Europe to climate change, Annex 2 of Planning for biodiversity in a changing climate-BRANCH project Final Report. Natural England. UK.

Bijlsma, R.J., R. de Waal, P. Hommel en H. Diemont, 2009a. Heide met een dikke H: een miskend onderdeel van een veerkrachtig heidelandschap. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 6(2): 2-5.

Bijlsma, R.J., R.W. de Waal en E. Verkaik, 2009b. Natuurkwaliteit dankzij extensief beheer. Nieuwe mogelijkheden voor beheer gericht op een veerkrachtig bos- en heidelandschap. *Alterra-rapport 1902*, Wageningen.

Blom-Zandstra, M., M.P.C.P. Paulissen, C.C. Vos en H.J. Agricola, 2008. Effecten van klimaatverandering op landbouw en adaptatiestrategieën. Wageningen : Plant Research International, (Rapport / Plant Research International 182).

Bokdam, J., 2003. Nature conservation and grazing management : free-ranging cattle as a driving force for cyclic vegetation succession. PhD thesis, Wageningen Universiteit.

Both, C., T. Piersma en S.P. Roodbergen, 2005. Climatic change explains much of the 20<sup>th</sup> century advance in laying date of Northern Lapwing *Vanellus vanellus* in the Netherlands. *Ardea* 93(1): 79-88.

Bunn, A.G., S.J. Goetz, J.S. Kimball en K. Zhang, 2007. Northern high-latitude ecosystems respond to climate change. *EOS, Transactions, American Geophysical Union* 88: 333-340.

Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogée, V. Allard, M. Aubinet, N. Buchmann, C. Bernhofer, A. Carrara, F. Chevallier, N. de Noblet, A.D. Friend, P. Friedlingstein, T. Grünwald, B. Heinesch, P. Keronen, A. Knohl, G. Krinner, D. Loustau, G. Manca, G. Matteucci, F. Miglietta, J.M. Ourcival, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, G. Seufert, J.F. Soussana, M.J. Sanz, E.D. Schulze, T. Vesala en R. Valentini, 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533.

Doody, P., M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, A. Salman en M. Smallegange (eds.), 2004. Living with coastal erosion in Europe. Sediment and space for sustainability. Results from the EuroSION study.

Easterling, D.R., G.A. Meehl, C., Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl en L.O. Mearns, 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289: 2068-2074.

Gardiner, S., A. Ingleby, S. Jude, R.J. Nicholls, I. Rauss en A. Williams (eds.), 2007. Developing spatial planning tools and guidance to enable biodiversity to adapt to climate change, Annex 3 of 'planning for biodiversity in a changing climate-BRANCH project Final Report, Natural England, UK.

- Geertsema, W., R. Bugter, M. van Eupen, S. van Rooij, T. van der Sluis en M. van der Veen, 2009. Robuuste Verbindingen en Klimaatverandering, Alterra-rapport 1886. Alterra, Wageningen.
- Hansen, L., J. Hoffman, C. Drews en E. Mielbrecht, 2010. Designing climate-smart conservation: guidance and case studies. *Conservation Biology* 24: 63-69.
- Heijmans, M.M.P.D. en F. Berendse, 2009. State of the art review on climate change impacts on natural ecosystems and adaptation. KvK-rapport KvK009/2009.
- Hofstede, J.L.A., 2003. Integrated management of artificially created salt marshes in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein, Germany. *Wetlands Ecology and Management* 11: 183-194.
- Huntley, B., R.E. Green, Y.C. Collingham en S.G. Willis, 2007. *A Climatic Atlas of European Breeding Birds*. Lynx Editions, Barcelona.
- IPCC, 2001. *Climate change 2001. Impacts adaptation and vulnerability. Summary for policymakers*, Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Kaila, L., J. Kullberg, T. Tammaru, W.J. Tennent, J.A. Thomas en M. Warren, 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with global warming. *Nature* 399: 579-583.
- Kattenberg, A. (red.), 2008. *De toestand van het klimaat in Nederland 2008*. KNMI De Bilt.
- Keith, S.A., A.C. Newton, R.J.H. Herbert, M.D. Morecroft en C.E. Bealy, 2009. Non-analogous community formation in response to climate change. *Journal for Nature Conservation* 17: 228-235.
- Kleijn, D., H. Schekkerman, W.J. Dimmers, R.J.M. van Kats, T.C.P. Melman en W.A. Teunissen, 2010. Adverse effects of agricultural intensification and climate change on breeding habitat quality of Black-tailed godwits *Limosa l. limosa* in the Netherlands. *IBIS* 152: 475-486
- Kooiman, J.W., B. van der Wateren, K. Maas, J.P.M. Witte, G. Cirkel, J. Grijpstra, F. Schars, G. Oude Essink en J. Stroom, 2005. *Het zout der aarde: eindrapport. Kwantificering van de huidige en toekomstige (2050) knelpunten verzilting voor Rijnland*. Kiwa-rapport KWR 04.048, Nieuwegein.
- Kramer, K. en I. Geijzendorffer, 2009. *Ecologische veerkracht. Concept voor natuurbeheer en natuurbeleid*, Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Lammers, G.W., A. van Hinsberg, W. Loonen, M.J.S.M. Reijnen en M.E. Sanders, 2005. *Optimalisatie Ecologische Hoofdstructuur*. Milieu- en Natuurplanbureau Rapport nr. 408768003. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- McCarthy, J.P., 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15: 320-331.
- Opdam, P. en R. Pouwels (eds.), 2006. *De Ecologische Hoofdstructuur en klimaatverandering: waar kunnen we het beste investeren in meer ecologische veerkracht?* Alterra-rapport 1311.
- Opdam, P.F.M., M.E.A. Broekmeyer en F.H. Kistenkas, 2009. Identifying uncertainties in judging the significance of human impacts on Natura 2000 sites. *Environmental Science & Policy* 12: 912-921.



- Parmesan, C. en G. Yohe, 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-69
- Parmesan, C., T.L. Root en M.R. Willig, 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *B. Am. Meteorol. Soc.* 81: 443-450.
- Prentice, I.C., W. Cramer, S.P. Harrison, R. Leemans, R.A. Monserud en A.M. Solomon, 1992. A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography* 19: 117-134.
- Roos, R. en S. Woudenberg (red.), 2004. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu.
- Schipper, P.C. en H.N. Siebel, 2008. Index Natuur en Landschap Onderdeel Natuurbeheer, versie 0.2. Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, De Landschappen, Unie van Bosgroepen, Federatie Particulier Grondbezit, Dienst vastgoed Defensie.
- Schweiger, O., J. Settele, O. Kudrna, S. Klotz en I. Kühn, 2008. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89: 3472-3479.
- Settele, J., O. Kudrna, A. Harpke, I. Kuehn, C. van Swaay, R. Verovnik, M. Warren, M. Wiemers, J. Hanspach, T. Hickler, E. Kuehn, I. van Halder, K. Veling, A. Vliegthart, I. Wynhoff en O. Schweiger, 2008. Climatic Risk Atlas of European Butterflies, *Biorisk* 1 (Special issue).
- Siebel, H.N. en R.J. Bijlsma, 2007. Europese verspreiding en status van Nederlandse mossen. *Buxbaumiella* 77: 22-48.
- Suttle, K.B., M.A. Thomsen en M.E. Power, 2007. Species interactions reverse grassland responses to changing climate. *Science* 315: 640-642.
- Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J. Vroon, 2009. Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte. *Alterra-rapport 1791*. Alterra, Wageningen.
- Veen, M. van der, E. Wiesenekker, B.S.J. Nijhoff en C.C. Vos, 2010. Klimaat Respons Database, versie 2.0. Ontwikkeld binnen het Klimaat voor Ruimte Programma, Project A2, Adaptatie EHS.
- Herwaarden, C. van en H. Ketelaar, 2006. Invloed van klimaatverandering op kwel en wegzijging langs de grote rivieren. *H2O* 5: 36-38.
- Walsum, P.E.V. van, P.F.M. Verdonschot en J. Runhaar, 2002. Effects of climate and land-use change on lowland ecosystems. *Alterra-report 523*. Alterra, Green World Research, Wageningen.
- Vonk, M., C.C. Vos en D.C.J. van de Hoek, 2010. Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag/Bilthoven, 2010.

Vos, C.C., B.S.J. Nijhof, M. van der Veen, P.F.M. Opdam en J. Verboom, 2007. Risicoanalyse kwetsbaarheid natuur voor klimaatverandering. Rapport 1551.

Vos, C.C., P. Berry, P. Opdam, H. Baveco, B. Nijhof, J. O'Hanley, C. Bell en H. Kuipers, 2008a. Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology* 45: 1722-1731

Vos, C.C., H. Kuipers, R. Wegman en M. van der Veen, 2008b. Klimaatverandering en natuur: identificatie knelpunten als eerste stap naar adaptatie van de EHS. Rapport 1602.

Walther, G.R., E. Post, P. Convey, M. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg en F. Bairlein, 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.

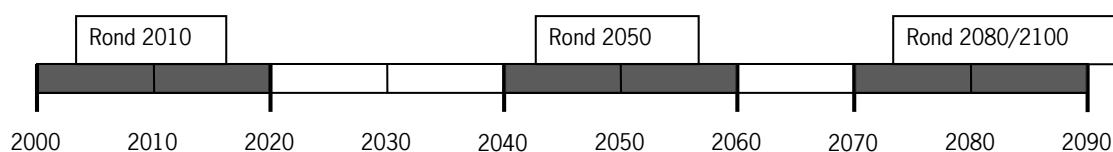
White, T.A., B.D. Campbell, P.D. Kemp en C.L. Hunt, 2001. Impacts of extreme climatic events on competition during grassland invasions. *Global Change Biology* 7: 1-13.

Witte, J.P.M., J. Runhaar en R. van Ek, 2009. Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland, KWR rapport 2009.032.

# Bijlage 1 Overzicht indeling klimaatresponsgroepen

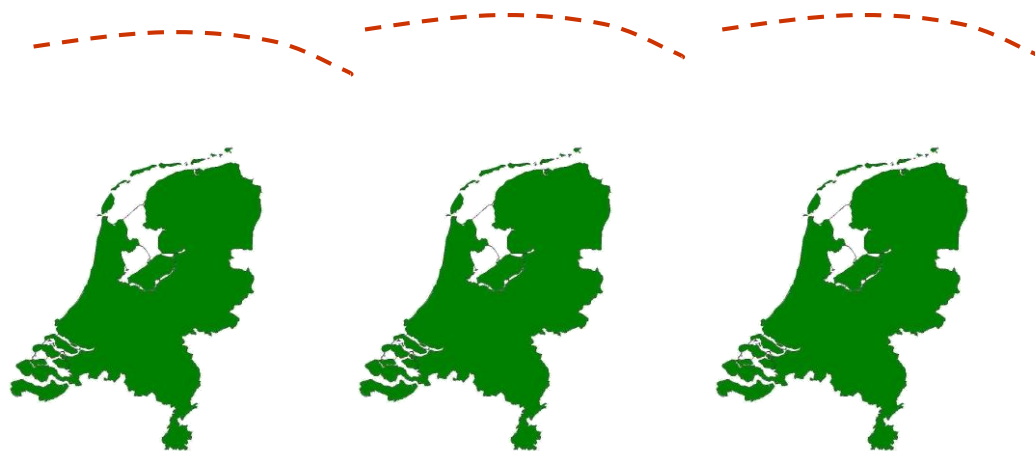
## Algemeen

Klimaat envelopmodellen voorspellen de verschuiving van de geschikte klimaatzone voor een groot aantal soorten. De voorspelde veranderingen in verspreidingspatronen van soorten in Nederland zijn geïnterpreteerd en geclassificeerd in zogenaamde klimaatresponsgroepen. Deze classificatie wordt geïllustreerd in onderstaande figuren.



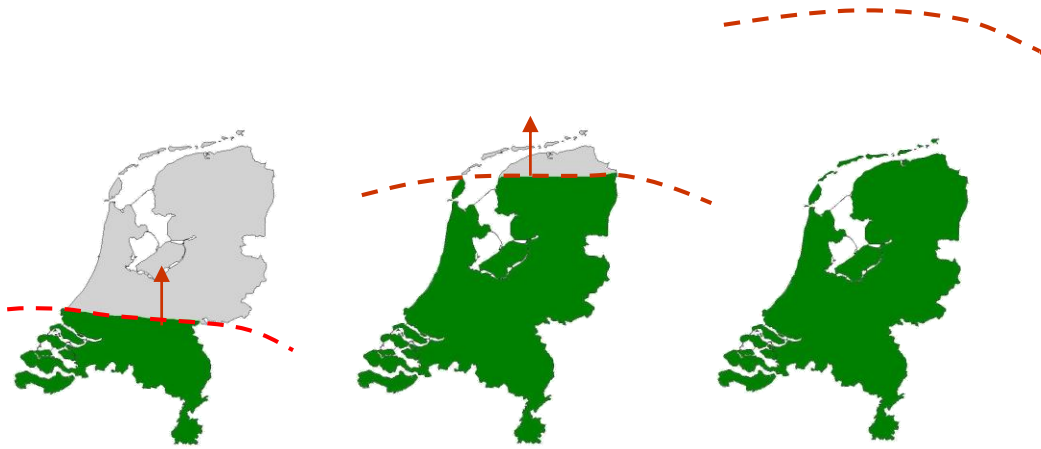
## Centraal

*Verspreidingsgebied van de soort ligt centraal in de klimaatvelop nu en in de toekomst.*



**Uitbreidend/warmteminnend 1**

Modelanalyse: soort komt nu in minder dan de helft voor in Nederland maar neemt toe tot meer dan de helft in 2050 en is rond 2080 (of voor vogels 2100) centraal.



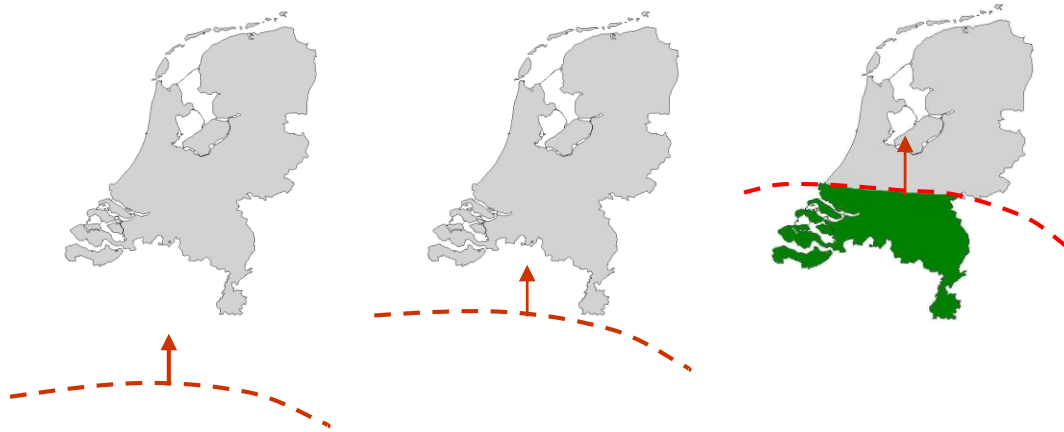
**Uitbreidend/warmteminnend 2**

Modelanalyse: soort komt nu niet voor in Nederland maar zal rond 2050 verschijnen en uitbreiden tot meer dan de helft rond 2080 (of voor vogels 2100).



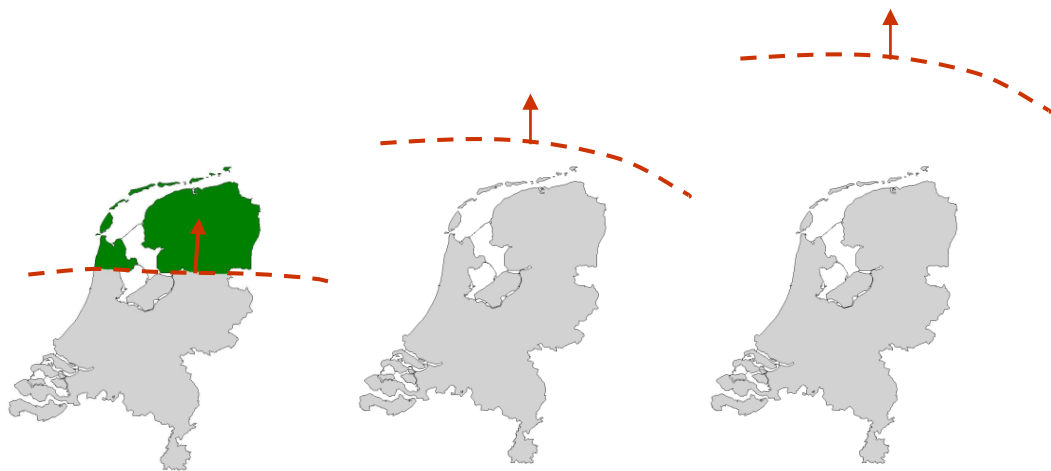
***Uitbreidend/warmteminnend 3***

*Modelanalyse: soort komt nu en rond 2050 niet voor in Nederland en zal rond 2080 (of voor vogels 2100) verschijnen.*



***Terugtrekkend/koudeminnend 1***

*Modelanalyse: soort komt nu voor maar neemt al af en is rond 2050 verdwenen.*



**Terugtrekkend/koudeminnend 2**

Modelanalyse: soort is in meer dan de helft aanwezig maar neemt af rond 2050 en is rond 2080 (of voor vogels 2100) verdwenen.



**Terugtrekkend/koudeminnend 3**

Modelanalyse: soort is nu centraal aanwezig, neemt af rond 2050 maar is nog in meer dan de helft aanwezig en is rond 2080 (of voor vogels 2100) in minder dan de helft aanwezig in Nederland.





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl)