



Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden - Gelderland



Copyright © 2011

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden - Gelderland

Auteurs

W.Geertsema¹, H. Runhaar², T. Spek³, E. Steingröver¹, J.P.M. Witte²

met medewerking van:

H. Agricola¹, J. van Engelenburg⁴, G.M. Kiljan³, G. Maas¹, J. Moorman³, L. Gerner⁵, J. Koornberg⁶



¹ Alterra Wageningen UR, ² KWR, ³ Provincie Gelderland, ⁴ Vitens, ⁵ Waterschap Rijn en IJssel,
⁶ Waterschap Veluwe

KvK rapportnummer KvK/034/2011

ISBN 978-94-90070-41-0

Dit onderzoekproject (HSDR01; Klimaatadaptatie droge rurale zandgronden - Gelderland) werd uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoekprogramma wordt medefinancierd door het Ministerie van I&M.



Inhoudsopgave

Samenvatting	9
Summary	11
Extended summary	13
Deel I.....	17
Inleiding.....	17
1 Inleiding.....	19
1.1 Achtergrond.....	19
1.2 Doelstellingen	19
1.3 Aanpak project.....	20
1.4 Selectie studiegebieden.....	20
1.5 Opbouw rapport	21
Deel II	23
Effecten en adaptatie klimaatverandering op hoge zandgronden	23
2 Klimaatscenario's	25
3 Effecten klimaatverandering op water	29
3.1 Inleiding	29
3.2 Oppervlaktewater.....	29
3.3 Grondwater.....	33
4 Effecten klimaatverandering op natuur	37
4.1 Inleiding	37
4.2 Grondwater, bodem en vegetatie	38
4.3 Competitieverhoudingen planten en CO ₂	41
4.4 Consequenties klimaatverandering voor de hydrologische modellering	41
4.5 Consequenties klimaatverandering voor ecohydrologische modellering	42
4.6 Fenologie en mismatch in tijd.....	45
4.7 Genetische adaptatie.....	46
4.8 Verandering verspreidingspatronen.....	46
4.9 Effect van extremen: populatie fluctuaties	49



4.10	Veranderingen in soortensamenstelling ecosystemen	49
5	Effecten van klimaatverandering op landbouw	53
5.1	Inleiding	53
5.2	Effecten van veranderingen in temperatuur en neerslagpatronen.....	53
5.3	Gevolgen voor de landbouwsector.....	56
6	Adaptatiemogelijkheden.....	57
6.1	Inleiding	57
6.2	Adaptatiemogelijkheden natuur.....	57
6.3	Adaptatiemogelijkheden landbouw	64
Deel III	69
Toepassing in case studiegebieden Baakse Beek en Blauwe Bron		69
7	Gebiedsbeschrijving Baakse Beek	71
7.1	Algemeen	71
7.2	Ontwikkeling van landbouw, natuur, landschap en water	71
7.3	De hydrologie van het gebied.....	76
7.4	Waterkwaliteit/ecologie	77
7.5	De natuur van het gebied	78
7.6	Knelpunten Natuur en water	78
7.7	Knelpunt landbouw en water	79
7.8	De opgaven voor de hoofdwaterlopen.....	79
7.9	Drinkwater	81
7.10	Grondwater.....	82
7.11	Tenslotte	83
8	Blauwe Bron	85
8.1	Algemeen	85
8.2	De geomorfologie in het gebied de Blauwe Bron.....	86
8.3	Het oppervlaktewatersysteem in het gebied de Blauwe Bron.....	88
8.4	Grondwatersysteem	90
8.5	Waterkwaliteit	91
8.6	Waterketen en drinkwaterwinning	92
8.7	Grondwaterdynamiek.....	93
8.8	Grondwaterkwaliteit.....	93
8.9	Landbouw	94
8.10	Natuur.....	95



8.11	Water- en Natuuropgaven.....	98
8.12	Externe ontwikkelingen	99
9	Kennisbehoefte in de gebieden	101
9.1	Kennisuitwisseling.....	101
9.2	Vragen uit de Baakse Beek	102
9.3	Vragen uit de Blauwe Bron	107
9.4	Classificatie van vragen.....	110
10	Conclusies.....	115
	Literatuur.....	117
	Bijlage 1: Enkele beschikbare modellen.....	127
	Bijlage 2: Deelnemers workshops 2 studiegebieden	143





Samenvatting

Het doel van dit project is een beeld te krijgen van de gevolgen van klimaatveranderingen voor de droge zandgronden van de provincie Gelderland, om de gevolgen van klimaatverandering in gebiedsontwikkelingsprocessen in te bouwen in de gebieden 'Baakse Beek' en 'Blauwe Bron'. In workshops werd door wetenschappers en betrokkenen bij de gebiedsprocessen kennis over effecten van klimaatverandering en adaptatiemogelijkheden gedeeld en werden kennisleemten geïdentificeerd, om de gebiedsprocessen klimaatbestendig te maken.

Door klimaatverandering neemt zowel de kans op droogte in de zomer als de kans op wateroverlast toe. Wateroverlast wordt vooral in de winter, maar ook in de zomer verwacht. De huidige inrichting van de waterhuishouding is gericht op het voorkomen van wateroverlast, dit versterkt het effect van droogte. Tegelijkertijd kan hevige neerslag nog steeds tot overlast leiden.

In beide gebieden is behoefte aan inzicht in de effecten van klimaatverandering op de hydrologie, met name de grondwateraanvulling. Ook is er behoefte aan nadere onderbouwing van normen voor ruimtelijke samenhang voor ecologische netwerken om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen. Vanuit de landbouw is er behoefte aan inzicht in de gevolgen van droogte en mogelijke adaptatiemaatregelen. Veel van de fundamentele vragen zullen in vervolgonderzoek binnen KvK worden opgepakt.





Summary

The aim of this project is to give an overview of the consequences of climate change and possible adaptation measures on dry sandy areas in the rural areas of the province of Gelderland, the Netherlands. This is needed for the inclusion of climate adaptation measures in landscape development processes in two case study areas 'Baakse Beek' and 'Blauwe Bron'. Scientists and stakeholders from the two areas shared knowledge about relevant themes.

11

Climate change increases the probability of summer drought as well as water surplus. The current design of the water management in the areas aims at a quick drainage of water surplus. This enhances problems with drought, for nature and agriculture. Still the risk of damage caused by extreme precipitation is real.

There is a need for more insight in the effects of climate change on the hydrology, especially the groundwater recharge. There is a need for further knowledge of the spatial cohesion of ecological networks needed for sustainable ecosystems under climate change. From agriculture there is a need for more knowledge about the consequences of drought and possible adaptation measures for farming systems. Many of these questions are included in the next phase of the Knowledge for Climate program.





Extended summary

The province of Gelderland, the Netherlands has initiated a climate program 'Act and Adapt' ('*Aanpakken en Aanpassen*') in 2008, with the aim to integrate climate targets (mitigation and adaptation) in different policy themes. Including climate adaptation measures in rural development is among these themes. The provincial government supports regional stakeholders in this process. Bringing together regional stakeholders and scientists in this project in the Knowledge for Climate research program is one way to exchange knowledge for the development of climate adaptation strategies.

The aim of this project is to give an overview of the consequences of climate change and possible adaptation measures on dry sandy areas in the rural areas of the province of Gelderland, the Netherlands. This is needed for the inclusion of climate adaptation measures in landscape development processes in two case study areas 'Baakse Beek' and 'Blauwe Bron'. In both areas agriculture and nature are important land use factors. Creek systems, partly natural, partly man-made are crucial elements in the functioning of the water cycle. Challenges for the areas are the future of a vital agricultural sector, together with viable ecosystems which are currently threatened by factors such as drought through drainage and by fragmentation. The current landscapes are appreciated for their cultural historical identity, supported by the mosaic of agriculture and nature.

Scientists and regional stakeholders worked together in this project. They made an inventory of the current scientific knowledge about the effects of climate change on land use in rural areas on sandy soils, with a focus on water, including drinking water extraction, nature and agriculture. In workshops scientists and regional stakeholders exchanged knowledge about climate change effects and adaptation. The regional stakeholders identified knowledge gaps for including climate adaptation measures in the regional development of rural areas.

The consequence of climate change in the Netherlands is an increase in average temperatures, on average an increase in precipitation, but the distribution of precipitation over the year will be less balanced, with an increase in frequency and intensity of weather extremes. Climate change has many consequences for the hydrological cycle, for both the surface water and the groundwater systems. Crucial is what happens with the groundwater recharge. Different feed-back mechanisms in the vegetation influence the relation between temperature, precipitation and evapotranspiration and the resulting groundwater recharge. The current design of the water management in the areas aims at a quick drainage of water surplus. This enhances problems with drought, for



nature and agriculture. Still the risk of damage caused by extreme precipitation is real across different climate scenarios.

Climate change has direct and indirect consequences for nature and agriculture. The effects on the water cycle play a central role in the effects. Higher temperatures and changes in groundwater level accelerate the mineralization processes. This leads to eutrophication of soils. The probability of summer drought will lead to more frequent drying up of creeks, which has negative effects for the aquatic macro fauna. Dry vegetations will become more open and dynamic when dry summers more frequently occur. More frequent weather extremes will also lead to more severe fluctuations in population size of flora and fauna species, which threatens small populations.

Climate change influences species through changes in physiology and the phenology (timing of life-cycle events such as flowering, seed set, egg production, bird migration, etc). Climate change leads to the shift of suitable climate zones causing the retreat of some species from the Netherlands, the expansion of others.

Climate change influences agricultural systems, both plant and animal production. Higher CO₂ concentrations stimulate plant growth and higher temperatures can lead to a longer growing season. Drier summers cause drought damage. Heavy rainfall in the growing season leads to damage to the crops, heavy rainfall at the end of the growing season leads to problems with harvesting. Higher temperatures and wet conditions may favor pests and diseases. High temperatures and heat waves can cause problems for animal well being.

A climate adaptation strategy should comprise measures to compensate for negative effects as described above, such as drought damage in nature and agriculture or crop damage because of heavy rainfall and profit from positive effects as described, such as longer growing season for arable crops and the probability for new species which expand their range because of higher temperatures. In a strategy for water management, the main idea is to create a robust and resilient water system that can deal with the extremes, both in shortage and in surplus of water. The key is in slowing the discharge of water from the area and providing locations for water retention. These measures also decrease drought stress, an important threat for many ecosystems in the study areas. To prevent flooding, the dimensions of water bodies (creeks, ditches) should be adapted to the expected increase in precipitation.

The adaptation strategy for nature should aim for resilient ecosystems, which are able to recover after disturbances or cope with changed conditions. Measures on different scale levels contribute to resilient ecosystems. Resili-



ence of ecosystems is increased by increasing the spatial cohesion, heterogeneity, abiotic quality and gradients within ecological networks. Smaller landscape elements within green-blue networks in agricultural landscapes can support the spatial cohesion of ecosystem networks.

The adaptation strategy for agriculture includes measures on field, farm, and regional scale. Adaptation to weather extremes can be achieved by increasing the variation in moist conditions on a farm. The development of new crop varieties better adapted to drier, warmer conditions can be included in the adaptation strategy. Animal farming systems need cooling during hot summers. Green-blue veining in agricultural landscapes can support ecosystem services that favor farming systems. Pollination, natural pest control and water purification are some examples of such ecosystem services.

Adaptation strategies for water, nature and agriculture should not be implemented in isolation of each other. Some adaptation measures for nature and agriculture support each other and can be integrated. In other areas adaptation measures conflict between the sectors, there it is more effective to prioritize between sectors. This balancing of integration versus separation is present in the current plans for the case study areas.

Regional stakeholders identified knowledge gaps for the development of climate proof rural areas. There is a need for more fundamental knowledge about the effects of climate change on the hydrological system, especially the groundwater recharge, and the role of the geomorphology in both areas. Also there is a need for further knowledge of the spatial cohesion of ecological networks needed for sustainable ecosystems under climate change. A lot of current knowledge about spatial cohesion of ecological networks and thresholds for viable populations does not take the effect of weather extremes and the shift of suitable climate zones into account.

There is a need for knowledge about the effect of drought on the viability of farming systems and climate-proof norms for the drainage system. Knowledge about which factors influence the decisions of farmers about adaptation measures is limited. In general regional stakeholders need more knowledge about how to communicate the need for adaptation measures with the general public. Many of these questions are included in the next phase of the Knowledge for Climate program.

The interaction between scientists and regional stakeholders supported the exchange of current knowledge related to climate change and the consequences for land use in the case study areas. The ongoing process of regional development can continue developing plans and taking measures based on the current



knowledge. Yet, there is uncertainty in the climate system itself and uncertainty because of knowledge gaps. Spatial planning processes can deal with this uncertainty, by identifying no-regret measures, which are effective under a variety of circumstances.



Deel I

Inleiding





1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2008 heeft de provincie Gelderland haar klimaatprogramma “Aanpakken en Aanpassen” gepresenteerd. De kracht van dit programma is mede afhankelijk van de integratie van klimaatdoelen in andere beleidsterreinen. Omgekeerd zijn diverse projecten en acties uit het klimaatprogramma van invloed op andere beleidsdoelen, zoals een vitaal platteland, een hoog peil van kennis en innovatie (exportwaardig), en natuur- en waterdoelen. Het klimaatprogramma heeft dus ook een plaats in het huidige plattelandsbeleid van de provincie. De provincie stimuleert en ondersteunt partijen zoals gemeenten, het bedrijfsleven en kennisinstellingen zodat de doelen in het Gelders klimaatprogramma gerealiseerd worden. Eén van de manieren waarop de provincie dat doet is door partijen bij elkaar te brengen, krachten te bundelen, kennis op te bouwen en uit te wisselen. Zo heeft de provincie ook samen met haar regionale partners, waterschappen en waterbedrijf er voor gekozen een kennisproject onder de vlag ‘Hotspot Droge Rurale Zandgronden’ te starten. De provincie Noord-Brabant heeft binnen deze hotspot een soortgelijk project op gezet. Beide projecten zijn in het voortraject afgestemd en tijdens de uitvoering is ook afstemming gezocht. Door twee verschillende benaderingen voor vergelijkbare opgaven wordt van elkaar geleerd.

1.2 Doelstellingen

Het doel van dit project is een beeld te krijgen van de gevolgen van klimaatveranderingen voor de droge zandgronden van de provincie Gelderland. Binnen dit doel is een aantal nevendoelen te onderscheiden:

1. Het inventariseren van wetenschappelijke kennis die relevant kan zijn voor de droge zandgronden van de provincie Gelderland.
2. Het bijeenbrengen van gebiedskennis over deze zandgronden.
3. Praktijk en wetenschap bij elkaar brengen door onderzoekers en stakeholders met elkaar van gedachte te laten wisselen over de gevolgen van klimaatverandering, over mogelijke adaptieve maatregelen en kennishiaten binnen deze thema's te identificeren.

Uiteindelijk dienen de effecten van klimaatverandering op water, natuur en landbouw en de mogelijke adaptatiestrategieën binnen lopende gebiedsprocessen te worden geïntegreerd.



1.3 Aanpak project

Er zijn twee studiegebieden geselecteerd, beide representatief voor grote delen van de provincie: het stroomgebied van de Baakse Beek en de Blauwe Bron (Figuur 1.1). Voor ieder gebied is een projectteam gevormd bestaande uit de trekker van het gebiedsproces (programmamanager of gebiedsontwikkelaar) en vertegenwoordigers van het waterschap, het waterbedrijf, de provincie en de kennisinstellingen Alterra en KWR. Ieder team inventariseerde de huidige en potentiële problemen ten aanzien van klimaatverandering en water, de bestaande ruimtelijke plannen en samenwerkingsverbanden en de mogelijke adaptatiemaatregelen. De wetenschappelijke partners inventariseerden de beschikbare kennis over klimaatverandering en de effecten op de waterhuishouding, landbouw en natuur.

Per studiegebied zijn twee workshops georganiseerd. Om de lopende gebiedsprocessen niet te verstoren, is op uitdrukkelijke wens van de trekkers van de gebiedsprocessen besloten om voor de workshops met een brede vertegenwoordiging uit de gebieden te werken en niet alle bij het gebiedsproces betrokken personen uit te nodigen. In de eerste workshop stelden de projectteams gezamenlijk de kennisvragen op per gebied. Voor de tweede workshop werden vertegenwoordigers uitgenodigd van relevante lokale organisaties, die gevraagd werden de kennisvragen te controleren op herkenbaarheid en relevantie voor het gebied en aan te vullen. De door de stakeholders als relevant beoordeelde kennisvragen zijn daarna door de wetenschappelijke partners gestructureerd in vragen i) op te lossen met bestaande kennis, ii) op te lossen met toegepast onderzoek, iii) op te lossen met extra fundamenteel onderzoek en iv) niet op te lossen. Om goed aan te sluiten bij de volgende fase van Klimaat voor klimaat zijn de kennisvragen vertaald naar onderzoeksvragen op het gebied van de waterhuishouding, landbouw en natuur.

1.4 Selectie studiegebieden

In het stroomgebied van de Baakse Beek en in het gebied de Blauwe Bron (Oost - Veluwe) vinden momenteel geïntegreerde inrichtingsprocessen plaats. Hierbij zijn de waterhuishouding, de waterwinning, de natuur, de landbouw, recreatie en de cultuurhistorie belangrijke componenten. De opgaven van natuur en water die hierin meegenomen worden zijn de realisering van een robuuste EHS en kwaliteitsverbetering van de bestaande EHS met prioriteit voor verdrogingbestrijding in toplist gebieden. Er is al een reeks visies en plannen beschikbaar op onderdelen, die in 2010 dienen te leiden tot een integrale uitvoeringsagenda. Twee belangrijke onderdelen waarover een helder totaalbeeld voor dit gebiedsproces nu ontbreekt, zijn de gevolgen van klimaatverandering op het wa-



tersysteem en de biodiversiteit. Dit geldt voor het detailniveau van standplaats en perceelsniveau, tot robuuste eenheden, en tot regionale, nationale en zelfs internationale samenhang tussen natuurgebieden. Vanuit het Kennis voor Klimaatonderzoek (KvK) kunnen die belangrijke inzichten bij elkaar komen en in gebundelde vorm een bijdrage leveren aan een gebiedproces gericht op een integrale robuuste gebiedsinrichting voor de lange termijn.

1.5 Opbouw rapport

Dit rapport bestaat uit drie delen. Deel I, 'Inleiding', bestaat uit dit hoofdstuk, en geeft algemene informatie over het project. Deel II 'Effecten en adaptatie klimaatverandering op hoge zandgronden' beschrijft de stand van zaken van de kennis over de gevolgen van klimaatverandering voor water, natuur en landbouw. Deel III 'Toepassing in case studiegebieden Baakse Beek en Blauwe Bron' is toespitst op de klimaatgevolgen in de twee studiegebieden.

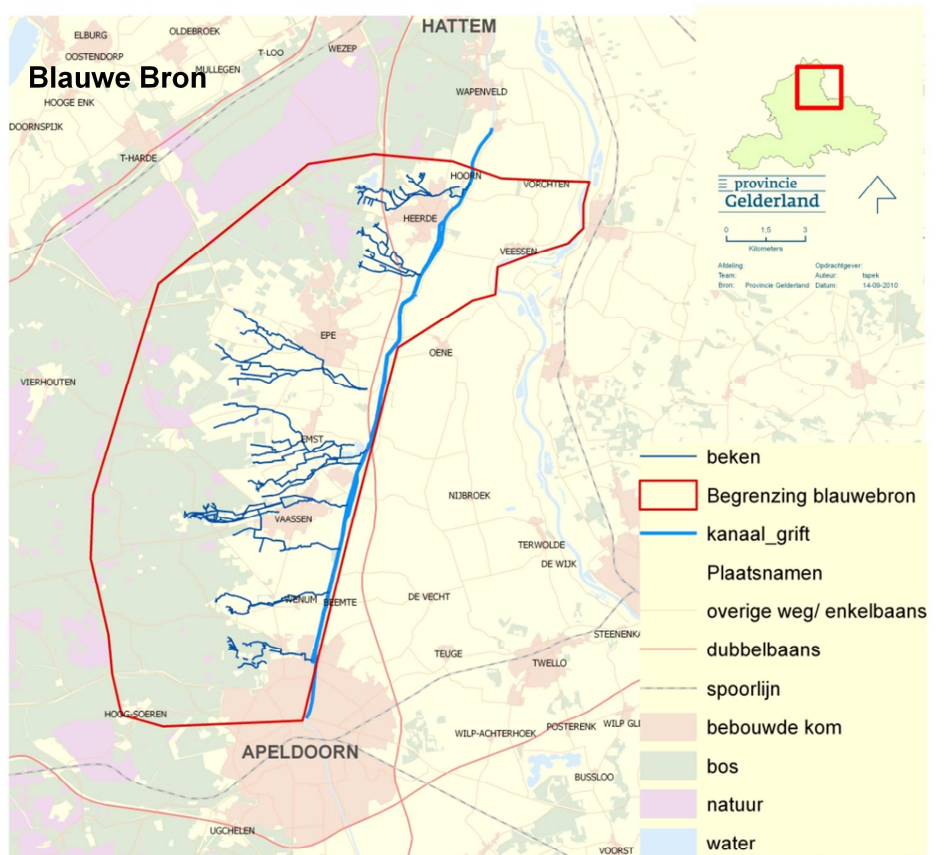
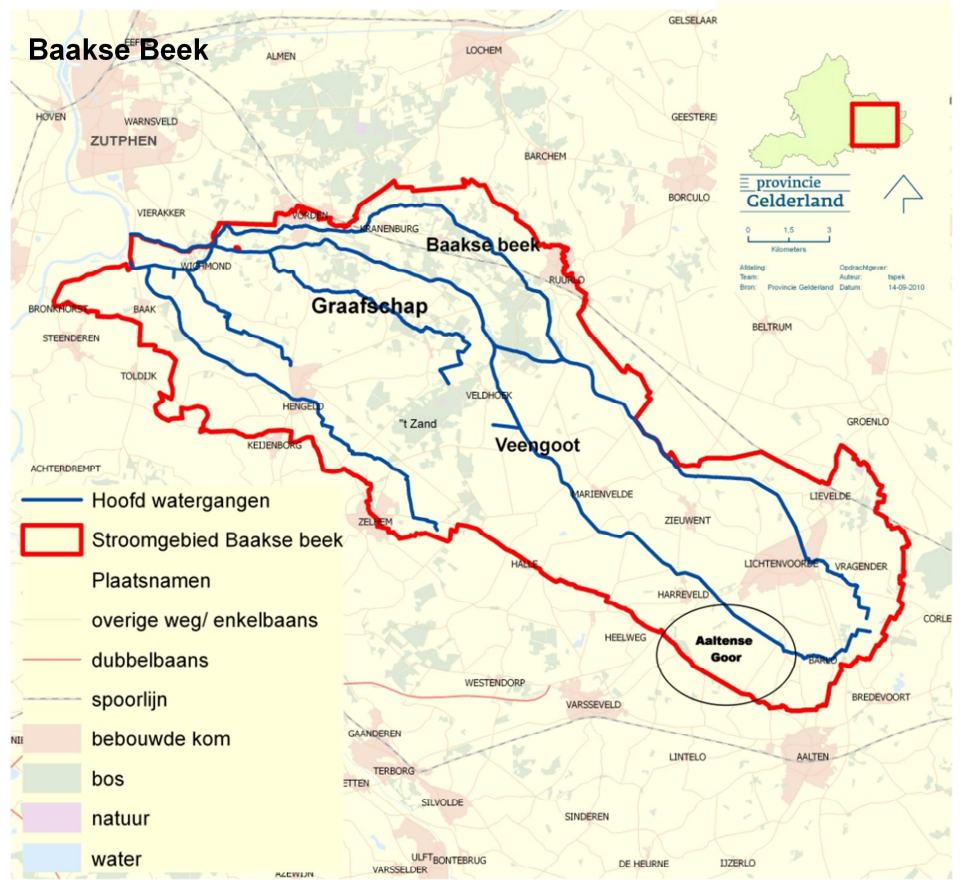
Deel II begint met een beschrijving van de klimaatscenario's van het KNMI (hoofdstuk 2). Vervolgens geven we in de hoofdstukken 3-5 een overzicht van de beschikbare kennis over effecten van klimaatverandering op water, natuur en landbouw op de hoge zandgronden in Nederland. In hoofdstuk 6 beschrijven we adaptatiemaatregelen die daar bij passen.

Deel III richt zich specifiek op de toepassing van bovenstaande kennis in de twee studiegebieden en de actoren in de gebiedsprocessen die daar plaatsvinden. In de hoofdstukken 7 en 8 worden de gebieden beschreven met hun huidige kenmerken en opgaven voor het gebiedsproces. In hoofdstuk 9 beschrijven we de vragen die organisaties uit de gebieden hebben, ten aanzien van het 'klimaatrobuust' maken van de gebiedsontwikkeling. Ook wordt beschreven welk type onderzoek nodig is voor beantwoording van die vragen. Diverse workshops met vertegenwoordigers van organisaties leverden de input voor het vragenoverzicht.

Tot slot worden conclusies over het gehele project geformuleerd



Figuur 1.1 Ligging van de twee studiegebieden in de provincie Gelderland





Deel II

Effecten en adaptatie klimaat- verandering op hoge zand- gronden



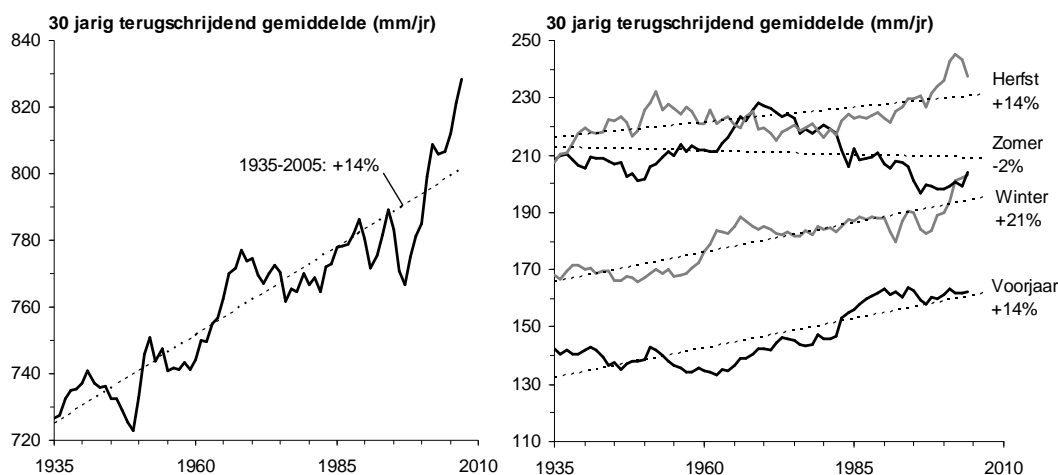


2 Klimaatscenario's

Door toename van de concentratie broeikasgassen in de atmosfeer zal, zo is de algemene opvatting onder wetenschappers, het klimaat op aarde veranderen. De verandering is nu al aantoonbaar, bijvoorbeeld aan de hand van gemeten neerslaggegevens (Figuur 2.1).

Het KNMI heeft in 2006 vier nieuwe klimaatscenario's voor 2050 en 2100 gepubliceerd [Van den Hurk et al., 2006]. Deze zijn gedefinieerd aan de hand van twee criteria, waarbij elk criterium twee toestanden kan aannemen (Figuur 2.2). Het eerste is een wereldwijde temperatuurstijging, die gematigd kan zijn, G (1 °C) of groot, W (2 °C). Het tweede is een verandering in de luchtcirculatie, die zwak kan zijn of sterk, +. In het laatste geval krijgen we 's zomers te maken met meer oostenwind.

Figuur 2.1: Terugschrijdend 30-jarig gemiddelde neerslag, berekend uit gegevens van de 12 hoofdstations van het KNMI; Links per jaar, rechts per seizoen. Een gemiddelde over 30 jaar is genomen, omdat het klimaat is gedefinieerd als de weersgesteldheid over een periode van 30 jaar (Witte et al., 2009).



Figuur 2.2: Definitie van vier klimaatscenario's (Van den Hurk et al., 2006).

		temperatuurstijging 1990 t.o.v. 2050	
		1 °C	2 °C
luchtcirculatie	veranderd	G+	W+
	onveranderd	G	W

De gevolgen van deze scenario's voor onder andere temperatuur, neerslag en potentiële verdamping zijn onderzocht aan de hand van wereldwijde en regionale klimaatmodellen en gemeten tijdreeksen. Van den Hurk et al. [2006] hebben voor de drie zomer- en de drie wintermaanden de verandering in neerslag en potentiële verdamping van alle vier de scenario's gegeven, zie Tabel 2.1. Als referentie dient de periode 1976-2006, aangeduid als '1990'. De scenario's ver-



schillen in de mate van verandering, maar hebben gemeen dat de temperatuur en de potentiële verdamping stijgen en dat de hoeveelheid neerslag in de winter toeneemt.

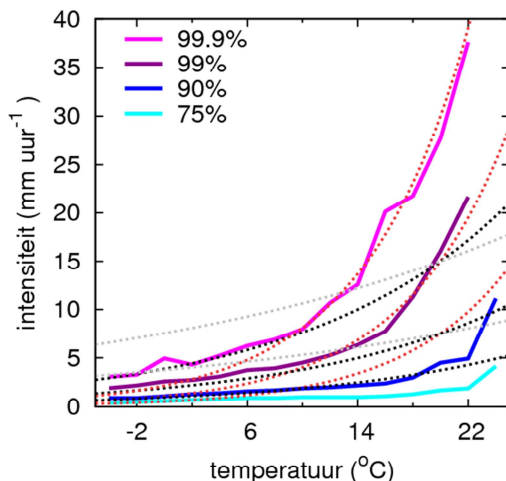
Het KNMI gaat er tegenwoordig van uit dat een mondiale temperatuurstijging van 2 °C aannemelijker is dan een stijging van 1 °C (mondelinge mededeling J. Bessembinder). Dat betekent dat het beter is uit te gaan van de W-scenario's, wat we dan ook in deze studie doen. Qua potentieel neerslagoverschot (neerslag minus referentiegewasverdamping) zijn W en W+ respectievelijk het natste en het droogste van de vier scenario's. Het W+ scenario is te beschouwen als een Nederlandse interpretatie van het 'A2 high-emissions scenario' van het IPCC (IPCC 2001).

Ter illustratie toont Tabel 2.1 wat klimaatverandering voor de Amsterdamse Waterleidingduinen zou betekenen: de winters worden natter, maar de zomers droger, onder W+ zelfs twee keer zo droog. In andere delen van Nederland is de trend niet veel anders (zie bijvoorbeeld Hermans et al., 2009, voor De Bilt).

Tabel 2.1: Gevolgen, uitgedrukt als percentage ten opzichte van het huidige klimaat ('1990'), van de vier klimaatscenario's (2050) voor neerslag en potentiële verdamping in Nederland, uitgesplitst naar drie zomermaanden (juni, juli en augustus) en drie wintermaanden (december, januari, februari) (Van den Hurk et al., 2006, p. 59).

		KNMI scenario			
		G	W	G+	W+
Zomer (JJA)					
	neerslag	+2.8	+5.5	-9.5	-19.0
	potentiële verdamping	+3.4	+6.8	+7.6	+15.2
Winter (DJF)					
	neerslag	+3.6	+7.3	+7.0	+14.2

Voor scenarioanalyses zijn meteorologische gegevens over het hele jaar nodig,



Figuur 2.3: Relatie tussen waargenomen uurlijkse neerslagintensiteit en temperatuur (bron: www.knmi.nl/cms/content/9701/grotere_toename_neerslagextremen_in_warmer_klimaat).



het liefst op dagbasis. Het KNMI heeft hiervoor een computerprogramma beschikbaar waarmee tijdreeksen van neerslag, referentieverdamping en temperatuur kunnen worden getransformeerd naar het toekomstige klimaat (Bakker & Bessembinder, 2007). Bij deze transformatie wordt niet alleen rekening gehouden met veranderingen in de hoeveelheid neerslag, maar ook met veranderingen in de verdeling van de intensiteit van neerslagbuien en verschuivingen in de neerslagverdeling over de seizoenen. Waar deze software nog geen rekening mee houdt is recent inzicht van het KNMI, dat de intensiteit van de buien nog meer toeneemt met een stijging van de temperatuur, dan tot voor kort werd aangenomen (Figuur 2.3). Bij de interpretatie van modelresultaten dient men dit te beseffen.





3 Effecten klimaatverandering op water

3.1 Inleiding

De voorspelde veranderingen in het klimaat hebben grote gevolgen voor de waterhuishouding, de natuur en de landbouw. De gevolgen worden in de komende drie hoofdstukken beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de beschikbare kennis over verwachte effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding op hoge zandgronden, waarbij beeksystemen een belangrijk onderdeel zijn. We maken onderscheid tussen effecten op het oppervlaktewater en het grondwater. Hoewel achterliggende processen van de twee onderdelen van het watersysteem verschillen, zijn deze twee onderdelen uiteraard aan elkaar gekoppeld en beïnvloeden ze elkaar. De effecten op grondwater worden in samenhang met effecten op bodems en natuurlijke vegetaties beschreven, omdat ook daar allerlei terugkoppelingsmechanismen optreden.

In dit hoofdstuk gaan we vooral in op de gevolgen van die terugkoppeling voor de waterhuishouding, in hoofdstuk 4 gaan we in op de gevolgen voor de biodiversiteit. Er zullen grote effecten van klimaatverandering op de biodiversiteit optreden via wijzigingen in de waterhuishouding (o.a. Bazzaz et al., 1996; Knapp et al., 2008; Van Oene & Berendse, 2001; Witte et al., 2009). De hoeveelheid water die beschikbaar is voor transpiratie verandert en dit beïnvloedt de hoeveelheid regen die doorsijpelt naar het grondwater, en daarmee de kwel naar beekdalen en andere laaggelegen gebieden. Deze veranderingen beïnvloeden op hun beurt de nutriëntenkringloop en de zuurgraad in de wortelzone. We gaan daar in paragraaf 4.2 op in.

Bovendien kan een toename van de intensiteit van buien er toe leiden dat meer neerslagwater over of vlak onder het maaiveld wordt afgevoerd naar de watergangen. Dat zorgt dan voor een verhoging van de afvoerpieken van bijvoorbeeld beken, met alle gevolgen voor de beekfauna (zie volgende paragraaf).

3.2 Oppervlaktewater

De veranderingen in het klimaat leiden in alle KNMI-klimaatscenario's tot een stijging van de potentiële verdamping door hogere temperaturen en een toename van de neerslag in de winterperiode. In twee van de vier scenario's (G en W) is ook sprake van een toename van de neerslag in de zomerperiode. Er wordt ook rekening gehouden met een verhoogde intensiteit van de buien. Deze veranderende neerslag- en verdampingspatronen hebben een sterk effect op het afvoerregime van het beekstelsel.



De veranderingen in de afvoer van de meeste beeksystemen in Hoog-Nederland zijn sterk verweven met de ontginningsgeschiedenis van 1850 tot 1980. Ook de bekenlopen in het stroomgebied Baakse Beek (en Blauwe Bron) zijn verbonden met deze geschiedenis. De veranderingen van voor 1850 waren minder ingrijpend voor de afvoer, wel zijn toen ook veel veranderingen in het systeem aangebracht. Grote delen van het natuurlijke afwateringsstelsel zijn vanaf de Late Middeleeuwen sterk gewijzigd door gebruik van het watersysteem voor onder andere energieopwekking (watermolens), vloeiveiden, drooglegging en ontginningen van moerassen en (grond)waterbeheer. Door slechte afvoermogelijkheden en een geringe dichtheid aan waterlopen hadden woeste gronden aanvankelijk een groot vermogen om water vast te houden (sponswerking). Hierdoor stonden grote gebieden voor langere tijd onder water. Bij de ontginning van woeste gronden zijn er veel nieuwe watergangen aangelegd. De dichtheid van waterlopen is hierdoor vergroot. Hierdoor konden de nieuw ontgonnen gebieden hun water sneller afvoeren naar beek en rivier, waardoor benedenstrooms van de ontginningen de piekafvoeren toenamen (Massop en Knol, 2005). De keerzijde is dat in droge perioden het water te snel uit het gebied is, vandaar dat de beken zijn gestuwd om deze nog enigszins op peil te kunnen houden. Om wateroverlast te voorkomen kan met beweegbare stuwen de afvoer worden gereguleerd en zijn er bij de monding kades aangelegd (bijvoorbeeld bij de monding van de Baakse Beek in de IJssel).

Dit oppervlakkige stelsel had nog geen groot effect op hoge grondwaterstanden. Met de aanpassing van de waterhuishouding na de 2de Wereldoorlog binnen ruilverkavelingen is ook het verlagen van de grondwaterstand ter hand genomen. De waterlopen zijn ruim gedimensioneerd en de drainagebasis van het stelsel is diep ten opzichte van het historische systeem. De ruime dimensionering in combinatie met de stuwen leidt tot een peil en afvoer die sterk afwijken van de natuurlijke situatie. In de winter is het peil lager dan het natuurlijke peil en in de zomer hoger dan het natuurlijke peil. Door de versterkte ontwatering is de grondwatervoorraad in de winter verminderd waardoor de afvoer in de beken in het voorjaar en zomer lager is geworden. Door de lage grondwaterstanden heeft de bodem een flinke opslagcapaciteit voor water. Hoewel het grondwaterpeil in landbouwpercelen laag staat bij goede ontwatering, is de intensiteit van de neerslag bij hevige buien zo groot, dat het water onvoldoende snel de bodem inzakt (hydrofobie), dit speelt met name in de zomer. Bij piekneerslag kan daardoor toch wateroverlast op de percelen ontstaan en verdwijnt een groot deel van het water uiteindelijk rechtstreeks naar het oppervlakte water en een kleiner deel naar het grondwater. De sloten zijn snel vol en door het verlagen van de stuwen ook weer snel gezakt in peil. Tijdens perioden met hevige regenval ontstaan hierdoor hoge afvoerpieken in de hoofdtakken van het systeem. In het voorjaar en zomer is er veel verdamping en valt de afvoer snel weg omdat de bodem weinig of geen water



meer nalevert aan het oppervlakte watersysteem. Veel beeksystemen kennen daarom een afvoerdynamiek met

- een groter verschil tussen piekafvoer en basisafvoer (Van der Gaast en Massop 2007).
- een relatief lange periode zonder basisafvoer

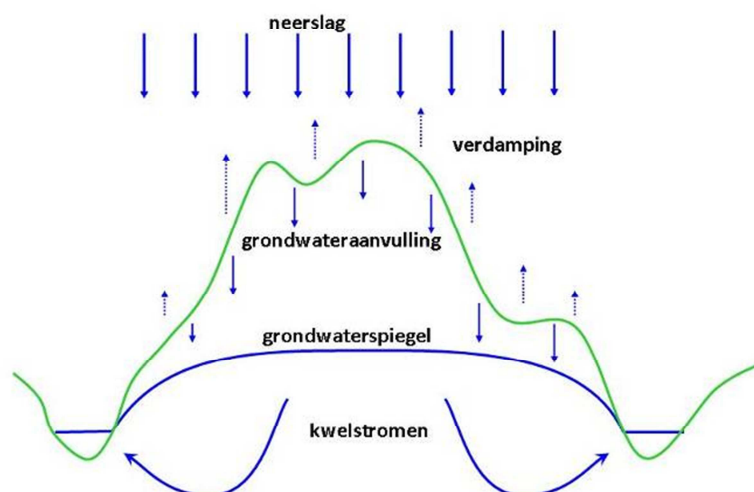
De dimensies en het profiel van het beekstelsysteem zijn, om inundaties te voorkomen en voldoende drooglegging voor de landbouw te garanderen, aangepast op het verwerken van afvoerpieken, waarbij niet expliciet rekening met klimaatverandering is gehouden. De buffercapaciteit is gecreëerd in het watersysteem zelf en niet door gebruik te maken van periodieke inundaties van delen van het beekdal. Doordat de beken niet meer buiten hun oevers treden vindt geen aanrijking meer plaats van basen van de beekdalgronden. Om het grondwater in het stroomgebied in de zomer op peil te houden zijn meeste beken gestuwd. Als gevolg van het stuwen is in delen van het watersysteem de stroomsnelheid vooral bij geringe afvoer erg laag tot praktisch stilstaand. Door de wijze van profilering van de beekoevers en oeververdediging ontbreken de voor natuurlijke beken kenmerkende hydromorfologische processen en heeft de beek in het profiel een uniforme waterdiepte, stroomsnelheid en substraat-samenstelling.

Meer en hevige neerslag onder invloed van klimaatverandering zal resulteren in een verhoging van de piekafvoeren wat effect heeft op de stroomsnelheden, waterdiepte, inundatie, het sedimenttransport en de beekmorfologie. Frequent terugkerende piekafvoeren hebben een negatief effect op het aquatisch ecosysteem; dieren en substraten spoelen weg bij hoge afvoeren waardoor een verarmd systeem achterblijft. Dit is nu al het geval in genormaliseerde beeksystemen, maar neemt toe onder invloed van klimaatverandering.

In met name de winterperiode kan een toename van de buienactiviteit door klimaatverandering (bij alle vier de klimaatscenario's verwacht) leiden tot meer oppervlakkige afstroming van water. Hoger gelegen braakliggende akkers (essen) kunnen daardoor oppervlakkig eroderen waardoor het aanbod en transport van sediment in het beekstelsysteem toenemen. Organische stof, wat voor een goede bodemstructuur en landbouw nodig is, kan uitspoelen. Veel zandtransport heeft een negatief effect op de diversiteit aan substraten in het beekstelsysteem. Anderzijds initiëren piekafvoeren hydromorfologische processen waardoor de beek verticaal of lateraal zal gaan eroderen op die plaatsen waar de bedding niet is vastgelegd. De beekloop is geneigd zijn morfologie aan te passen aan de veranderde afvoerdynamiek. Dit treedt nauwelijks op in de relatief kleine beken van het Blauwe Bron gebied. In de vaak ingekaderde beeklopen in het Baakse Beek zal die neiging tot aanpassen van de morfologie weinig gevolgen hebben. Daarnaast zullen de beken opnieuw buiten hun oevers gaan



Figuur 3.1: Relatie tussen neerslag, verdamping, grondwateraanvulling en kwelstromen. Minder neerslag leidt uiteindelijk tot minder kwel, tenzij de verdamping sterk afneemt.



treden omdat zij in de huidige toestand niet gedimensioneerd zijn op het verwerken van extreem hoge debieten door klimaatverandering. Ook hier is onzekerheid of intensiteit van neerslag zo groot is dat de zeer ruim gedimensioneerde waterlopen in het Baakse Beek gebied de hoeveelheid water niet aankunnen. Vroeger was er in de Baakse Beek meer wateroverlast. Nu kan het juist beter weg door de vergrote dimensionering van de beek maar is vervolgens de afvoer in natte periode ook toegenomen (Van der Gaast en Massop, 2007). Dit als gevolg van toename drainagedichtheid en verdwijnen van veenlagen (de watergangen zijn in het verleden ontworpen op het kunnen verwerken van afvoeren die gemiddeld eens per 100 jaar voorkomen. Het water staat dan tot aan het maaiveld). Inundaties met beekwater kan voor terrestrische vegetaties in het beekdal zowel negatieve als positieve kanten hebben.

Vegetaties van voedselarme bodems, zoals kleine-zeggenvegetaties zijn gevoe-

lig voor inundatie met landbouwwater. De grondwaterstand speelt hierbij een belangrijke rol. Indien inundatiewater kan infiltreren is er sprake van eutrofiering. De belangrijkste input van nutriënten bij inundatie verloopt echter via de afzetting van sediment, zand, silt, klei en organische stof (Runhaar et al., 2004). In tegenstelling tot de grote rivieren is in beeksystemen een belangrijk deel van het sediment dat na inundatie achterblijft organische stof. Andere vegetatietypen zijn afhankelijke van inundatie en minder kwetsbaar voor eutrofiering. Lokaal kan door inundatie waterlast optreden.

Een hogere verdamping en een afname van de neerslag in de zomer leiden tot een geringere of helemaal geen afvoer van water in de beken. Beken die vooral door kwelwater gevoed worden, zoals de meeste beken in de Blauwe Bron, hebben een erg lage reactiesnelheid. Het effect van veranderende neerslagpa-



tronen en veranderingen in de aanvulling van het grondwater treedt pas na jaren op.

In beken die snel reageren op veranderingen in verdamping en neerslag nemen door een verlaagde basisafvoer de stroomsnelheden in de zomer naar verwachting af, vooral onder het W+ scenario (figuur 3.1). Dat leidt tot hogere temperaturen in het oppervlaktewater, een lagere beschikbaarheid van zuurstof en een verslechtering van de waterkwaliteit. Met name bovenstroomse delen van de beken zullen hier onder lijden. Een te langdurige periode zonder basisafvoer gaat gepaard met zuurstoftekorten voor stromingsminnende soorten en droogval kunnen deze soorten niet verdragen.

Kwelwater zal minder snel opwarmen, omdat het gevoed wordt door diepere grondwaterstromen. Deze hebben een constante temperatuur, die niet snel hoger zal worden in warme zomers. Daardoor zullen beken, zoals veel in de Blauwe Bron minder snel opwarmen, zolang ze gevoed worden door voldoende kwelwater..

3.3 Grondwater

Veranderingen in neerslag en in temperatuur hebben hun weerslag op het grondwater en de grondwateraanvulling (het verschil tussen percolatie van bodemwater en capillaire opstijging). Daarnaast speelt de vegetatie een cruciale factor bij de grondwateraanvulling.

- De verdamping door de vegetatie is afhankelijk van het vegetatietype. Zo verdampen naaldbomen doorgaans meer water dan loofbomen, en die verdampen weer meer dan graslanden. Ter illustratie enkele indicatieve cijfers: een van voldoende water voorzien grasland verdampt ongeveer 550 mm/jaar (gegevens KNMI), een populierenbos 630 mm/jaar, donker naaldhout 730 mm/jaar, maar kaal zand weer 200 mm/jaar (Dolman et al., 1998).
- Op zandgronden neemt bij droogte uiteindelijk de bedekking van de vegetatie af, waardoor verdamping afneemt en er meer regenwater in de grond kan zakken.
- Het veranderende neerslagpatroon is via de vegetatie van invloed op de interceptiepost in de verdamping (deel van de neerslag die door de bladeren of naalden in de vegetatie wordt opgevangen en verdampt, voor het regenwater de grond bereikt): de interceptie daalt naarmate de neerslag meer in de vorm van extreme buien valt [Vrugt et al., 2003; Clarke & Sanitwong, 2008; Knapp et al., 2008]. Hierdoor neemt de interceptieverdamping af en bereikt meer neerslag de bodem.
- Bij te weinig beschikbaar vocht in de bodem reduceren planten hun verdamping door hun huidmondjes te sluiten. Dit leidt tot minder verdamping.



- Bij hogere CO₂ concentraties is eerder aan de koolstofbehoefte van planten voldaan waardoor planten minder huidmondjes nodig hebben en hun transpiratie daalt : hun water-use efficiency stijgt.
- In hellende gebieden kan bij hevige buien een gedeelte van de neerslag over het maaiveld afspoelen, wat tot een verlaging van de grondwateraanvulling leidt. Toename van de intensiteit van buien leidt dus bij gronden met oppervlakteafvoer tot een verlaging van de grondwateraanvulling.

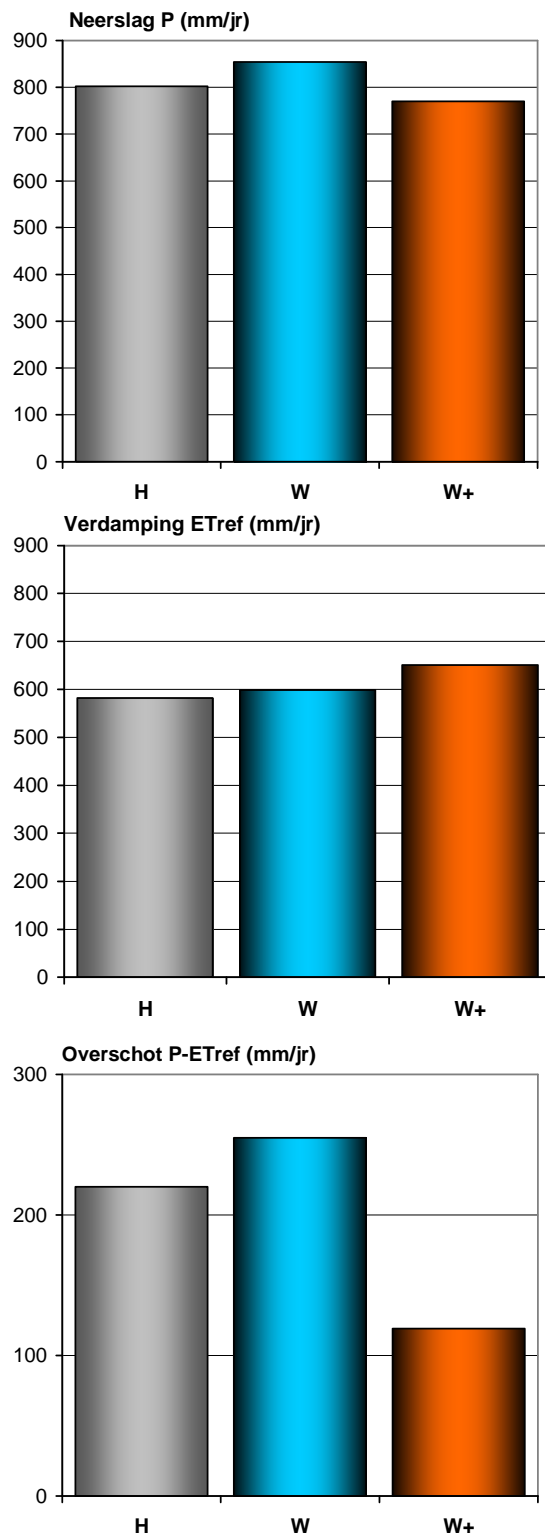
Het verwachte gevolg is dat op hogere zandgronden onder W de hoeveelheid water die vanuit de bodem doorsijpelt naar het grondwater, de grondwateraanvulling, zeker toeneemt. Door verschillende terugkoppelingsmechanismen (minder interceptieverdamping, sluiten huidmondjes bij droogte, CO₂-effect, meer kale grond) en door een verschuiving van de neerslag naar de winter, zal onder W+ de grondwateraanvulling op de hogere zandgronden vermoedelijk ongeveer gelijk blijven of zelfs iets stijgen (figuur 3.2). Dat betekent dat, op jaarbasis, de kwel naar lager gelegen gebieden ten minste gelijk blijft (W+) of zeker stijgt (W). De toename van kwel onder W+ is echter hoogst onzeker omdat de toekomstige verdampingseigenschappen van de vegetatie in het voerende infiltratiegebied nu nog niet bekend zijn; meer onderzoek hiernaar is hard nodig.

Temperatuurstijging leidt via de vegetatie tot een hogere verdampingsflux. Hierdoor wordt de hydrologische kringloop op aarde wordt versneld, wat voor Nederland waarschijnlijk zal betekenen dat de neerslag toeneemt en de verdeling van de neerslag in de tijd verandert (Van den Hurk et al., 2006). Bij ondiepe grondwaterstanden (maximaal ca. 2 m –maaiveld, maar dit is afhankelijk van de bodemtextuur) wordt de hoeveelheid bodemvocht en zuurstof mede bepaald door de invloed van grondwater, namelijk via capillaire opstijging. De kwaliteit van dit grondwater is via de bodemchemie tevens van groot belang voor de vegetatie. Klimaatverandering kan via gewijzigde grondwaterstromingspatronen leiden tot een andere grondwaterkwaliteit en aldus achtereenvolgens de bodemchemie en de vegetatie beïnvloeden. In welke mate stromingspatronen veranderen hangt mede af van de toekomstige verdamping van de vegetatie in het infiltratiegebied die, zoals we hierboven beschreven, met grote onzekerheden is omschreven. Ook veranderingen in de dynamiek van de kwel in lager gelegen gebieden spelen een rol.



35

Figuur 3.2. Veranderingen in neerslag, verdamping en neerslagoverschot in W en W+ scenario's ten opzichte van de huidige (H) situatie.





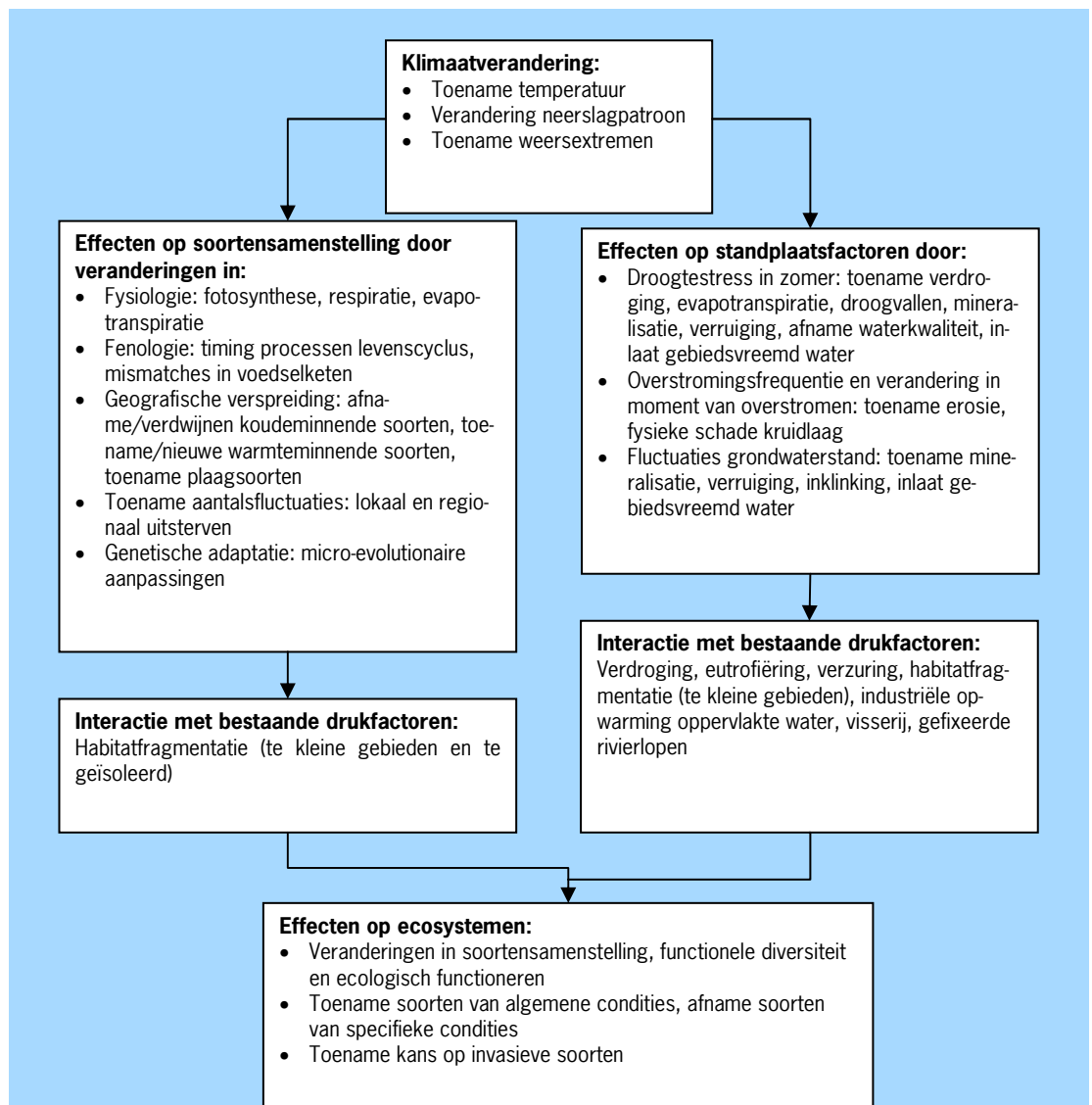


4 Effecten klimaatverandering op natuur

4.1 Inleiding

In de volgende paragrafen worden de effecten van klimaatverandering op natuur beschreven. In Figuur 4.1 worden de effecten op de soortensamenstelling en de standplaatsfactoren beschreven. In paragraaf 4.2 gaan we in op de effecten op standplaatsfactoren waarbij interacties tussen grondwater, bodem en vegetatie een grote rol spelen en in paragraaf 4.3 gaan we in op de effecten op de soortensamenstelling van levensgemeenschappen door veranderingen in bijvoorbeeld fysiologie, fenologie, geografische verspreiding en toename aantalfluctuaties.

Figuur 4.1. Overzicht effecten van klimaatverandering op natuur op hoge zandgronden





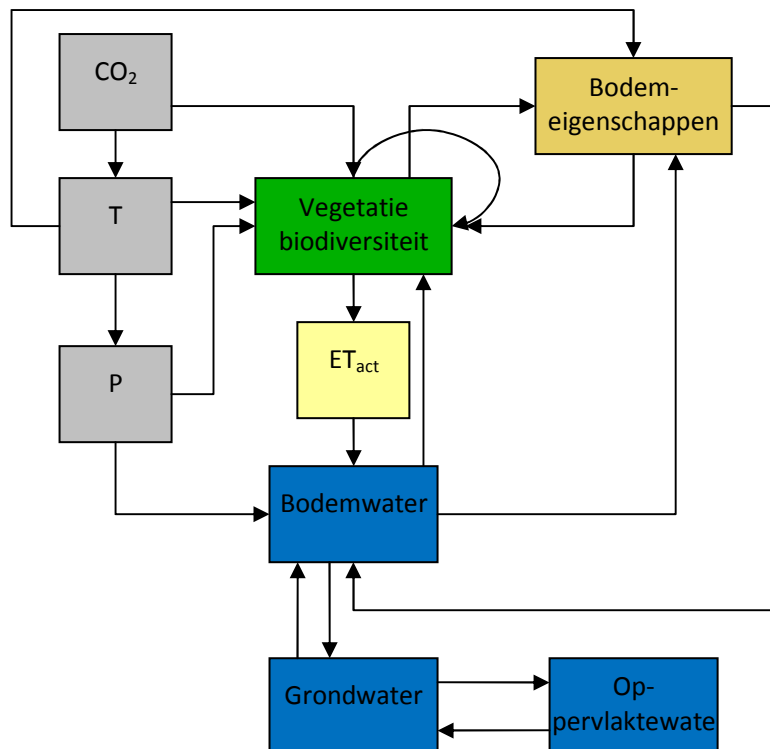
Soorten, zowel planten als dieren, verschillen in hun reactie op veranderingen in het klimaat. De ene verandering is voor de ene soort gunstig, voor de andere ongunstig, en weer een andere soort is ongevoelig voor de verandering. Deze verschillen tussen soorten leiden ertoe dat de soortensamenstelling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

4.2 Grondwater, bodem en vegetatie

In deze paragraaf gaan we uitgebreider in op de gevolgen van klimaatverandering voor vegetaties via veranderingen in de standplaatsfactoren. In het besef niet volledig te kunnen zijn, geven we hier een aantal belangrijke terugkoppingsmechanismen schematisch weer: zie Figuur 4.2.

Het onderzoek naar de samenhang tussen grondwater en vegetatie is vooral in de jaren tachtig van de vorige eeuw ontwikkeld als reactie op de verdroging van de natuur in Nederland. Natuurbeheerders zagen hun terreinen verpieteren en men dacht aanvankelijk dat het alleen een kwantiteitsprobleem was: men trachtte het euvel te verhelpen met simpele waterhuishoudkundige maat-

Figuur 4.2. Processen die via klimaatverandering de vegetatie beïnvloeden. ET_{act} = werkelijke verdamping, P = neerslag, T = temperatuur (Van Bodegom et al., 2009)



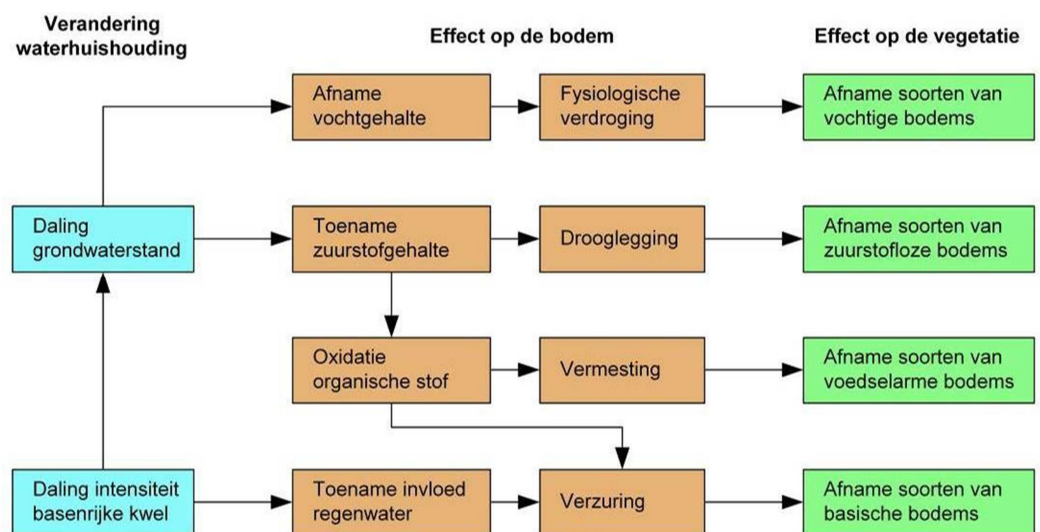


regelen, bijvoorbeeld het dichtens van greppels om regenwater in het gebied te conserveren, of de aanvoer van oppervlaktewater. Deze maatregelen hadden meestal niet het beoogde effect omdat planten niet alleen eisen stellen aan de hoogte van de grondwaterstand, maar ook aan andere standplaatsfactoren, zoals de hoeveelheid beschikbare nutriënten in de bodem, het zuurstofgehalte, de zuurgraad en de beschikbaarheid van micro-elementen in de bodem. Planten hebben niet alleen dorst, ze hebben ook lekkere dorst. De relatie tussen vegetaties en grondwater is complex en gaat dus over meer dan de juiste hoeveelheid water, zie Figuur 4.3, dat de potentiële effecten van een grondwaterstanddaling op de vegetatie van natte ecosystemen laat zien.

In ecohydrologische modellen (maar ook in hydrologische modellen) wordt de bodem beschouwd als een entiteit met onveranderlijke bodemfysische en bodemchemische eigenschappen: de bodem als bloempot. Bij klimaatverandering hebben we het echter over voorspellingen met een lange tijdshorizon, bijvoorbeeld 50 of 100 jaar. En op de lange termijn zijn bodem en water geen constanten, maar veranderen bodemfysische en bodemchemische eigenschappen onder invloed van de vegetatie, die op zijn beurt weer mee verandert. Bodem, water en vegetatie vormen samen een eenheid in de successie, de een kan niet beschouwd worden zonder de ander. In enkele modellen wordt met terugkoppelingsprocessen al in zekere mate rekening gehouden (onder andere Van Oene et al., 1999), maar deze modellen hebben vooral als functie de natuur wetenschappelijk te doorgronden, niet om op een betrouwbare wijze biodiversiteit te voorspellen.

De vegetatie (soortensamenstelling, plantfunctionele eigenschappen én verdampingskenmerken) wordt direct beïnvloed door bodemchemische en bodemfysische factoren, zoals de pH en de beschikbare hoeveelheid nutriënten, water en zuurstof. De hoeveelheid beschikbare nutriënten in de bodem wordt

Figuur 4.3. Voorbeeld van gevolgen van hydrologische veranderingen op natte ecosystemen (Witte et al., 2008).



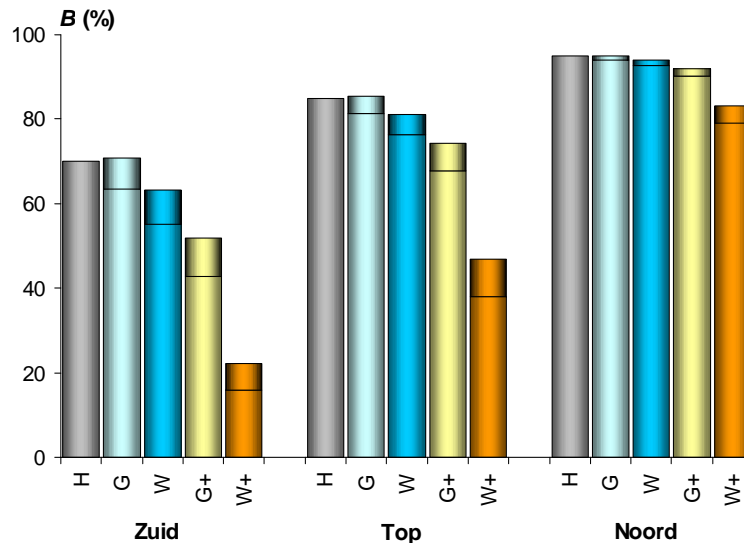


bepaald door de afbraaksnelheid van organische stof, welke sterk afhankelijk is van de temperatuur en vochtgehalte in de bodem (Norbey et al., 2007)

Eén van de belangrijkste terugkoppelingsprocessen is dat in de loop der tijd de ophoping van organische stof stijgt onder invloed van vegetatie en bodemvocht. Daardoor neemt de beschikbaarheid van nutriënten en bodemvocht toe zodat de biomassaproductie van de vegetatie stijgt. In infiltratiebodems vindt uitloging plaats, wat tot verzuring leidt. Klimaatverandering beïnvloedt het successieverloop, bijvoorbeeld doordat nattere omstandigheden leiden tot een opbouw van de hoeveelheid organische stof, terwijl drogere omstandigheden meestal tot een afbraak van organische stof leiden.

Veranderingen in het klimaat en in standplaatsfactoren leiden uiteindelijk, via concurrentie om water, nutriënten en licht, en via tolerantie tegen diverse stressoren (hitte, droogte, gebrek aan zuurstof en water), tot een andere soortensamenstelling van de vegetatie. Daarmee kunnen ook de verdampingseigenschappen van de vegetatie veranderen. Zo is onlangs aannemelijk gemaakt dat het aandeel kale grond en het aandeel weinig verdampende mossen en korstmossen op de hogere zandgronden zullen gaan toenemen wanneer de zomers droger worden (Kamps et al., 2008; Witte et al., 2008) (Figuur 4.4).

Figuur 4.4. Berekende bedekking B op de zuidhelling, de top en de noordhelling van een duin in de Amsterdamse Waterleidingduinen onder de vier scenario's van het KNMI (G, W, G+ en W+) (Witte et al., 2008). Het 'hoedje' op ieder staafje geeft het CO₂-effect weer: het verminderen van de transpiratie door hogere koolzuurgasconcentraties. Ter vergelijking is de huidige bedekking (H) opgenomen.



De vorming van kale grond is een aanpassing van de vegetatie aan klimaatverandering die grote gevolgen heeft voor de bodem en grondwaterhuishouding. Deze aanpassing is echter hoogst onzeker en dient nader te worden onderzocht.



4.3 Competitieverhoudingen planten en CO₂

Toename van CO₂ zal leiden tot verhoogde biomassa-productie. Snel groeiende planten ('C4 planten', eenjarigen) kunnen meer profiteren van hogere temperaturen en hogere CO₂ concentraties dan langzamere groeiers (C3 planten, meerjarigen). Hierdoor kunnen verschuivingen in competitieve verhouding tussen soorten gaan optreden, waarbij langzame groeiers worden verdrongen (White et al 2001).

Het effect van een hogere CO₂-concentratie op de concurrentieverhoudingen tussen soorten is onderwerp van zeer veel publicaties. Poorter & Navas (2003) hebben de resultaten van diverse studies vergeleken in een grote meta-analyse. Zij concluderen dat in potproeven met monoculturen soorten verschillend reageren op CO₂-toediening, maar dat deze verschillen in een mengcultuur volledig wegvallen: verrijking met CO₂ beïnvloedt de concurrentieverhoudingen dus niet. Deze bevinding werd mondeling bevestigd door prof. Christian Körner, tijdens een workshop van de Europese Science Foundation in Basel, oktober 2009 (www.climmani.org). Er zijn aanwijzingen dat Zeggen (*Carex* sp.) wel iets profiteren van CO₂-toename, aldus Körner. Als dat zo is dan kan dat komen, zo menen wij, doordat Zeggen met hun luchtwortels beter bestand zijn tegen vernatting van de bodem, die door een zuiniger waterverbruik bij CO₂-toename wordt veroorzaakt.

Planten kunnen bij hogere CO₂-concentraties makkelijker voldoen aan hun koolstofbehoefte, zodat zij hun huidmondjes minder hoeven te openen of minder huidmondjes hoeven aan te maken. Voor Nederland is het effect op de verdamping van beide aanpassingen (hogere leaf-area index LAI én hogere water use efficiency) in de vorm van eenvoudige correctiecijfers gekwantificeerd (Witte et al., 2006a,b; Kruijt et al., 2008).

4.4 Consequenties klimaatverandering voor de hydrologische modellering

In de voorgaande hoofdstukken zijn we ingegaan op de vraag hoe klimaatverandering het systeem van bodem, water en vegetatie kan beïnvloeden. Hier vatten we de belangrijkste gevolgen voor de waterhuishouding samen, met daaraan verbonden enkele conclusies voor de hydrologische modellering van de studiegebieden.

Als de bodem ver uitdroogt reduceren planten de transpiratie door hun huidmondjes te sluiten. Dit effect wordt in alle bestaande hydrologische modellen



goed gesimuleerd, bijvoorbeeld door de wortelopname van vocht te beschrijven als een functie van de zuigspanning in de wortelzone (Feddes et al., 1978).

Klimaatverandering beïnvloedt de intensiteit van de neerslagbuien, wat gevolgen heeft voor de interceptieverdamping: naarmate de neerslagverdeling piekeriger wordt, daalt deze post en bereikt er meer water de bodem en uiteindelijk de plantenwortels. Om goed rekening te houden met dit effect, is het noodzakelijk dat in hydrologische modellen de interceptiepost expliciet en voldoende nauwkeurig wordt gesimuleerd. In de praktijk echter, zit in veel hydrologische modellen de interceptiepost een beetje weggemoffeld in een 'gewasfactor' en bovendien is er weinig bekend over de interceptieverdamping van natuurlijke vegetaties. De interceptie post is vooral groot bij donker naalddhout, zoals Douglas en Fijnspar. Door Alterra en hydrologen van de VU is hier vrij veel onderzoek aan gedaan (Dolman et al., 1998).

Bij de hydrologische modellering van de studiegebieden dient men ook rekening te houden met door klimaatverandering veroorzaakte veranderingen in de verdampingseigenschappen van de vegetatie. Ten eerste zal het waterverbruik van de vegetatie dalen bij een hogere CO₂-concentratie in de atmosfeer. Hiermee kan rekening worden gehouden via voor Nederland gepubliceerde correctiefactoren (Witte et al., 2006a,b; Kruijt et al., 2008). Een tweede verandering in de vegetatie is moeilijker te kwantificeren. Wanneer, zoals onder scenario W+, de zomers veel droger worden dan nu, zal dat waarschijnlijk leiden tot een hoger aandeel kale grond, mossen en korstmossen in de natuurlijke vegetatie van hogere zandgronden (dekzandruggen, de Veluwe). Dat zorgt voor een daling van de verdamping. Naar dit effect is, zoals vermeld, een verkennend onderzoek gedaan (Kamps et al., 2008; Witte et al., 2008), Figuur 4.4.

4.5 Consequenties klimaatverandering voor ecohydrologische modellering

Er bestaan ruwweg drie typen modellen om effecten van milieuveranderingen op de vegetatie te voorspellen. In de internationale literatuur over klimaat-effecten is tot nu toe vaak gebruik gemaakt van klimaatenvoloppen, het eerste type. Dit zijn statistische beschrijvingen van het potentieel voorkomen van soorten als functie van een beperkt aantal klimaatvariabelen, zoals jaarlijkse neerslag, minimum temperatuur en zonneschijnduur. Op dit type modellen bestaat enige kritiek (o.a. Pearson & Dawson, 2003; Witte, 2004; Guisan & Thuiller, 2005; Thuiller et al., 2005; Botkin et al., 2007): de gevonden statistische relaties (klimaatenvoloppen) zijn correlatief; ze geven niet het potentieel voorkomen weer omdat ze zijn gebaseerd op gerealiseerde verspreidingspatronen waarbij soorten door allerlei oorzaken, zoals de laatste ijstijd, geschikte habi-



tats (nog) niet bereikt hebben; ze houden geen rekening met interacties tussen soorten; enzovoorts. Net als andere modellen hebben deze modellen hun beperkingen. Echter door naar de verschillen tussen grote aantallen soorten te kijken en naar verschillen tussen ecosystemen of doeltypen aan de hand van de bijbehorende soorten, is wel een goede indruk te krijgen van de mate waarin verwacht wordt dat de soortensamenstelling gaat veranderen.

In een tweede type modellen zijn zoveel mogelijk processen ingebouwd. Een voorbeeld hiervan is NUCOM (Van Oene et al., 1999), dat de concurrentie om water, nutriënten en licht tussen een beperkt aantal functionele groepen van soorten (zoals 'grassen', 'mossen' en 'heide') simuleert. Zo'n mechanistische aanpak is echter vooral van wetenschappelijk belang: begrijpen hoe de natuur 'werkt'. Zo bevat NUCOM maar liefst 30 reactievergelijkingen en 98 modelparameters, wat voor de praktische toepassingen een bezwaar is. Een nadeel is bovendien dat van te voren functionele groepen moeten worden gedefinieerd en dat geen rekening gehouden wordt met de interne variatie binnen deze groepen.

Zoals vermeld in paragraaf 4.2 is het aannemelijk dat belangrijke effecten van klimaatverandering op de biodiversiteit optreden via wijzigingen in de waterhuishouding. Deze veranderingen beïnvloeden op hun beurt de nutriëntenkringloop en de zuurgraad in de wortelzone. Voor het bepalen van de effecten op de vegetatie van veranderingen in de waterhuishouding bestaat er een derde type modellen: de zogenaamde ecohydrologische modellen. Deze zijn hoofdzakelijk in Nederland ontwikkeld (Peter Horchler tijdens zijn presentatie voor HydroEco2009 in Wenen). Voorbeelden zijn WAFLO, NICHE, NATLES, WATERNOOD, en DEMNAT (resp. Gremmen et al., 1990; Koerselman et al., 1999; Runhaar et al., 2003a; Runhaar et al., 2003b; Van Ek et al., 2000 en Witte, 1998). Ecohydrologische modellen zijn in hun huidige vorm echter ongeschikt voor het bepalen van klimaateffecten. De belangrijkste vier redenen zijn dat: (1) ze gebruik maken van correlatieve verbanden die zijn ontleend aan gegevens uit het klimaat van de tweede helft van de twintigste eeuw, (2) de modellen geen terugkoppelingsmechanismen tussen vegetatie en bodem bevatten, (3) de meeste modellen alleen geschikt zijn voor grondwaterafhankelijke vegetaties, (4) door klimaatverandering de bandbreedten zullen worden overschreden van de beslisregels of relaties in deze modellen. Een voorbeeld van de laatste tekortkoming is een beslisregel voor bijvoorbeeld het vochttekort of de voorjaarsgrondwaterstand, waarbij aan een bepaald vegetatietype alleen een ondergrens of bovengrens wordt gesteld: het vochttekort, bijvoorbeeld, dient minimaal zoveel millimeter per jaar te bedragen. Zulke beslisregels doen het goed onder het huidige klimaat, maar bij klimaatverandering moeten we ook rekening houden met bovengrenzen: het kan ook te droog worden voor een vegetatie die nu al als 'droog' wordt gekarakteriseerd. Kijk maar naar de massa-



le sterfte in Nederland van Struikheide door een aantal jaren met een zeer droge lente.

Al met al kunnen we met de huidige modellen niet uit de voeten en is er behoefte aan een klimaatbestendig model voor vegetatiekundige natuurdoelen. Een werkelijk klimaatrobust model onderscheidt zich minstens in drie opzichten van de huidige generatie vegetatiemodellen (Tabel 4.1). In de eerste plaats zijn in een dergelijk model de verbanden tussen standplaats en vegetatie veel meer gebaseerd op processen die direct van invloed zijn op het functioneren van planten, dan in de huidige modellen. Correlatieve verbanden, ontleend aan meetgegevens in het Nederlandse klimaat van de twintigste eeuw, mogen immers niet worden gebruikt voor extrapolaties. Op de tweede plaats zal een robuust model in staat moeten zijn nieuwe soortcombinaties te voorspellen, omdat de huidige combinaties (zoals in natuurdoeltypen en plantensociologische associaties) door klimaatverandering als losse papiersnippers uit elkaar kunnen vallen.

Ten derde zal het beoogde model rekening moeten houden met het feit dat op den duur bodemeigenschappen veranderen, en niet alleen doordat het klimaat verandert, maar ook als gevolg van de 'natuurlijke' ontwikkeling van ecosystemen, waarbij terugkoppelingsprocessen een grote rol spelen.

Tabel 4.1. Verschillen tussen de huidige generatie vegetatiemodellen (NICHE, NATLES, PROBE, Water-nood, etc.) en een klimaat-robust vegetatiemodel.).

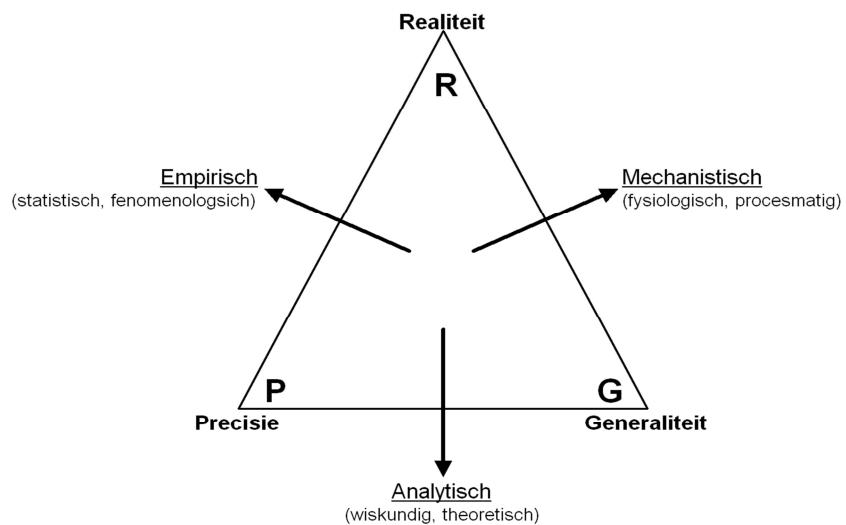
	Huidig	Klimaatrobust
1 Verbanden tussen standplaats en vegetatie	Correlatief	Op processen gebaseerd
2 Soortengroepen	Onveranderlijk	Nieuwe combinaties van soorten
3 Bodemeigenschappen	Onveranderlijk	Bodemsuccesie o.i.v. klimaat, water en vegetatie

Levins (1966) onderscheidt bij modellen drie belangrijke intrinsieke kenmerken: realiteit (hoe realistisch wordt het fenomeen beschreven), generaliteit (hoe algemeen toepasbaar zijn de modellen) en precisie (hoe nauwkeurig zijn de modellen). Op basis van deze eigenschappen zijn, zie Figuur 4.5, drie modeltypen te onderscheiden: empirische, analytische en mechanistische (Guisan & Zimmermann, 2000). Op NUCOM na, dat duidelijk mechanistisch is, behoren alle hiervoor genoemde modellen vooral tot het empirische type. Ze zijn namelijk via statistiek of deskundigenoordeel geïkt aan waarnemingen. Een belangrijk principe van Levins (1966) is dat slechts twee van de drie modeleigenschappen tegelijk verbeterd kunnen worden, maar dan wel ten koste van de derde eigenschap. Om een robuust model te verkrijgen, dat toepasbaar is onder een ander klimaat, zal proceskennis moeten worden ingebouwd. Een kwalijk gevolg is dat dit, volgens Levins principe, ten koste zal gaan van de modelprecisie. Van een



klimaatrobuust vegetatiemodel kan dus worden verwacht dat het de huidige vegetatiepatronen minder goed voorspelt dan bestaande empirische modellen (die vooral beschrijvend zijn). De kunst bij de bouw van een klimaatbestendig model zal zijn het evenwicht te bewaren tussen mechanistisch en empirisch; schieten we te veel door naar het eerste, dan worden de uitkomsten te onnauwkeurig, zelfs onder het huidige klimaat, blijven we teveel steken in het laatste, dan is het model niet robuust genoeg en krijgen we ook onrealistische uitkomsten.

45



Figuur 4.5. Classificatie van modellen op basis van hun intrinsieke eigenschappen. Naar Guisan & Zimmermann (2000).

4.6 Fenologie en mismatch in tijd

Hogere temperaturen grijpen in op de fenologie van soorten, het tijdstip in het seizoen waarop bijvoorbeeld kieming, bloei, zaadzetting optreedt. Via bestendigheid tegen vorst en hitte worden de overlevingsmogelijkheden van soorten beïnvloed (Noest et al., 1995; Van Vliet, 2008; Walther et al., 2002)

Insecten kunnen profiteren van hogere temperaturen en een langer groeiseizoen door meer generaties per jaar te produceren. Dit is recent onderzocht voor bladluizen en hun natuurlijke vijanden (Verhagen et al. 2009). Ook voor planten zijn langere groeiseizoenen vermeld, vooral door een vervroeging van het groeiseizoen.

Verschillen in fenologische respons tussen soorten kan leiden tot mismatches in voedselketens. De ene soort reageert bijvoorbeeld sterker op hogere voorjaarstemperaturen dan de 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, hetgeen mogelijk samenhangt met het ecosysteemtype (Both et al. 2006).

4.7 Genetische adaptatie

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. Het is de vraag of adaptatie vlot genoeg gaat om het tempo van klimaatverandering te volgen (Jump & Peñuelas 2005)

4.8 Verandering verspreidingspatronen

Het huidige verspreidingspatroon van soorten (planten en dieren) hangt samen met standplaatsfactoren (bodemtype, waterhuishouding, waterkwaliteit, beheer, etc). Daarnaast is een aantal klimaatkenmerken van invloed op het al dan niet voorkomen van soorten. De set van geschikte klimaatkenmerken wordt klimaatvelop van een soort 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 klimaatveloppen in de ruimte 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 dit dat we dan ook soorten die nu ongeveer in of rondom Parijs voorkomen, in Nederland kunnen verwachten?

De relatie tussen temperatuurstijging en de overlevingskansen van soorten is in diverse studies statistisch onderzocht, vaak met zogenaamde klimaatvelopmodellen (met temperatuur en andere klimaatfactoren), maar ook op basis van historische verspreidingsgegevens van soortgroepen, zoals planten (Van der Staij & Ozinga 2008; Tamis et al. 2005), dagvlinders (Warren et al. 2001) en vogels (Julliard et al. 2004).

Klimaatverandering, en dan vooral de stijging van de temperatuur, kan leiden tot het oprukken van nieuwe plant- en diersoorten. Er zijn diverse gevallen bekend waarbij het oprukken van exoten grote gevolgen heeft gehad voor de (soortensamenstelling van de) vegetatie (Grote waternavel, Japanse duizendknoop, Waterpest, Bospest, Eikenprocessierups, Kastanjemineermot). In de



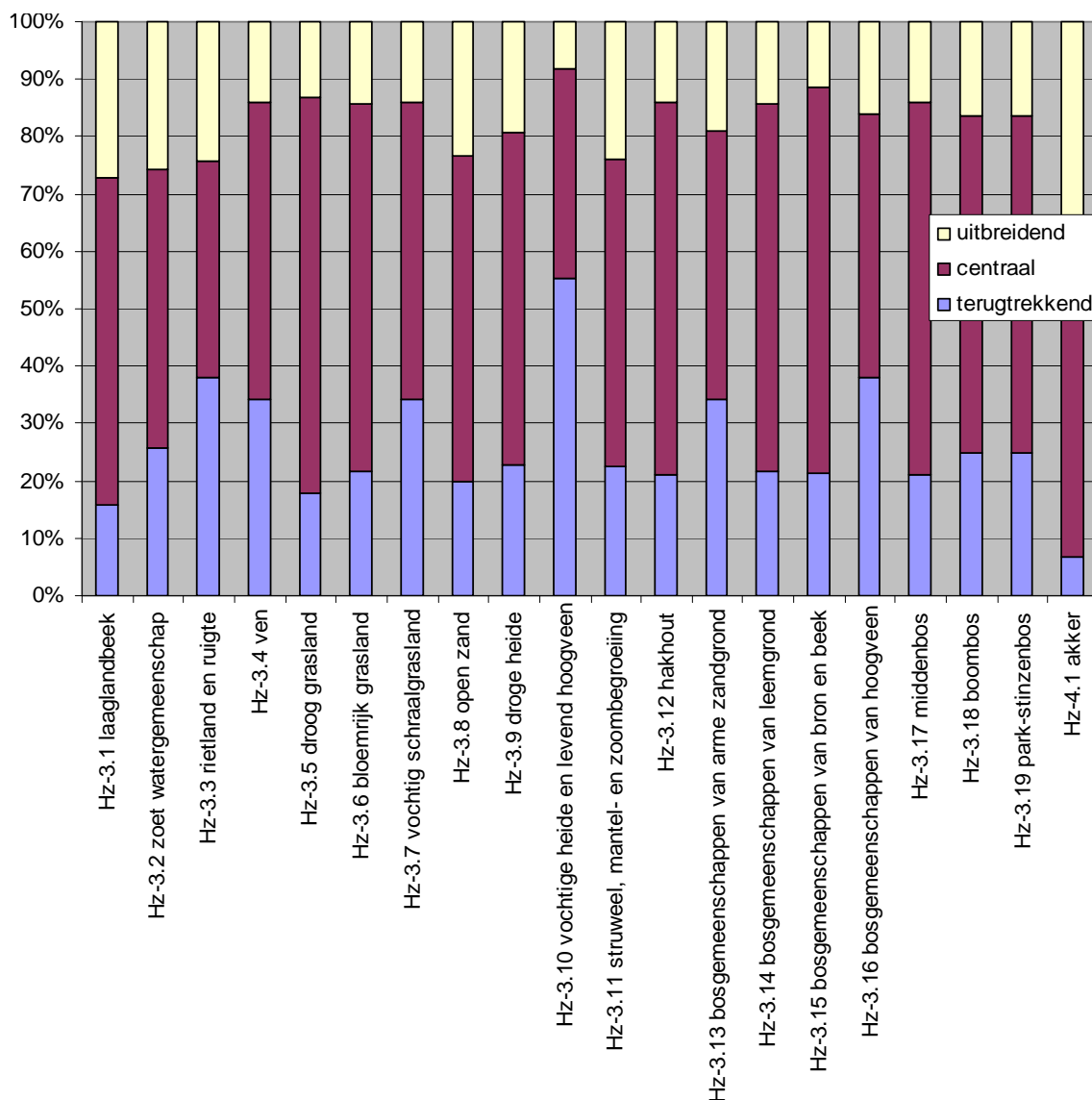
meeste gevallen zijn de probleemsoorten afkomstig van andere continenten; het probleem heeft dan niets met klimaatverandering te maken, maar met het toegenomen verkeer tussen de continenten en het bewust importeren van soorten.

Voor honderden soorten zijn door verschillende onderzoeksgroepen klimaatvelopmodellen ontwikkeld die de verschuiving van de geschikte klimaatzone voor verschillende klimaatscenario's voorspellen (Aroujo et al. 2006, Bakkenes et al. 2002, Berry et al. 2007, Settele et al. 2008). De verschuivingen van geschikte klimaatzones zijn over het algemeen noordwaarts in Nederland (Parmesan et al. 1999, Bakkenes et al. 2002). Vooral aan de rand van hun areaal zullen soorten reageren op klimaatverandering (Vos et al. 2007). De klimaatzone van soorten die in Nederland aan de zuidgrens van hun areaal zitten, kan zich uit Nederland terugtrekken, terwijl de klimaatzone van soorten die in Nederland aan de noordgrens van hun areaal zitten, zich kan uitbreiden. De klimaatvelopmodellen van een vijftal soortgroepen zijn geïnterpreteerd, zodat we uitspraken kunnen doen over verwachte veranderingen in de soorten-samenstelling van Nederlandse natuur (Klimaatrespons database: Van der Veen et al. 2010). Hiervoor zijn de resultaten gebruikt voor scenario's die overeenkomen met het W+ scenario. Bij dit scenario treden de grootste veranderingen op vergeleken met de huidige situatie, daarom is de verwachting dat hiermee de mogelijke knelpunten voor soorten het best geïdentificeerd kunnen worden. Het gevolg is dat de mate van verschuiving van geschikte klimaatzones overschat zou kunnen worden. Echter, door het KNMI is aangegeven dat het W scenario waarschijnlijker is dan een meer gematigd scenario, vanwege de hoog blijvende concentraties broeikasgassen. De keuze om voor het extreme, warmere scenario te kiezen lijkt dus terecht te zijn..

Voor 71% van de doelsoorten (van natuurdoeltypen, indicatoren van het Nederlandse natuurbeleid) zijn resultaten van klimaatvelopmodellen geïnterpreteerd en vastgelegd op de Cdrom Klimaatrespons Data base.. Alleen soorten waarvan het huidige verspreidingspatroon goed verklaard werd door het envelopmodel zijn gebruikt. We hebben doelsoorten op basis van de resultaten van de klimaatvelopmodellen ingedeeld in drie hoofdcategorieën van respons-groepen: uitbreidend, centraal en terugtrekkend. De termen uitbreidend, centraal en terugtrekkend slaan op de verschuiving en omvang van de klimaatzone, relatief ten opzichte van Nederland, maar voor de leesbaarheid zullen we het hebben over uitbreidende soorten, centrale soorten en terugtrekkende soorten.



Figuur 4.6: Verdeling klimaatresponsgroepen van doelsoorten in natuurdoeltypen op hoge zandgronden



Voor doelsoorten van natuurdoeltypen die tot de hoge zandgronden behoren (indeling van 1995) is een overzicht gemaakt van het % uitbreidende, centrale of terugtrekkende soorten gemaakt (zie Figuur 4.6). Er zijn grote verschillen tussen de natuurdoeltypen wat betreft de percentages terugtrekkende, centrale en uitbreidende soorten. Over het algemeen is het percentage terugtrekkende soorten groter dan het percentage uitbreidende soorten. Natuurdoeltypen met relatief veel terugtrekkende soorten zijn vochtige heide en levend hoogveen (55%), rietland en ruigte (38%), vennen (34%), vochtig schraalgrasland (34%), bosgemeenschappen van arme zandgrond (34%) en bosgemeenschappen van hoogveen (38%). Natuurdoeltypen met relatief veel uitbreidende zijn zoetwatergemeenschappen (26%), rietland en ruigte (24%), open zand (23%), struweel, mantel- en zoombegroeiing (24%) en (multifunctionele) akkers (41%).



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 de toekomstige habitat ook kan bereiken.

4.9 Effect van extremen: populatie fluctuaties

Toegenomen frequentie en heftigheid van extreme weersomstandigheden zullen hun weerslag hebben op de populatiedynamiek (Easterling et al. 2000). Het frequenter en heftiger optreden van weersextremen wordt gezien als de belangrijkste oorzaak van veranderingen in ecosystemen (Easterling et al. 2000, Parmesan et al. 2000).

Extreem warme, koude, natte of droge perioden hebben een grotere kans om voor te komen. Dit heeft gevolgen voor de kwaliteit van de habitat voor planten en dieren. De extremen kunnen zowel gunstig als ongunstig uitpakken voor de habitatkwaliteit. De verandering in habitatkwaliteit is wellicht tijdelijk, maar het is onzeker hoe snel, en òf, herstel optreedt. Het gevolg van extremen is dat er grotere fluctuaties in populatiegrootte op zullen gaan treden. In homogene en kleine gebieden is te verwachten dat die fluctuaties het grootst zijn. Fluctuaties zijn ongunstig voor de overlevingskans van populaties (Vos et al. 2007). Het gunstige effect van heterogeniteit van habitat op overleving van soorten is beschreven voor loopkevers (Den Boer 1986) en het gunstige effect van betere ruimtelijke samenhang is beschreven voor de Rietzanger (Foppen et al 1999) Effecten van weersextremen, zoals extreme droogte, hevige neerslag en hittegolven, op de soortensamenstelling van de vegetatie is aangetoond. Zo leidde: droogte tot minder vestiging van nieuwe soorten in een vegetatie en zware regenval tot meer vestiging van nieuwe soorten in een veldexperiment in Centraal Europa; en reproductie nam af bij zware regenval, hittegolven en droogte in een experiment in Colorado (Jentsch & Beierkuhnlein, 2008)

4.10 Veranderingen in soortensamenstelling ecosystemen

Het verschuiven van areaalgrenzen door gewijzigde klimatologische condities speelt in op soortinteracties omdat soorten kunnen verdwijnen en anderen verschijnen. Naast een mismatch in tijd, bedreigt ook een mismatch in ruimte de biodiversiteit, wanneer de ene soort zijn verspreidingsgebied op een andere



manier aanpast aan 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).

Hoe de soortensamenstelling van de ecosystemen 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.

Het opvallend, dat de natuurtypen die volgens de resultaten van de klimaatvelopmodellen het meest kwetsbaar zijn, in grote lijnen overeenkomen met de verwachtingen zoals die zijn weergegeven in de zogenaamde ecohydrologische schetskaart van Nederland (Figuur 4.7). In deze kaart zijn op basis van modeluitkomsten, literatuuronderzoek, proceskennis en consultatie van deskundigen, de effecten op de belangrijkste natuurtypen in Nederland zo goed mogelijk geschat. De overeenkomsten in resultaten (conclusies over meest kwetsbare typen) mag gezien worden als een bevestiging van de juistheid van de resultaten.



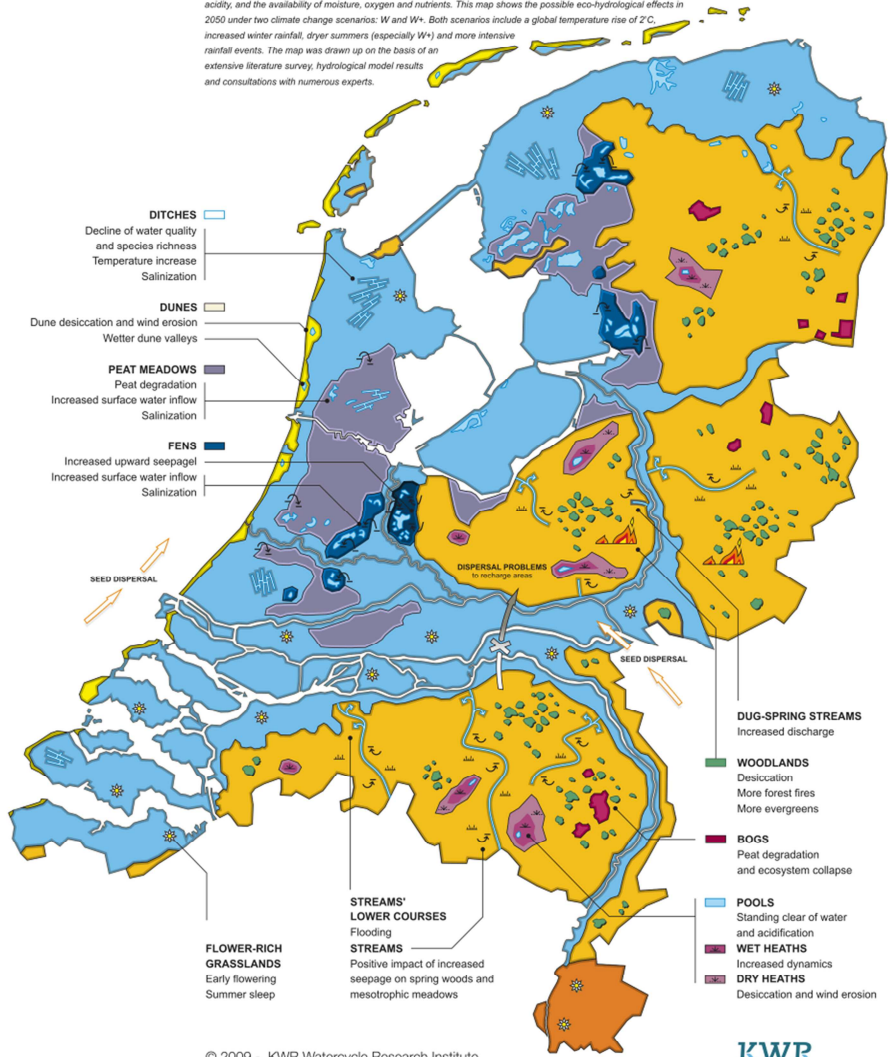
Figuur 4.7. Ecohydrologische schetskaart van Nederland (Witte et al., 2009).

Eco-hydrological impact of climate change

Preliminary sketch map (W and W+ scenarios, 2050)

Authors: Jan-Philip M. Witte and Han Runhaar

Climate change, through its impact on the watercycle, will alter the diversity of plant species and plant communities. These alterations will in turn have an effect on habitat factors that are essential for plant growth such as salt levels, acidity, and the availability of moisture, oxygen and nutrients. This map shows the possible eco-hydrological effects in 2050 under two climate change scenarios: W and W+. Both scenarios include a global temperature rise of 2°C, increased winter rainfall, dryer summers (especially W+) and more intensive rainfall events. The map was drawn up on the basis of an extensive literature survey, hydrological model results and consultations with numerous experts.







5 Effecten van klimaatverandering op landbouw

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de effecten van klimaatverandering op de landbouw op de hoge zandgronden in Nederland. Klimaatverandering is één van de externe factoren die de landbouwproductie beïnvloeden (van groeiomstandigheden op individuele percelen tot regio's en sectoren binnen de landbouw).

Het agrarisch grondgebruik van de hoge zandgronden van oost Nederland bestaat voor ongeveer 2/3 uit grasland en voor 1/3 uit bouwland (23% mais, 8% akkerbouw), slechts 1% is in gebruik voor tuinbouw, fruitteelt en boomkwekerijen. Het gebied heeft in totaal ongeveer 10.000 agrarisch bedrijven, 80% met veehouderij (waarvan 12% intensieve veehouderij), 8% met akkerbouw en 2% met tuinbouw of blijvende teelt. De overige 10% van de bedrijven zijn combinatiebedrijven. Opvallend voor de landbouwbedrijven op de hoge zandgronden is dat er relatief veel kleine bedrijfjes zijn met een beperkt toekomstperspectief. Het overall beeld voor de landbouw op de hoge zandgronden is een relatief extensief grondgebruik en beperkte toekomstmogelijkheden voor de productiegerichte landbouw. Aanvullingen op de inkomsten komen vaak uit vergoedingen voor agrarisch natuurbeheer, zorglandbouw en recreatievoorzieningen. In het landbouwgebied op de flanken van de Veluwe in het Blauwe Bron gebied bestaan de bedrijven vrijwel allemaal uit multifunctionele bedrijven.

5.2 Effecten van veranderingen in temperatuur en neerslagpatronen

De belangrijkste effecten van klimaatverandering voor de landbouw op de hogere zandgronden hebben betrekking op verandering van temperatuur- en neerslagpatronen. Dit betekent een structureel hogere temperatuur met drogere zomers en nattere winters. Daarnaast zullen weersextremen zoals plensbuien en hittegolven naar verwachting vaker voorkomen.

De dimensionering van de secundaire en tertiaire watergangen in ons land is gebonden aan strenge normen voor zowel ontwatering als afwatering. De ontwateringsnormen zijn vooral gericht op het voorkómen van natschade in de landbouw; de afwateringsnormen zijn gebaseerd op het verwerken van de zogenaamde 'maatgevende afvoer', de afvoer die één á twee keer per jaar wordt overschreden. Beide typen normen zijn grotendeels gebaseerd op empirie, ontleend aan het klimaat van halverwege de twintigste eeuw. In de praktijk blijkt



dat de ontwatering in de zomer vaak tot enige droogteschade leidt. Van de andere kant is de laatste jaren, en ook in de meest recente nazomer van 2010, op verschillende plaatsen in Nederland gebleken dat de bestaande watergangen niet in staat zijn extreme neerslagbuien te verwerken, met een aanzienlijke schade aan gewassen, taluds en gebouwen tot gevolg.

Sommige veranderingen hebben voor landbouw een gunstige uitwerking andere zijn nadelig. Tabel 5.1 geeft een overzicht van de effecten van klimaatverandering op de landbouw van de hoge zandgronden. Hogere temperaturen kunnen leiden tot een langer groeiseizoen, omdat de omstandigheden in het voorjaar eerder geschikt zijn voor de gewassen en bewerking van de bodem. Voor landbouw op de hoge zandgronden is de toename van droge zomers, met name in het W+ scenario, een groot knelpunt (Blom et al., 2008). Veel landbouwgewassen zijn gevoelig voor droogte (aardappelen, granen, maïs en vollegrondsgroenten) en ook grasland heeft productieverlies bij lange droogte. Dit neemt het voordeel van een langer groeiseizoen vaak weer weg. In droge jaren is de opbrengst lager, maar is de oogst niet volledig mislukt. Prijzen voor de gewassen liggen vaak hoger. Echter beregening in de toekomst zal minder mogelijk zijn door het aan banden leggen van het watergebruik in droge perioden.

Incidentele gevolgen van klimaatverandering (zoals hittegolven, late vorst en hagel- of plensbuien) kunnen grote nadelige gevolgen hebben voor een landbouwbedrijf. Hagelbuien in het groeiseizoen kunnen voor tuinbouw en fruitteelt desastreus zijn, tijdelijke wateroverlast kan grote delen van de oogst in de akkerbouw vernietigen, of het onmogelijk maken het land op te gaan. Het vaker voorkomen van hittegolven is voor veehouderij nadelig omdat meer geventileerd moet worden (intensieve veehouderij), bij melkvee gaat bij hoge temperaturen de melkproductie omlaag.



Tabel 5.1. Gevolgen van klimaatverandering voor de landbouw op hoge zandgronden.

Klimaataspect	Effect	Consequenties voor landbouw
Verandering Temperatuur patronen	Temperatuurstijging	Productieverhoging, langer groeiseizoen, introductie warmteminnende gewassen
		Toename ziekten & plagen door: introductie van nieuwe soorten; versnelling van de reproductie en verkorting van de regeneratiecyclus doorbreken resistenties van gewassen
		Mogelijkheden tot overwinteren van ziekten en plagen
		Opkomst invasieve plantensoorten
	Onvoldoende vernalisatie (door kou beïnvloeden van het groeiproces/-stadium)	
	Vorst	Doodvriezen bloem(knopp)en bij vervroegde bloei
	Hittegolven	Productieverlies, gewasschade. Lagere melkproductie melkveehouderij, meer energie nodig voor ventilatie van stallen, meer stankoverlast van intensieve veehouderij
Verandering neerslag patronen	Overstromingen	Kwaliteitsverlies door langdurig onder water staan gewas (anaerobie)
		Velden onberijdbaar voor oogstmachines
		Toename ziekten & plagen
		Verlating zaaidata
	Droogte	Opbrengstderving
		Kwaliteitsverandering (osmotische effecten), vooral effect bij mais, granen, aardappelen. Bij suikerbieten verhoging suikergehalte
Plensbuien of hagel	Fysieke schade, vooral bij tuinbouw en boomteelt	
	Legering (granen)	
CO ₂ -verhoging		Productieverhoging (door stimulering van de vegetatieve groei van gewassen)

In tabel 5.1 gaat het om de schade aan de landbouw. Echter zoals in figuur 4.1 al aangegeven versterkt klimaatverandering de ver-thema's vermessing, verdroging en vervuiling, dus ook die veroorzaakt door de landbouw. Zo leiden veranderingen in neerslagpatronen bijvoorbeeld tot overstromingen en tot uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen van de landbouwpercelen naar het oppervlakte- en grondwater. Onzeker is hoe het effect van verdunning door de grotere hoeveelheid water doorwerkt. De invloed van deze



uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen naar het oppervlaktewater is relevant bij de realisatie van doelen uit de Kaderrichtlijn Water.

5.3 Gevolgen voor de landbouwsector

In vergelijking met laag Nederland lijken de gevolgen van klimaatverandering minder ingrijpend omdat aspecten zoals verzilting, bodemdaling en zeespiegelstijging voor de hoge zandgronden niet aan de orde zijn. Desondanks is droogte wel een probleem waar juist de bodems in hoog Nederland gevoelig voor zijn in tegenstelling tot laag Nederland. Bovendien is de aanvoer van zoet water van elders een groter probleem op hoge gronden.

De structurele effecten van klimaatverandering op de landbouw zijn naar verwachting voorlopig beperkt. De verwachting is dat op korte termijn technologische innovaties en aanpassingen in de agrarische bedrijfsvoering de geleidelijke klimaatverandering voor een groot deel kunnen ondervangen. Toch zullen er verrassingen blijven bestaan waar de landbouw op zal moeten inspelen. Met name de veranderende risico's door extremen, ook door droogte en door ziekten en plagen zijn nog onduidelijk (Verhagen et al. 2009).

Al met al lijken de negatieve effecten van klimaatverandering op de landbouw van de hoge zandgronden in Oost Nederland voorlopig beperkt. De aandacht zal op de langere termijn vooral uit moeten gaan naar het op orde brengen en houden van het waterbeheer, juist bij de nieuwe situatie van zowel frequente en heftiger wateroverlast als watertekorten. Op dit punt zijn er juist veel kansen voor landbouw.



6 Adaptatiemogelijkheden

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de kennis die we hebben over adaptatiemogelijkheden om de gevolgen van klimaatverandering op water, natuur en landbouw op de hoge zandgronden op te vangen. Omdat de waterhuishouding in Nederland sterk is afgestemd op verschillende vormen van landgebruik, met name landbouw, nemen we geen aparte paragraaf voor water op, maar zijn adaptatiemaatregelen gericht op het waterbeheer geïntegreerd bij de teksten over natuur en landbouw.

6.2 Adaptatiemogelijkheden natuur

Adaptatiestrategieën zijn strategieën waarmee maatregelen genomen worden om de gevolgen van klimaatverandering op te vangen. Voor natuur betekent dit dat er maatregelen genomen worden, die de beste kansen geeft voor de biodiversiteit bij klimaatverandering (de rijkdom aan soorten en hun onderlinge ruimtelijke en functionele samenhang).

6.2.1 Verbeteren abiotische kwaliteit

Maatregelen in beheer zijn erop gericht om de standplaatsfactoren gunstig te beïnvloeden. Eén van de verwachte gevolgen van hogere temperaturen (in combinatie met droogte) is dat de mineralisatiesnelheid toeneemt, hetgeen leidt tot grotere nutriëntenbeschikbaarheid voor de vegetatie, wat weer kan leiden tot meer groei. Ook hogere CO₂ 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 verzuivering, 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. Kleinschaligheid en fasering in ruimte en tijd van maaien en plaggen



voorkomt verstoring van gedrag van dieren, verhindering van zaadzetting bij planten, etc. Preventieve maatregelen om de nutriëntenbelasting omlaag te krijgen zijn minstens zo belangrijk (eutrofiëring vanuit landbouw bijvoorbeeld door afspoeling nutriënten, inundatie met eutroof water, e.d.).

6.2.2 Verbeteren hydrologie

Ingrijpende veranderingen in standplaatsfactoren zijn te verwachten door veranderingen in neerslag- en verdampingspatronen in combinatie 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 alléén geen duurzame oplossing voor klimaatverandering bieden.

Naast technische maatregelen liggen er mogelijkheden in het gebruiken van natuurlijke hydrologische processen. Zo kan er meer gebruik gemaakt worden van het waterbergend vermogen binnen regionale stroomgebieden. Dat betekent in stroomgebieden dat bovenstrooms water langer vastgehouden wordt in bijvoorbeeld natuurlijke laagtes en in de bodem zelf door het toestaan van een hoger peil. Verder door het herstellen van meanderende stromen en door het verwijderen of minder diep maken 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. Het gevolg van bovenstaande maatregelen is minder snel optreden van droogteschade in perioden met weinig neerslag, omdat het systeem langer water blijft naleveren. Voor beken betekent dit bijvoorbeeld dat ze langer blijven stromen en minder snel stil- of droogvallen. Het Blauwe Bron gebied bestaat overigens voor het grootste gedeelte uit een hellend vlak, waarin geen drainage in de bodem is aangelegd.

In perioden met veel neerslag zullen ook natte gebieden beperkt zijn in de hoeveelheid water die nog opgevangen kan worden. Mogelijkheden liggen in de aanwezigheid van natuurlijke laagten om water op te vangen. Wanneer die afgekoppeld zijn van het drainagestelsel, sijpelt het water de bodem in, waar het bijdraagt aan grondwateraanvulling. Bredere en ondiepere beekdalen bieden ruimte voor opvang van extreme neerslag en inundatie. Voorwaarde van dergelijke maatregelen is dat de ruimte beschikbaar is, het zal lokaal ten koste van andere vormen van grondgebruik gaan (landbouw, recreatie), maar op het niveau van het stroomgebied van een beek wordt het waterbeheer robuuster.

In welke richting het klimaat gaat veranderen is nog zeer onzeker. Bovendien, zo blijkt uit de hoofdstukken 3 en 4 is het voorspellen van de hydrologische en



ecologische gevolgen van klimaatverandering met minstens zo grote onzekerheden omgeven. Daaruit moeten dus geen conclusies worden getrokken die vergaande consequenties kunnen hebben, zoals het opgeven van bepaalde natuurdoelen omdat die toch niet meer haalbaar zouden zijn. Wel kan alvast op de mogelijke negatieve gevolgen van klimaatverandering worden geanticipeerd met het nemen van een aantal maatregelen.

Gebieden die dreigen te verdrogen kunnen geholpen worden met de volgende externe maatregelen buiten natuurgebieden:

- Verontdiepen ontwatering:
 - Beken laten hermeanderen, waarmee het peil in de beken omhoog gaat.
 - Opheffen van drainagebuizen en andere ontwateringsmiddelen.
 - Verdichten en verontdiepen van het drainagesysteem (een goede ontwatering kan worden bereikt door drainagebuizen op een relatief hoog niveau te leggen, op korte afstand van elkaar).
 - Lekkende riolen repareren.
- Reductie van grondwaterwinning:
 - Reductie van grondwaterwinning voor laagwaardige doeleinden (zoals koelwater voor de industrie).
 - Gebruik van oppervlaktewater voor de bereiding van drinkwater in plaats van grondwater.
- Vergroten grondwateraanvulling:
 - Loskoppelen van het regenwater van het riool: water dat op de daken en wegen valt moet de grond in stromen, niet naar het riool.
 - Mogelijkheden voor beregenen van landbouwgewassen beperken.
 - Veel verdampende naaldbomen (Douglas, Fijnspar) kappen en eventueel vervangen door loofbos.
 - Weinig verdampende akkerbouw stimuleren.

Het nemen van dergelijke externe maatregelen ten behoeve van natuurgebieden is vaak problematisch, omdat de terreinbeheerder geen zeggenschap heeft over andermans watergebruik en omdat er te grote sociaal-economische belangen in het geding zijn.



Structureel de ontwateringsdiepte veranderen is een strategie die helpt de verdroging tegen te gaan. Vernatting van landbouwpercelen is echter een ongewenst gevolg voor de sector. Hoge grondwaterstanden in het voorjaar leiden ertoe dat boeren pas later hun land op kunnen, en bij hevige neerslag wordt het water langzamer afgevoerd.

Maatregelen in, of in de nabije omgeving van, het verdroogde natuurgebied zijn ook mogelijk. Te denken valt aan de volgende interne maatregelen:

- Afdichten van de uiteinden of geheel dichtgooien van greppels.
- Verwijderen van veelverdampende bomen (vooral donker naaldhout).
- 's Winters een hoger peil toestaan door minder water af te voeren, zodat voor de zomer een waterbuffer ontstaat.
- Afgraven van de bovenset bodemlaag, zodat het maaiveld dichterbij de grondwaterspiegel komt.
- Bufferzones met een hoog waterpeil aanleggen op de grens tussen natuur en landbouw.

Wegens de eisen die plantensoorten stellen aan de chemische samenstelling van het water zullen maatregelen voor aanvoer van water vaak niet effectief zijn. Vooral natuurgebieden die afhankelijk zijn van de aanvoer van basenrijk kwelwater, zijn moeilijk met interne maatregelen te genezen. Vernatting leidt dan tot het wegdrukken van de basenrijke kwel, waar het natuurgebied nu net zijn waarde aan ontleent. Is het reservaat te klein en worden bufferzones te krap gedimensioneerd, dan kan weliswaar een hogere grondwaterstand in het reservaat worden bereikt, maar stroomt het gewilde kwelwater naar de dieper ontwaterde omgeving, in plaats van naar de vegetatie. Bufferzones rond kwelafhankelijke natuurgebieden dienen daarom vaak een behoorlijke omvang te hebben (Van der Schaaf, 1998).

Verdroging van natte heiden en vennen kan onder andere worden bestreden door het omzetten van veel verdampend donker naaldhout in loofbos, grasland of hei, en door het afdammen van greppels, voor zover die nog aanwezig zijn. Externe maatregelen zijn bijvoorbeeld het aanleggen van hydrologische bufferzones, het opzetten van peilen in landbouwgebieden, een beregeningsverbod in droge tijden en het verplaatsen of sluiten van grondwaterwinningen. Vergroten van de oppervlakte van aaneengesloten natuurterrein maakt het eenvoudiger een hoog grond- en oppervlaktewaterpeil ten opzichte van de omgeving te handhaven. Bovendien biedt oppervlaktevergroting soorten de mogelijkheid te migreren naar locaties die gunstige groeiomstandigheden bieden. In peilbeheerste gebieden, kan een flexibeler peilbeheer aanzienlijk helpen om de aanvoer van oppervlaktewater van een slechte kwaliteit zo lang mogelijk buiten de



deur te houden. Het verplaatsen van grondwaterwinningen en het bevorderen van de grondwateraanvulling in infiltratiegebieden, zoals de Veluwe, zijn maatregelen om meer water naar de beken en naar natte kwelafhankelijke natuurgebieden te krijgen.

Al deze maatregelen zijn gericht op de bestrijding van de verdroging, en als zodanig niet nieuw. Ze zijn van groot belang als scenario W+ bewaarheid wordt, en mogelijk van belang onder scenario W, dat op jaarbasis weliswaar natter is dan het huidige klimaat, maar dat een iets drogere zomer kent en evenals het scenario W+, meer meteorologische variatie tussen de jaren.

6.2.3 Ruimtelijke maatregelen

Zoals we hiervoor zagen, heeft klimaatverandering verschuiving van geschikte klimaatzones tot gevolg. Om soorten in staat te stellen die verschuiving te volgen, is het nodig dat het huidige leefgebied voldoende verbonden is met het leefgebied dat geschikt wordt bij klimaatverandering. In Nederland is de habitat van veel planten- en diersoorten versnipperd. Voor een aantal soorten bieden netwerken van habitatplekken onder de huidige omstandigheden voldoende ruimtelijke samenhang om duurzaam te overleven (Vonk et al 2010). Om verschuiving van klimaatzones te kunnen volgen, is echter op een grotere schaal ruimtelijke samenhang nodig. Het verbinden van netwerken van habitats via corridors of stapstenen is daarom een belangrijke adaptatiestrategie om natuur klimaatbestendig te maken. Hierbij is ook internationale aansluiting cruciaal, zodat uitwisseling van soorten tussen Nederland en omliggende landen mogelijk is. In feite zijn de robuuste verbindingen, die aanvullend op de EHS bedoeld waren voor de uitwisseling van soorten tussen regio's, al een voorbeeld van een dergelijke benadering (Broekmeyer en Steingröver 2001).

Nu is het niet nodig om alle natuurgebieden aan elkaar te verbinden. Afhankelijk van het internationale belang van ecosysteemttypen in Nederland zijn klimaatcorridors en regionale clusters ontworpen waarbinnen het nemen van adaptatiemaatregelen, waaronder het verbinden van netwerken, prioriteit heeft (Vonk et al. 2010). De (geplande) ligging van de robuuste verbindingen is zodanig, dat veel van de verbindingen bijdragen aan het vergroten van de ruimtelijke samenhang ten behoeve van het verschuiven van soorten van verschillende ecosystemen (Geertsema et al 2009).

Nederland is voor 'deltanatuur' (met name moerassen) van internationaal belang (Lammers et al. 2005). De ligging van Nederland is zodanig, dat het voor het duurzaam voortbestaan van de biodiversiteit van deze natuurtypen nodig is dat er een route van ruimtelijk samenhangende moerasgebieden door Neder-



land is (Vonk et al. 2010). Deze route moet aansluiten op moerasgebieden over de grens (rondom de Schelde, Maas, Eems). De IJssel vormt onderdeel van de klimaatcorridor voor moeras.

De klimaatcorridor voor bossen is zodanig vormgegeven dat belangrijke clusters van bosgebieden in Nederland aansluiten op bosgebieden in Duitsland en België (Vonk et al 2010).

Nederland is ook natte heide en hoogveen, vennen, droge heide en droge schraalgraslanden internationaal van belang: een relatief groot deel van de oppervlakte van deze typen in Europa ligt in Nederland (Lammers et al. 2005). Deze typen zijn sterk versnipperd, ook internationaal. De strategie is daarom in te zetten op versterken van regionale clusters, waarvan enkele grensoverschrijdende (Vonk et al. 2010). De Veluwe is onderdeel van de klimaatcorridors van bossen, en van een heidecluster.

Vergroten van gebieden is een ander onderdeel van de adaptatiestrategie. Zoals we zagen neemt de dynamiek van populatiegrootte toe door toenemende frequentie en heftigheid van extreme weersomstandigheden. Omdat grotere populaties beter in staat zijn deze fluctuaties op te vangen, is het vergroten van gebieden één van de adaptatiemaatregelen. Sterfte van een deel van de populatie, of een jaar met mislukte reproductie is in een grotere populatie minder bedreigend voor de overleving van de populatie dan in kleine populaties. Daarnaast blijkt uit modelsimulaties dat grotere populaties ook gunstig zijn voor het tempo waarmee soorten kunnen meebewegen met het verschuiven van klimaatzones (Schippers et al. Submitted). Juist de grote populaties vormen een belangrijke bron van individuen voor de kolonisatie van nieuwe gebieden. Ten slotte zijn grotere gebieden nodig om meer ruimte te bieden aan ruimtelijke heterogeniteit, wat het effect van weersextremen kan dempen.

Versterken van de verbindingen tussen gebieden en netwerken en het vergroten van gebieden leiden tot verbetering van de ruimtelijke samenhang tussen gebieden. Ook maatregelen binnen de gebieden spelen een rol in de adaptatie van natuur.

Grote gebieden met interne heterogeniteit geven een risicospreiding wanneer door klimaatverandering weersextremen vaker en heviger optreden. Hierdoor komen weersextremen minder hard aan en verloopt het herstel van soorten na een verstoring sneller. Voorbeelden van heterogeniteit zijn: relatief natte en droge plekken, variatie in de vegetatiestructuur, noord en zuid hellingen, gradienten in zoet-zout, voedselarm-voedselrijk etc. In natte jaren kunnen de relatief droge delen van een gebied als refugium dienen, in relatief warme jaren zijn juist beschaduwde plekken of noordhellingen gunstiger voor de overleving of reproductie.

Heterogeniteit is belangrijk op verschillende schaalniveaus. Niet alleen binnen natuurgebieden maar ook op regionaal niveau verbetert heterogeniteit de veerkracht van ecosysteemnetwerken. Heterogene landschappen dempen het



effect van weersextremen en verlagen hiermee het risico op regionale extinctie onder extreme weersomstandigheden.

Een hoge mate van heterogeniteit biedt ook ruimte aan meer soorten omdat bij competitie tussen soorten de kans toeneemt dat iedere soort een eigen optimum vindt. Een hoge biodiversiteit draagt weer bij aan risicospreiding bij het wegvallen van relaties in de voedselketen (Hooper et al. 2005).

Buiten grote natuurgebieden is natuur onderdeel van een multifunctioneel landschap, vaak met grote cultuurhistorische waarde, ook in de gebieden die in deze studie centraal staan. Adaptatiemaatregelen hebben dan ook veelal een multifunctioneel karakter. Het ligt voor de hand om in die gebieden te zoeken naar adaptatiemaatregelen die zijn afgestemd op de verwachte effecten op de verschillende grondgebruikfuncties, zoals landbouw, natuur en recreatie. Synergie tussen waterbergen – of vasthouden en natuurontwikkeling is in een aantal gevallen mogelijk (zie een casestudie in Groningen – Drenthe (Van Rooij et al 2009) Een ander voorbeeld van multifunctionele adaptatie is een zone rondom natuurgebieden die bijdraagt aan de klimaatbestendigheid van deze gebieden (Vos et al 2006; Agricola et al 2009, 2010). Adaptatiemaatregelen hebben bijvoorbeeld betrekking op het versterken van de ruimtelijke samenhang van de natuur, zoals een sterke groenblauwe dooradering van het landschap (Grashof et al 2009). Potenties van groenblauwe dooradering zijn risicoreductie van klimaatgebonden ziekten en plagen, een bijdrage aan het watervasthoudende en waterbergende vermogen van het landschap, versterking van de cultuurhistorische identiteit en verhoogt de recreatieve draagkracht en kwaliteit van het landschap (Agricola et al 2009).

De rol van groenblauwe dooradering in opvangen van klimaateffecten is vooral kwalitatief aangetoond. Empirisch onderzoek heeft bijvoorbeeld de versterking van de ruimtelijke samenhang van ecologische netwerken op grotere schaal aangetoond (Grashof et al 2009), de bijdrage aan realiseren wateropgave (Van Rooij et al 2009), of de bijdrage aan natuurlijke plaagonderdrukking (Scheele en Van Gurp 2007), Vervolgonderzoek zou enerzijds meer licht moeten werpen op de kwantitatieve bijdrage aan adaptatiedoelen, zoals het opvangen van extremen in de waterhuishouding en ondersteunen van het meebewegen van soorten met klimaatzones en anderzijds op de kosten en batenkant van het verhaal: de productiekosten die het meebrengt door omzetten van landbouwgrond in groenblauwe dooradering en de baten door het leveren van groenblauwe diensten.

In potentie kunnen natuurgebieden een belangrijke rol spelen bij het opvangen van de effecten van klimaatverandering op andere ruimte gebruiksfuncties en op de leefomgeving van de mens (Vonk et al 2010). Het gaat om zeer diverse maatregelen zoals beheersen van waterdynamiek in stroomgebieden door de inzet van (nieuwe) natuurgebieden, natuurlijke beeksystemen en landschapselementen; het verkleinen van de risico's op het optreden van ziekten en



plagen voor mensen en voor plantaardige en dierlijke productie (Mawdsley et al 2009); natuur in de stad als drager van de leefomgevingkwaliteit door opvangen effecten klimaatverandering (Gill et al. 2007); de bijdrage van natuur aan mitigatie van klimaatverandering (CO₂-fixatie in rietmoerassen, bossen) (Millar et al 2007). In het KvK project in Noord-Brabant wordt specifiek gezocht naar mogelijkheden en onmogelijkheden van multifunctionele adaptatiestrategieën, waarbij natuur één van de vormen van grondgebruik is.

6.3 Adaptatiemogelijkheden landbouw

Om in te spelen op veranderende weersomstandigheden en de uitstoot van CO₂ te beperken zal landbouw net als andere sectoren maatregelen moeten nemen. Niets doen is voor de langere termijn geen optie. Maatregelen kunnen plaatsvinden op verschillende niveaus, variërend van het perceel- of gewasniveau tot het schaalniveau van een regio:

- Gewasniveau, adaptatie in relatie tot gewasgroei, inspelen op veranderende groeiomstandigheden (bodemstructuur, vochthuishouding)
- Bedrijfsniveau, adaptatie in relatie tot de bedrijfsvoering, bv maatregelen in de jaarplanning en gewasrotatie
- Sectorniveau, adaptatie in relatie tot bedrijfssystemen, innovatieve maatregelen zoals introductie van nieuwe gewassen of teeltsystemen
- Gebiedniveau, integrale benadering van crosssectorale effecten, afstemmingen van maatregelen op andere sectoren (natuur-, waterbeleid etc).

Met cross-sectorale effecten wordt bedoeld dat adaptatiestrategieën door de nauwe verwevenheid van sectoren in gebieden op elkaar afgestemd moeten worden. Het is belangrijk om na te gaan hoe de adaptatiestrategieën van bv. landbouw uitpakken voor natuur en vice versa. Juist voor de hoge zandgronden geldt dat natuur en landbouw zodanig met elkaar verweven zijn dat een integrale aanpak van de knelpunten niet alleen voor de hand ligt, maar zelfs noodzakelijk lijkt. Zo is droogte er zowel voor natuur als landbouw een probleem. Beide sectoren leggen in feite een claim op het beperkt beschikbare water. Vanwege verschillende belangen van sectoren zullen bij het ontwikkelen van adaptatiemaatregelen vaak afwegingen gemaakt moeten worden.



Maatregelen worden op een hoger schaalniveau steeds complexer en meer omvattend. De benadering van schaalniveaus biedt een kader voor te nemen maatregelen. Er kan geredeneerd worden van zowel het lager naar hoger schaalniveau (wat zijn de gevolgen van teeltaanpassingen voor een bedrijf, voor andere sectoren of voor een gebied als geheel) als andersom (wat zijn de gevolgen van toekomstige marktontwikkelingen of van aanpassingen van het watersysteem voor verschillende landbouwsectoren en andere sectoren, voor afzonderlijke bedrijven of voor specifieke teelten). Een dergelijke benadering geeft aan dat sectorale maatregelen niet los gezien kunnen worden van het grotere geheel en van maatregelen die genomen worden in andere sectoren.

Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven van mogelijke maatregelen die bedrijven op de hoge zandgronden zouden kunnen nemen. De voorbeelden zijn ontleend aan de studie *Klimaat en landbouw; risico's en kansen* (Meeteren en Korevaar, 2010), een inventariserende studie voor de hoge zandgronden in Noord-Brabant. Gezien de overeenkomsten tussen het landgebruik en de ondergrond tussen Noord-Brabant en Gelderland, worden resultaten van die studie hier gebruikt. Veel van de maatregelen zijn als mogelijke oplossing voor de gevolgen van klimaatverandering ontwikkeld. De werkelijke toepassing en effectiviteit in de praktijk is onvoldoende getoetst.

- Maatregelen op gewas- en bedrijfsniveau:
 - Verandering gewasrotatie; verhogen van het aantal gewassen in de rotatie, eventueel met groenbemesters
 - Bodemverzorging, behoud van de bodemstructuur:
 - Minder intensieve grondbewerking
 - Gewasresten niet afvoeren
 - Verhogen van de sponswerking, vochthoudend vermogen van de bodem door bodemstructuur verbeterende maatregelen: meer organische stof, beter doorwortelbare laag en verhoging van de capillaire nalevering van het grondwater
- Sectorale (innovatieve) maatregelen:
 - Ontwikkelen van ziekte resistente gewassen
 - Introductie van nieuwe droogte-, warmtetolerante gewassen (druiven, gerst, zonnebloem, C4-plant sorghum, etc.)
 - Alternatieve bedrijfssystemen zoals de waterhouderij
- Integrale gebiedsgerichte maatregelen/ regionale herinrichting:
 - Waterconservering; vasthouden van gebiedseigen water (neerslag) door aanleg van retentiebekkens en het verminderen van de afvoersnelheid
 - Maatregelen om de verslechterende waterkwaliteit bij lage afvoer en hoge temperaturen tegen te gaan.
 - Versterken groenblauwe dooradering, combinatie van waterberging en tegengaan van hittestress, , versterken van klimaatbestendige natuurgebieden en migratie van soorten en



van de functionele agro-biodiversiteit om ziekten en plagen te onderdrukken.

- Verplaatsen van boerenbedrijven , herinrichting van gebieden

Integrale gebiedsgerichte maatregelen en maatregelen voor regionale herinrichting zijn sectoroverschrijdend en vragen om een gezamenlijke aanpak van boeren, provinciale en gemeentelijke overheden en andere belangenorganisaties. Bij deze maatregelen is het ook van groot belang om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen zowel de verwachte ontwikkelingen voor de landbouw als ontwikkelingen in maatschappij, markt en technologie .

Inspelen op toekomstige ontwikkelingen betekent voor de hoge zandgronden dat uitgaande van de huidige trend op veel plaatsen rekening moet worden gehouden met de overgang van een (voedsel)productielandschap naar een consumptiegericht multifunctioneel landschap. Vooral voor de hoge zandgronden mag verwacht worden dat boeren er steeds meer gezelschap krijgen van burgers, particulieren en niet-agrarische ondernemers. Deze nieuwe actoren zullen in toenemende mate de nieuwe economische dragers van het platteland gaan vormen. Een dergelijke ontwikkeling is vanzelfsprekend van groot belang voor te nemen maatregelen ten behoeve van toekomstige landbouwactiviteiten.

De samenleving verwacht in toenemende mate dat landbouw een bijdrage levert aan de instandhouding van het landschap, met name in nationale landschappen en ander waardevolle cultuurlandschappen. Juist op de hoge zandgronden van oost Nederland zijn deze landschappen sterk vertegenwoordigd, deze gebieden zijn om die reden bovendien van grote recreatieve betekenis. Verder verwacht de samenleving dat het landelijk gebied meer gaat fungeren als waterbuffer. In de eerste plaats om er bij extreme neerslag voor te zorgen dat steden, industriegebieden en wegen droog en bruikbaar blijven en op de tweede plaats om winterneerslag vast te houden tot ver in het voorjaar/ zomer om te voorkomen dat kwetsbare natuurgebieden verdrogen.

Gelijktijdig zijn de perspectieven voor de landbouw op de hoge zandgronden beperkt. De kleinschalige landschappelijke structuur lijkt in toenemende mate beperkingen op te leggen aan schaalvergroting van de grondgebonden landbouw (Galama et al, 2008) en vanwege uitspoelinggevoeligheid van grote delen van het zandgebied zijn mogelijkheden voor intensivering/ hogere veebezetting van het agrarisch grondgebruik beperkt.

De genoemde ontwikkelingen bieden voor de hoge zandgronden bij uitstek uitdagingen aan de landbouw om te komen tot een verbrede multifunctionele bedrijfsvoering waarbij wordt ingespeeld op de wensen van de maatschappij,



op het gebied van recreatie, landschap-, natuur en waterbeheer. Daar staat tegenover dat deze diensten door belanghebbenden in de maatschappij ook structureel beloond moeten gaan worden.

Klimaatverandering zal waarschijnlijk leiden tot hogere maatgevende afvoeren, in combinatie met juist meer droogte in de zomer. De buien zullen mogelijk ook vaker en heftiger in het groeiseizoen optreden, bij hogere dagtemperaturen. Daardoor is zowel meer natschade, als meer droogteschade te verwachten. Om hierop voorbereid te zijn zullen de normen voor de dimensionering van watergangen moeten worden herzien. Te denken valt aan bredere en ondiepere watergangen, verdichting en verontdieping van het drainagestelsel, herziening van kunstwerken, de aanleg van retentiebekkens, vergroting van het aandeel oppervlaktewater. Mogelijk zal het economisch verstandig zijn niet alleen de watergangen aan te passen, maar ook de bedrijfsvoering van agrariërs: minder gevoelige gewassen telen en meer maaiveldvariatie in percelen accepteren om schaderisico's over de jaren te spreiden.

Om enorme economische schade te voorkomen, is onderzoek nodig naar de mogelijkheden om watergangen en bedrijfsvoering aan te passen aan het klimaat van de toekomst. De te nemen adaptatiemaatregelen kunnen een bedreiging vormen voor de biodiversiteit en de kwaliteit van het landschap, maar anderzijds kunnen zij ook kansen bieden om samen met de nieuwe inrichtingsmaatregelen nieuwe natuur te creëren en de emissie van broeikasgassen te reduceren (de zogenaamde meekoppeling).





Deel III

Toepassing in case studiegebieden Baakse Beek en Blauwe Bron





7 Gebiedsbeschrijving Baakse Beek

7.1 Algemeen

Het stroomgebied van de Baakse Beek-Veengoot heeft een oppervlakte van bijna 30.000 hectare en strekt zich uit van Lichtenvoorde tot Baak. Geomorfologisch en hydrologisch is het stroomgebied in drie delen te onderscheiden. Voor namen zie figuur 7.1 topografie Baakse beek.

1. Ten oosten van Lichtenvoorde ligt het Oost- Nederlands plateau en Terrasrand.
2. Het Middengebied tussen Lichtenvoorde en Veldhoek is het vroegere moeras- en broekgebied, dat nu bestaat uit beekdalgronden, dekzandvlakten en dekzandruggen met esdekken (zie figuur 7.2 geomorfologie).
3. Het gebied omsloten door Baak - Vorden - Ruurlo - Zelhem. Het land van landgoederen en oude beken en laken binnen dit gebied, beter bekend als de Graafschap heeft ook een afwisseling van beekdalgronden en dekzandruggen met of zonder esdek. Met ten westen van de lijn Hengelo - Vorden een snelle afdaling naar het IJsseldal met een kleidek op dekzand.

In alle drie deelgebieden is landbouw de grootste grondgebruiker en is het watersysteem op deze functie afgestemd. Dit is in het middengebied het sterkst. Van het vroegere kleinschalige landschap zijn er op het plateau nog enkele relictten over. In de Graafschap is het kleinschalige landschap nog wel aanwezig. Ook voor de natuur is dit gebied een belangrijk kerngebied. De landgoederen en hun pachters in de Graafschap zijn belangrijke hoeders van dit landschap. Ten westen van de lijn Hengelo – Vorden is het gebied geheel gericht op de landbouw.

7.2 Ontwikkeling van landbouw, natuur, landschap en water

Tot 100 jaar geleden kende de Achterhoek een zeer gevarieerd landschap met een wijd vertakt stelsel van natuurrijke beekdalen, uitgestrekte natte heiden, soortenrijke natte schraallanden en kleinschalige landbouwgebieden met veel houtwallen en singels. Dit landschap is ontstaan door een gestage ontwikkeling en ontginning van de Achterhoek. Met de komst van de kunstmest zijn de laatste woeste gronden (heide, moerassen en schraallanden) ontgonnen. Na de Tweede Wereldoorlog zijn om economische ontwikkeling te stimuleren en de landbouw te moderniseren in de hele Achterhoek ruilverkavelingen uitgevoerd.



Deze hebben geleid tot een ingrijpende vervlakking van landschappelijke variatie en de biodiversiteit. Beken werden gekanaliseerd, samen met een algehele verbetering van af- en ontwatering, houtwallen opgeruimd, kavels vergroot en wegen verhard. Ook de urbanisatie en verstening hebben een zwaar stempel gezet op het landschap. Deze ontwikkeling is ook van toepassing op de Baakse Beek. Een gemechaniseerde hoog productieve landbouw kon hierdoor tot ontwikkeling komen in het gebied.

Figuur 7.1 Topografische kaart van het Baakse Beek gebied.





7.2.1 Recente ontwikkelingen landbouw

In 2009 heeft de LTO het gebied tegen het licht gehouden en de recente ontwikkelingen beschreven. Een overzicht van deze ontwikkeling volgt hieronder samen met een toekomstvisie van de landbouw (<http://www.baaksebeek.nl/bouwstenen/landbouw>).

7.2.1.1 Aantal en type bedrijven

In acht jaar tijd is het aantal landbouwbedrijven afgenomen van 1.425 naar 1.066 (25,2%). Dit komt overeen met een jaarlijkse afname van ongeveer 45 bedrijven per jaar. In die periode is het areaal landbouwgrond verhoogd van 19.412 ha naar 19.602 ha. Dit betekent dat de bedrijven in staat zijn geweest, mede onder invloed van de mestwetgeving, om nog een beperkt areaal aan „losse“ grond aan zich te binden. Bovendien blijkt hieruit dat de gestopte bedrijven waarschijnlijk nagenoeg al hun agrarische cultuurgrond overgedragen hebben (in de vorm van pacht of verkoop) aan de bedrijven die doorgedaan zijn. De gemiddelde bedrijfsoppervlakte is in die periode van 8 jaar gestegen van 13,6 ha naar 18,4 ha. Dat is een jaarlijkse stijging van het gemiddelde bedrijfsareaal van 4,4%.

In de analyse is ook gekeken naar de ontwikkeling van het aantal bedrijven voor 10 verschillende bedrijfstypen. Het blijkt dat er in de intensieve veehouderij een versnelde specialisatie en schaalvergroting heeft plaatsgevonden. Een behoorlijke groep van de combinatie- en melkveebedrijven hebben het melkquotum verkocht en vallen nu onder de „overige graasdierbedrijven“.

7.2.1.2 Economische omvang landbouw

Naast de ontwikkeling per bedrijfstype kan ook gekeken worden naar de ontwikkeling in economische grootte. De klassenindeling die gebruikt wordt, is gebaseerd op de Nederlandse grootte-eenheid (Nge). Eén Nge staat voor een bruto saldo van ca. 1.400 euro per jaar.

Opvallend is dat in alle Nge-klassen het aantal bedrijven is afgenomen. Met name in de midden-klassen van 20 tot 100 Nge ligt het afname percentage boven de 30%. Hier geldt overigens dat bedrijven door groei naar een hogere Nge-klasse kunnen doorstromen, of door het afbouwen van het bedrijf in een lagere klasse terecht kunnen komen. Het is belangrijk te weten dat de Nge-norm periodiek bijgesteld wordt. Door de relatief lage marges op de agrarische producten is de Nge-norm bijgesteld (er zijn nu meer dieren of hectaren nodig om hetzelfde bruto saldo (1.400 euro) te verkrijgen). Deze klassenindeling geeft alleen informatie over het agrarische inkomen en niet over inkomsten uit neventakken of uit arbeid buiten het bedrijf of van bedrijven uit de agribusiness.



7.2.1.3 Diersoorten en dieraantallen

Een belangrijke bron van inkomsten op agrarische bedrijven is het vee. Op gebiedsniveau is de ontwikkeling van het aantal landbouwhuisdieren in beeld gebracht. In onderstaande grafiek is te zien dat met name het aantal varkens met meer dan 1/3 is afgenomen. Het aantal schapen/geiten is fors gegroeid. Naar verwachting is het melkquotum redelijk constant gebleven, echter dit wordt „vol gemolken“ met 10% minder melkkoeien. Opmerkelijk is de toename van het aantal geiten. Dit wordt verklaard doordat een aantal bedrijven geiten is gaan houden voor de melkproductie. Door een afname van de belangrijkste diersoorten (runderen en varkens) is de hoeveelheid dierlijke mest in het gebied ook sterk afgenomen. Aangezien de oppervlakte cultuurgrond ongeveer gelijk gebleven is, is het landbouwsysteem qua dieren aantallen en mestproductie behoorlijk extensiever geworden.

In 2004 is in de meitelling informatie verzameld over de verkaveling van het gebied. Daaruit blijkt dat bedrijven gemiddeld 6,3 kavels per bedrijf hebben. De gemiddelde huiskavel heeft een grootte van 6,9 hectare. De veldkavels hebben een gezamenlijke omvang van ca. 11,5 hectare. Voor het gehele gebied geldt dat 38% van de grond aan huis ligt en dat 62% uit veldkavels bestaat. Het gaat hier om gegevens van alle bedrijfstypen gezamenlijk. Voor melkveebedrijven liggen deze getallen behoorlijk anders. Zij hebben gemiddeld 14,1 hectare bij huis liggen en 17,5 hectare aan veldkavels. Vanwege hun omvang hebben zij verhoudingsgewijs ook meer veldkavels.

7.2.1.4 Leeftijdsopbouw

Tenslotte is gekeken naar de leeftijd van de ondernemers. Met betrekking tot de ontwikkeling van het aantal bedrijven in de komende 15 jaar is het met name belangrijk om naar de groep bedrijven te kijken met een bedrijfshoofd van ouder dan 60 jaar. In totaal zijn er 372 bedrijven (ongeveer 35%) met een bedrijfshoofd ouder dan 60 jaar. Op een groot aantal van deze bedrijven zal de komende jaren het vraagstuk van de bedrijfsovername gaan spelen. Uit historische gegevens blijkt dat men op de economisch kleinere bedrijven eerder kiest om het agrarische bedrijf te beëindigen en/of om andere plattelandsactiviteiten te gaan ontwikkelen.

7.2.1.5 Grondmobiliteit

In de afgelopen jaren was de grondmobiliteit (via verkoop) ongeveer 200 hectare op jaarbasis. Gedurende die periode stopten ongeveer 45 bedrijven per jaar, dat komt overeen met ongeveer 4,5 hectare aan verkochte grond per stoppend bedrijf. Het is niet bekend hoeveel grond van stoppende bedrijven in die periode verpacht is en of het percentage pacht toegenomen is. Over het algemeen blijft het percentage bedrijven dat stopt over langere periode redelijk constant. Dat zou de komende jaren betekenen dat tussen de 30 en 35 bedrijven per jaar stoppen. Deze bedrijven zijn gemiddeld genomen beduidend gro-



ter dan in de periode 1998-2006, waardoor verwacht mag worden dat de grondmobiliteit minimaal op hetzelfde peil zal blijven, dan wel enigszins zal groeien.

7.2.1.6 Verbreding/multifunctionele landbouw

Uit cijfers van het Landbouw Economisch Instituut (LEI) blijkt dat Gelderland de provincie is met het grootste aandeel multifunctionele landbouw. Jaarlijks vindt er bijna 40 miljoen aan (multifunctionele) omzet plaats op de agrarische bedrijven in Gelderland. In de Achterhoek, met name in gemeente Bronckhorst en Lochem, komt veel verbrede/multifunctionele landbouw voor. Het landgoederen gebied in het stroomgebied van de Baakse Beek, de Graafschap, ligt voor een groot gedeelte in deze gemeenten.

7.2.1.7 Toekomstvisie 2025

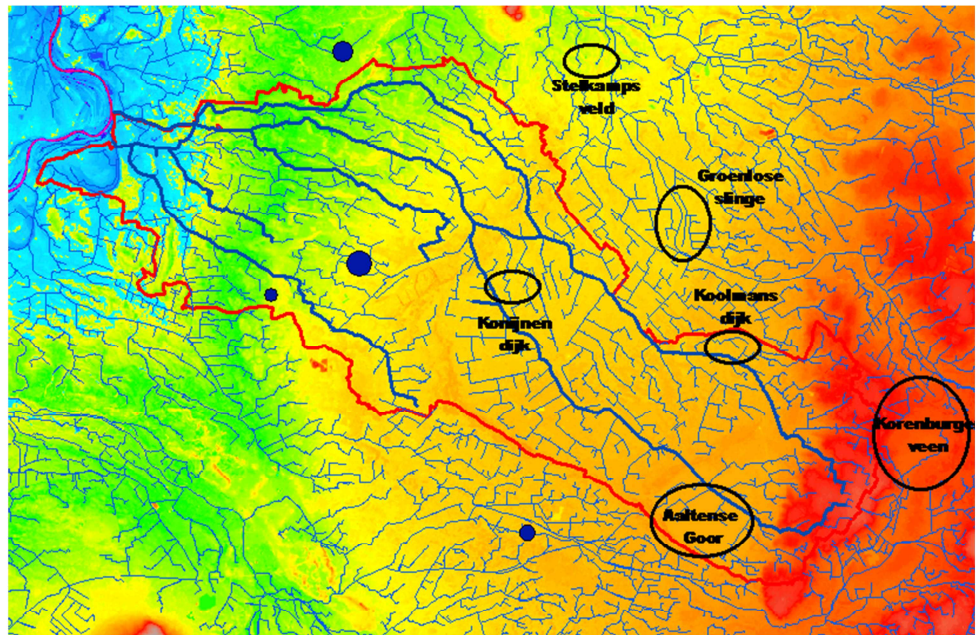
In het gebied van de Baakse Beek en Veengoot is volgens de Toekomstvisie 2025 een veelzijdige en dynamische agrarische sector aanwezig. Het betreft levenskrachtige bedrijven die een gezond inkomen verwerven met de productie van kwalitatief hoogwaardige gewassen, melk en vlees, maar ook bedrijven die daarnaast neveninkomsten hebben uit verbrede landbouw en de productie van duurzame energie. De verkaveling is in het gebied op orde en de bedrijven hebben een kostenstructuur vergelijkbaar met andere delen van Nederland. Voorts zijn de bedrijven goed ingepast in het landschap van de Achterhoek en dragen ze bij aan de openheid en de kwaliteit van het cultuurlandschap. De bedrijven die een bijdrage leveren aan de ruimtelijke kwaliteit ontvangen hiervoor een duurzame vergoeding. Er is planologische rust en overheden ondersteunen het ondernemerschap op agrarische bedrijven. Het aantal bedrijven is gestabiliseerd en het ontwikkelingsperspectief op lange termijn van de bedrijven is verbeterd, met als gevolg een beter opvolgingssituatie/continuïteit. Door ondernemerschap en goede vakkennis worden kansen in de markt optimaal benut. Voor milieu-emissies ten gevolge van agrarische bedrijvigheid zijn duurzame oplossingen gevonden. De agrarische sector heeft een goede sociaal-maatschappelijke positie en een prima imago.

7.3 De hydrologie van het gebied

Het watersysteem is onderdeel van het landschap. Het hele stroomgebied zoals het er nu uitziet is het resultaat van historische geologische processen, landschapvormers en gebruikers. Op het resultaat van de historische geologische processen: de geologie, de geomorfologie en het maaiveld, heeft de mens beperkt invloed, die kenmerken kunnen we alleen gebruiken. De geologie van het stroomgebied van de Baakse beek is redelijk eenvoudig. Van Lichtenvoorde tot Baak is een dik zandpakket aanwezig. Het maaiveld loopt af van oost naar west. Snel langs de terrasrand en langzaam in het middengebied. Bij



Figuur 7.3 Maaiveldhoogten (rood hoog plateau, oranje/geel langzaam aflopend midden, groen snel aflopend naar het IJsseldal, blauw IJsseldal)



de rug Ruurlo - Veldhoek loopt het iets op om daarna richting de IJssel te dalen. Na Vorden - Hengelo is deze daling sterker (figuur 7.3). Lokale maaiveldverschillen worden gevormd door kleine en grote beekdalen en kleine en grote dekzandrugcomplexen. Binnen de zandbak van de Achterhoek zijn maaiveldhoogte verschillen dan ook vaak bepalend voor de processen en mogelijkheden van het grondwatersysteem. Bij de kanalisatie en verbetering van ont- en afwatering is steeds minder rekening gehouden met de lokale maaiveldverschillen. Ook de laatste natste plekken zijn ontwaterd door het doorgraven van dekzandruggen. Wateroverlast komt onder normale omstandigheden weinig voor. Bij de toetsing op de wateroverlastopgave WB21 heeft het waterschap weinig knelpunten geconstateerd. Regenval gebeurtenissen met een herhalingsstijd van minder dan 100 jaar kunnen goed door het oppervlaktewatersysteem worden verwerkt. De W en W+ scenario's komen niet volledig overeen met WB21. In het W+ scenario hebben we te maken met frequenter voorkomen van droogte, in de zomer. Het is nog onbekend hoe het oppervlaktewatersysteem functioneert bij deze droogte.

De keerzijde van de goede ont- en afwatering is dat de grondwaterstanden vroeg in het groeiseizoen wegzakken en lokale kwelsystemen ophouden met functioneren.

7.4 Waterkwaliteit/ecologie

De waterkwaliteit van het oppervlaktewater in de Baakse Beek is goed te noemen als de basisafvoer wordt beschouwd. De maatregelen van de waterverontreiniging oppervlakte water, het fosfaatvrij maken van wasmiddelen, verbete-



ring van RWZI's en 20 jaar mestbeleid werpen hun vruchten af. Echter bij veel neerslag en hoge afvoeren komt er op de landbouwgronden veel fosfaat en stikstof vrij dat bij piekafvoeren tot hoge vrachten en concentraties leidt. In pieksituaties worden er dus veel nutriënten verspreid in het beek systeem. In het Hupselse beekgebied (plateau) wordt onderzoek gedaan naar deze relatie van piekafvoer en waterkwaliteit ([http://www.tno.nl/downloads/Nieuwsbrieven_DYNAQUAL\(1-5\).pdf](http://www.tno.nl/downloads/Nieuwsbrieven_DYNAQUAL(1-5).pdf)). De kanalisatie en normalisatie van de beken, laken, goten en vloeden heeft er voor gezorgd dat in perioden met weinig afvoer er erg weinig stroming is. Hierdoor zijn er weinig stromingsminnende soorten aanwezig.

7.5 De natuur van het gebied

De huidige landnatuur van de Baakse Beek bestaat voornamelijk uit droog bos, vochtig en beekbegeleidend bos. Op de landgoederen is het aandeel van oude bossen op relatief rijke bodems vrij groot. Natte en droge schraallanden zijn in het hele stroomgebied van de Baakse Beek erg zeldzaam geworden. Wel hebben de nog aanwezige reservaten een rijke flora en is natuurontwikkeling vaak succesvol (Koolmansdijk bijv.) De karakteristieke fauna is door versnippering echter verdwenen. In het Korenburgerveen, net buiten het plangebied, zijn veel soorten nog wel aanwezig. De bos- en natuurgebieden van de Graafschap hebben nog wel samenhang en worden als een kerngebied beschouwd. Vooral de natte kwaliteiten kunnen nog verbeterd worden. Veel van de natte kwaliteiten waren gebaseerd op goed functionerende kwelsystemen.

7.6 Knelpunten Natuur en water

Ontginning, ruilverkaveling en verbetering van af- en ontwatering met als resultaat een goed ontwikkelde hoogproductieve landbouw hebben geleid tot wat wij nu samenvatten onder de noemer: verlies, versnippering, verdroging en vermesting. Deze ontwikkeling is ook van toepassing op het stroomgebied van de Baakse Beek. Bijna alle natte landnatuur heeft te droge standplaatsen. Herstel projecten die in de laatste jaren met succes zijn uitgevoerd liggen allen op plekken in het systeem waardoor door afgraven van de bouwvoor de natte arme standplaatscondities kunnen worden hersteld bij aanwezigheid van een kalkbron dicht bij de oppervlakte of een nog werkend kwelsysteem. Koolmansdijk is hier een goed voorbeeld van. Voor veel nat schraalland en nat bos is herstel van het grondwatersysteem een voorwaarde voor herstel. Dit geldt voor Stelkampsveld, Aaltense Goor en Korenburgerveen (figuur 7.4).



Water in de Baakse Beek is sterk verbonden met cultuurhistorie. Landgoederen, watermolens, vloeivelden, rabatbossen en ontginningen en hun effect op de beek zijn overal terug te vinden, maar vaak alleen voor het kennersoog

Een recente "nieuwe" bedreiging/opgave is de klimaatsverandering. Door temperatuurstijging en verandering in neerslagpatronen zal de hydrologie van het gebied veranderen. Deze verandering stelt de maatschappij voor de uitdaging om watersystemen zodanig aan te passen dat de gevolgen van overtollige neerslag en perioden van langdurige droogte zo min mogelijk negatieve gevolgen hebben voor watersysteem, veiligheid, natuur en landbouw. Voor de natuur is ook de temperatuurstijging zelf van belang.

De opgaven voor het watersysteem zijn:

- De Kaderrichtlijn Water doelen van het hoofdsysteem
 - Vergroten van de waterafvoerperiode en beperken droogval.
 - Verbeteren van ecologische kwaliteiten van oppervlaktewater.
 - Verbeteren de chemische waterkwaliteit
 - Veiligstellen drinkwatervoorziening.
- EHS/N2000: Herstel van verdroogde gebieden
- Klimaatverandering
 - Beperken wateroverlast.
 - Het voorkomen van watertekorten.
- Vergroten beleving water en cultuurhistorie.

7.7 Knelpunt landbouw en water

Het groeiseizoen van 2010 heeft laten zien dat droogte en extreme neerslag elkaar snel kunnen afwisselen. Eerst dreigde er een beregeningsverbod, aan het eind van het seizoen zijn boerenbedrijven in zware problemen geraakt door wateroverlast door extreme neerslag. Naar verwachting zullen deze extremen vaker voorkomen.

7.8 De opgaven voor de hoofdwaterlopen

De noordelijke hoofdwatergang is de Baakse Beek. Ten zuiden daarvan ligt de (gegraven) Veengoot. Voor de Baakse Beek is er een hoog ambitieniveau voor de KRW. Min of meer halverwege die watergangen ligt de van Heeckerenbeek, die de afvoer van de bovenloop van de Baakse Beek naar de benedenloop van de Veengoot grotendeels verzorgt. De bovenlopen hebben als natuurlijke referentie "moeraslandbeek", het benedenstroomse deel van de Baakse Beek is



Figuur 7.4. Water en natuuropgaven Baakse Beek



van het type “laaglandbeek”. De benedenloop van de Veengoot heeft geen referentie; deze heeft meer de functie van een doorvoerkanaal bij hogere afvoeren. Ten zuiden van de benedenlopen van Veengoot en Baakse Beek liggen enkele laken, relatief smalle en diepe watergangen die in meer of minder mate tijdelijk droogvallen en vanuit die abiotische omstandigheden een andere hydrobiologische samenstelling kennen. Geheel oostelijk ontspringen enkele bijzonder terrasrandbeken. Deze komen vanaf de steile randen van het Oost-Nederlands plateau en zijn snelstromend. Ook voor deze beken zijn er specifieke ecologische doelen.

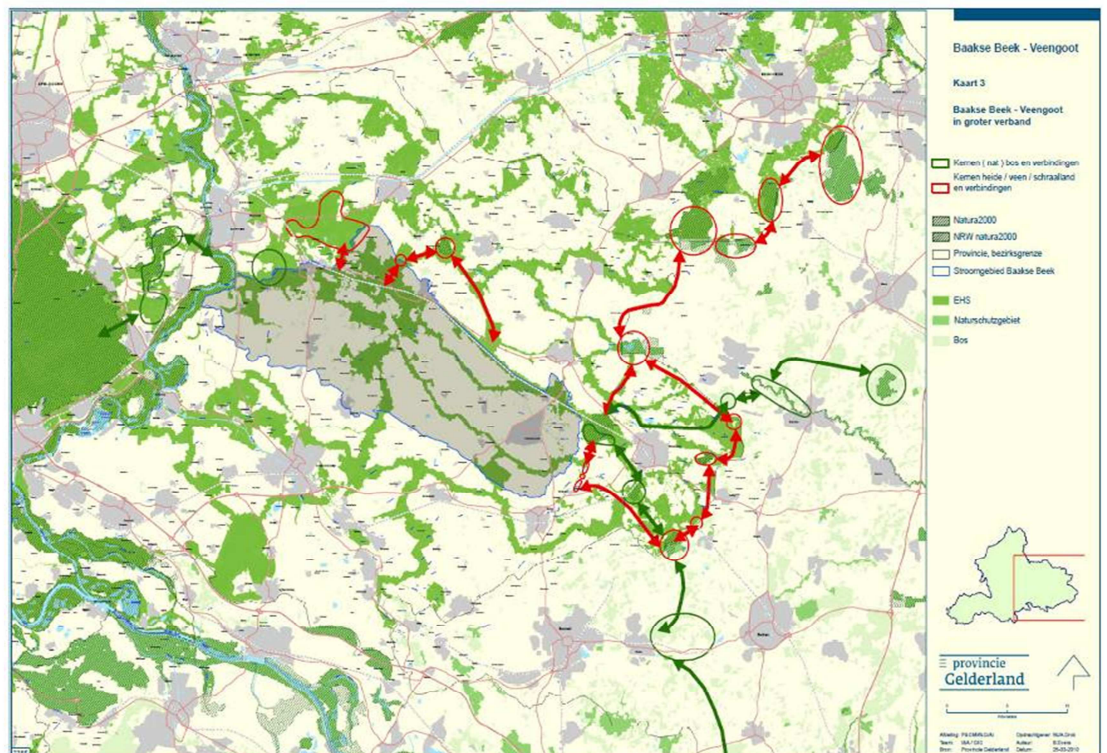
De kernopgaven vanuit de natuur zijn:

- beschermen en herstellen van de aanwezige natuur;
- uitbreiden van te kleine waardevolle natuurgebieden tot grote veerkrachtige kerngebieden;
- verbinden van natuurgebieden door Robuuste Verbindingszones.

De uitbreiding van natuurterreinen gebeurt via natuurontwikkeling. Herstel vraagt om kwaliteitsverbetering van de EHS met prioriteit voor milieuherstel en verdrogingsbestrijding. Bovenop deze opgave ligt nog de realisatie van een robuuste verbindingzone Veluwe –Graafschap-Winterswijk. Het gaat bij deze verbindingzone om bos, schraalland en heide, zowel nat als droog.



Figuur 7.5. De Baakse Beek in samenhang met de omgeving



Hierin zijn twee hoofdcategorieën / zg. ecosysteemttypen te onderscheiden:

- Beken en Beekdalbos: beken en matig voedselrijke loofbossen gebonden aan beekdalen en rijkere bodems;
- Schraal grasland met klein water: Natte tot vochtige graslanden en heide en vennen.

Voor meer informatie zie www.baaksebeek.nl/bouwstenen/natuur/

In figuur 7.5 is te zien hoe de Baakse Beek binnen het geheel van de EHS en nationale en internationale verbindingen een functie heeft te vervullen. De bossen verbinden de Veluwe met de bossen in Duitsland zoals de Hohe Mark, voor de schraallanden is de verbinding met de grote veengebieden langs de Duits-Nederlandse grens en met het Stelkampsveld van belang.

7.9 Drinkwater

In het Baakse beek gebied ligt de belangrijkste drinkwaterwinning van de Achterhoek, 't Klooster. Met 5 miljoen m³ per jaar is het de bron voor drinkwater voor de inwoners van de Achterhoek. Ten noorden van het projectgebied ligt drinkwaterwinning Vorden. Bij 't Klooster wordt oppervlaktewater ingelaten om de verdrogende effecten van de winning enigszins te compenseren.



Uit analyses van drinkwaterverbruik blijkt een duidelijke relatie tussen temperatuur en drinkwaterverbruik. Door klimaatverandering zullen dergelijke pieken vaker optreden. Grote invloed op het totale jaarverbruik, wordt niet verwacht.

7.10 Grondwater

Grondwaterstanden in zandgebieden van Nederland, dus ook in de Baakse beek veranderen met de seizoenen. Winter/voorjaar hoog, nazomer laag. Dit is een normale dynamiek. In de directe omgeving van een grote winning van grondwater wordt deze dynamiek versterkt. Als er veel neerslag valt dan zal de grondwaterstand ondanks een winning toch sterk stijgen en in de nazomer zal de grondwaterstand in de directe omgeving van de winning flink dalen. Grondwater stroomt zeer langzaam. Grondwater op enkele kilometers afstand van een winning doet er vaak tientallen jaren over om de winput te bereiken.

7.10.1 Grondwaterkwaliteit

In een situatie met de aanwezigheid van de hoofdfunctie landbouw zijn er de volgende belangrijke stoffen of stofgroepen die van belang zijn voor drinkwater. Nitraat, Sulfaat, Bicarbonaat en gewasbeschermingsmiddelen. Nitraat en Sulfaat hebben bemesting als bron, Sulfaat kan ook ontstaan door bodemchemische processen na structurele ontwatering, de zogenaamde Pyrietoxidatie. Via de ruilverkavelingen van de jaren '70 is die structurele ontwatering ook opgetreden. Met de ontwatering komt zuurstof dieper in de ondergrond. Deze zuurstof kan dan reageren met de ijzer zwavelverbinding Pyriet. Pyriet wordt omgezet in naar oa sulfaat doordat nitraat het pyriet oxideert. Deze stof zorgt voor hard water. Van gewasbeschermingsmiddelen en hun omzettingproducten wordt bij huidige toelating gecheckt of zij goed afbreekbaar zijn en het grondwater niet zullen verontreinigen. Specifieke omstandigheden in de ondergrond kunnen maken dat dit niet gebeurt. Verder is het mogelijk dat er nog stoffen van historisch gebruik op weg zijn naar de winning.

7.10.2 Knelpunten productie en distributie van drinkwater

In het algemeen kan worden gesteld dat zuiveringsprocessen beter verlopen bij hogere temperaturen. Dus productiestappen met zuiveringsprocessen kunnen makkelijker verlopen. Echter hogere temperaturen in de zomer leiden tot hogere temperaturen in het distributienet. Tegenwoordig wordt incidenteel de norm van 25 graden (waterleidingbesluit) overschreden. Mogelijk warmen lei-



dingen in zandgronden boven de grondwaterspiegel sneller op dan leidingen die in het grondwater liggen. Het gevolg van een hogere temperatuur in de leiding is meer nagroei van *Aeromonas*, *Legionella* en andere schadelijke micro-organismen. Ook het optreden van nog onbekende pathogene micro-organismen in het distributienet is mogelijk.

7.11 Tenslotte

83

Belangrijke kernbegrippen voor de biodiversiteit zijn: ruimte voor natuurlijke processen, adequate abiotiek en waterhuishouding, eenheden met voldoende interne variatie en gradiënten, verbindingzones en migratiemogelijkheden. Al deze begrippen zijn van toepassing op water en natuur in het stroomgebied van de Baakse Beek. Bij het creëren van meer ruimte voor natuurlijke processen is er ook meer ruimte om klimatologische extremen op te vangen. Hiervan kan de landbouw wellicht ook profijt hebben. Dan kunnen zowel de natuur, de landbouw, als het watersysteem tegen de gevolgen van de verwachte extreme weeromstandigheden, die gaan optreden door klimaatverandering. Verwacht wordt dat de sleutel voor duurzaamheid ligt bij het watersysteem. Water wordt de verbindende factor in de bouw van duurzame natuur- en landbouwecosystemen. Dit kan alleen met een integrale benadering.

In het stroomgebied van de Baakse Beek vindt momenteel een geïntegreerd gebiedsproces plaats om deze uitdaging aan te pakken. Hierbij zijn de waterhuishouding, de natuur, de landbouw, recreatie en cultuurhistorie belangrijke componenten. Er is al een reeks visies en plannen beschikbaar op onderdelen, die in 2010 dienen te leiden tot een integrale uitvoeringsagenda. Zie ook www.baaksebeek.nl. Klimaatvraagstukken moeten hierin ook een plaats krijgen.





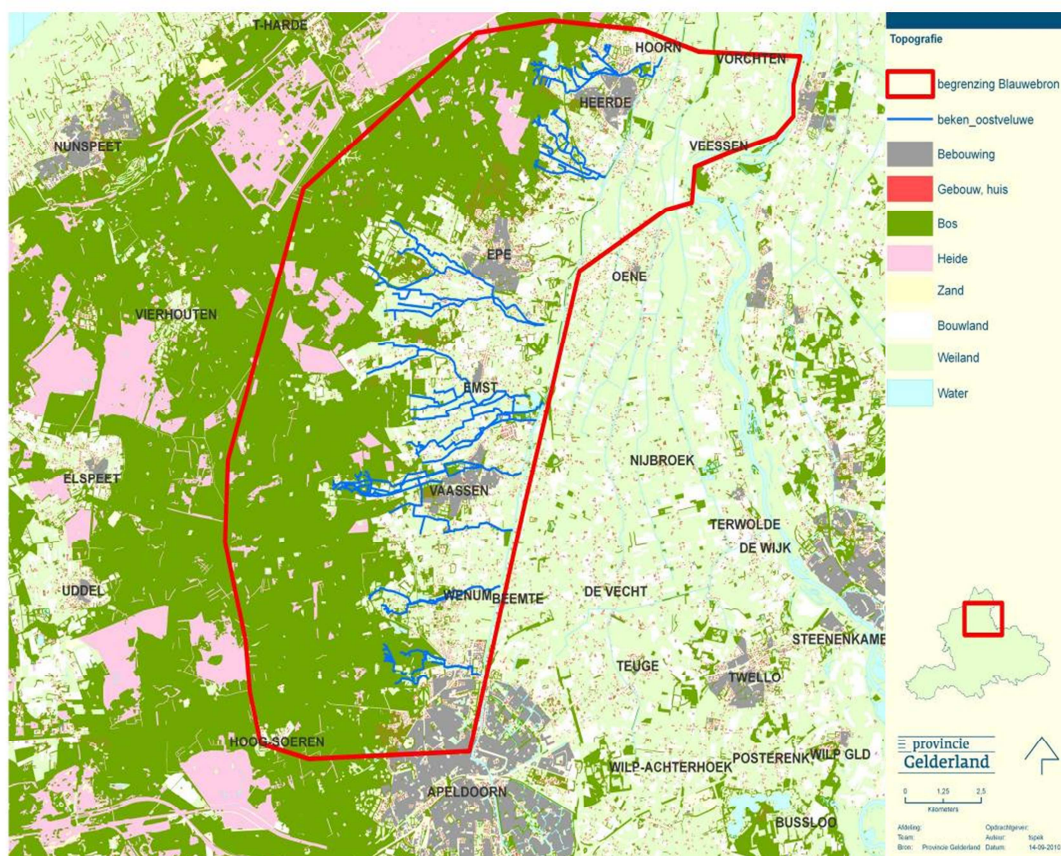
8 Blauwe Bron

8.1 Algemeen

Het gebied van de Blauwe Bron omvat de stroomgebieden van het Apeldoorns Kanaal, de Grift en een deel van de Noordelijke IJsselvallei en omvat ca. 25.000 ha (figuur 8.1). Het ligt tussen de IJssel aan de oostzijde en de waterscheiding bovenop de droge Veluwe aan de westzijde. In het zuiden sluit dit gebied nabij Apeldoorn aan op de Zuidelijke IJsselvallei. De noordgrens ligt nabij Heerde. Het gebied helt - voor Nederlandse begrippen - sterk af van west naar oost.

Bos en natuur zijn de belangrijkste grondgebruikers in het gebied ten westen van het Apeldoorns Kanaal. Het aanwezige dorpenlint Heerde, Epe, Emst, Vaassen aangevuld met veel verspreide bebouwing geeft aan dat wonen, werken, recreëren ook belangrijk zijn in dit gebied. Binnen de beekdalen die van west naar oost lopen zijn de sprengen en beken de karakteristieke wateren. Het gebied tussen de Veluwse bossen en het Apeldoorns kanaal is kleinschalig met afwisselend dekzandruggen met dorpenbebouwing (Heerde, Epe, Vaassen) die doorsneden is met beekdalen, en in het zuiden ligt de grotere stad Apeldoorn.

Figuur 8.1. Topografische kaart van het Blauwe Bron gebied





Direct langs de Grift en het Apeldoorns Kanaal liggen de landbouwgebieden in een meer open landschap. De landbouw bestaat hier vooral uit melkveehouderij.

In het stroomgebied van de Blauwe Bron is recreatie een belangrijke pijler; veel verblijfsterreinen liggen op de hoge delen van het Veluwemassief. De recreatieplassen Kievitsveld, Heerderstrand en Bussloo zijn aantrekkelijke zwemplas- sen. De cultuurhistorische waarde van het gebied is zeer hoog; niet alleen de eerder genoemde sprengen en beken met watermolens en wijerts, maar ook de vele landgoederen, kastelen en het verstilde Apeldoorns Kanaal geven het gebied een bijzondere sfeer.

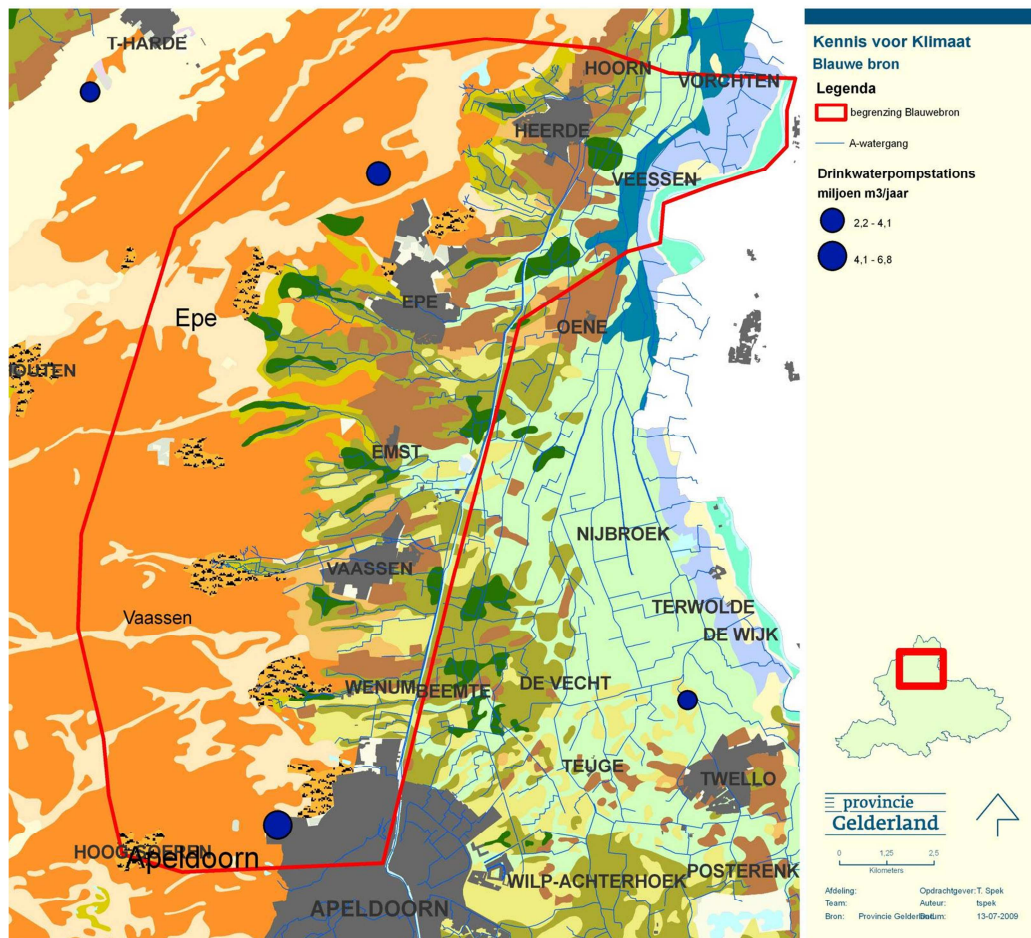
Landbouw is verreweg de belangrijkste grondgebruiker in de Noordelijke IJssel- vallei. Het deelgebied Epe-Veessen-Vorchten-Heerde is onderdeel van deze Noordelijke IJsselvallei. Het ligt tussen het Apeldoorns Kanaal en de IJssel en is zwak hellend van zuid naar noord. Dit stroomgebied watert eveneens in noordelijke richting af naar de IJssel. Het is een open landschap met een grootscha- lige verkaveling. Landbouw in de vorm van melkveehouderij is hier verreweg de belangrijkste economische pijler en zal dit de komende jaren ook blijven. Het gebied is een komgebied met klei en broekgebieden in het westelijke gedeelte en in de kom en oeverwallen met zavel langs de oostkant. De noordelijke IJ- selvallei wordt beschermd door de IJsseldijk tegen hoge rivierwaterstanden.

8.2 De geomorfologie in het gebied de Blauwe Bron

De huidige geomorfologie aan de oppervlakte (figuur 8.2) is de resultante van eerst gletsjerwerking (stuwwal), smeltwaterprocessen (Stuwwalglooiingen), gevolgd door windprocessen(dekzand) met daarna rivier- en beekprocessen. De rivierprocessen hebben gezorgd voor een kleidek op het dekzand. De beek- dal processen hebben gezorgd voor veenkommen en natte beekdalen. De mens heeft op de hoge ruggen gezorgd voor esdekken. Een belangrijk resultaat van de gletsjerwerking is ook in de ondergrond te vinden. De gletsjers hebben niet alleen zand opgestuwd maar ook kleilagen. Deze kleilagen staan bijna verticaal met een kleine helling naar het westen. Deze kleilagen/schotten zorgen voor weerstand tegen grondwaterwaterstroming in de west-oost-richting (figuur 8.4).



Figuur 8.2. Geomorfologie van het Blauwe Bron gebied



- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">dekzandruggen en -koppen met esdekdekzandruggen en -koppenoude kleiterrasvormige hoogtenwelvingen en vlaktenvochtige dalengestuwde grove bruine zandenstuwwal; gestuwde grove witte zandenstuwwalglooiingenstuwwalglooiingenstuwwalglooiingen met dekzand (verstoven)vochtige dekzanden of loess en/of smelwaterafzettingdekzandruggen en -koppendekzandruggen met een esdekdekzandwelvingen en -vlaktennatte beekdalendekzandvlakten met komklei | <ul style="list-style-type: none">lage terrasrestruggen, -welvingen, -vlakten en geulerhoge terrasrestruggen en rivierduinenhoge terrasrestruggen en rivierduinen esdekuiterwaard/stroomgordel Oude IJsseluiterwaard/stroomgordel IJsselkom en pleistocene geulen met komkleikomgebieden(droge) dalen en laagten in rivierduinenlage terrasrestruggenhoge terrasrestruggen en rivierduinenhoge terrasrestruggen en rivierduinen met een esdekkom en pleistocene geulen en depressies met komkluiterwaard/stroomgordel IJsselstuifzand (afgestoven)stuifzand (overstoven)moerasveenvlakten en overige venenwater |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



8.3 Het oppervlaktewatersysteem in het gebied de Blauwe Bron

De sprengen en beken zijn de belangrijkste afwateringsmiddelen in het stroomgebied. Zij zijn ook cultuurhistorisch van grote waarde. Hoewel ze eeuwen geleden zijn gegraven ten behoeve van watermolens (o.a. papiermolens en kopermolens), wasserijen, viskwekerijen en ter verfraaiing van landgoederen en kastelen, zijn ze ook bedoeld om de waterhuishouding te regelen voor bijvoorbeeld bebouwing en landbouwkundig gebruik. Hier en daar liggen nog 'gewone' A-watergangen, die (uit)gegraven zijn en in de jaren '70 van de vorige eeuw ten behoeve van optimalisatie van het landbouwkundig gebruik verbeterd zijn. Vrijwel alle wateren lopen van west naar oost, en monden uit in de Grift of het Apeldoorns Kanaal. De Grift is de oorspronkelijke afwatering die vanuit Apeldoorn in noordelijke richting naar Heerde stroomt. Het Apeldoorns Kanaal is tussen 1829 (Hattum-Apeldoorn) en 1866 (Apeldoorn-Dieren) gegraven om Apeldoorn een rechtstreekse aansluiting op de IJssel te geven. Voor het handhaven van een voldoende hoog waterpeil zijn toen ook enkele sprengen gegraven en zijn een aantal beken verlegd en aangesloten op het kanaal. Het gebied watert vrij af naar de IJssel; op enkele plaatsen is een onderbemaling ten behoeve van landbouw of stedelijk gebied. Bij hoge IJsselstanden vindt de afvoer plaats via Gemaal Veluwe bij Wapenveld. Het Griftsysteem vormt de verbindende schakel tussen alle beeksystemen.

8.3.1 Wateroverlast en watertekort

De beekdalen zelf zijn zo klein dat er bij hevige neerslag geen grote afvoeren kunnen ontstaan. De grootte van de basisafvoer en daarmee de watervoerendheid is afhankelijk van de grootte van het beekstelsel, de ligging in een oude smeltwatergeul en waar de bronnen en bovenlopen het Veluwesysteem kunnen aansnijden. Hoe hoger, hoe meer kleischotsystemen er meedoen. De sprengbeken die lager op de helling beginnen of niet in een smeltwatergeul liggen, hebben minder kwel, een kleiner voedingsgebied en zijn meer afhankelijk van het lokale neerslagoverschot. Deze beken hebben vaker te maken met lage afvoeren en droogval. Zo kampen bijvoorbeeld de beeksystemen van de Heerderbeken en de Apeldoornse beken meer en meer met droogval. Bij de Apeldoornse en Heerderbeken wordt grondwater gewonnen in Apeldoorn en in Epe. In Epe wordt de invloed van de onttrekking voor een deel gecompenseerd door infiltratie vanuit de Klarbeek.



8.3.2 Noordelijke IJsselvallei (Epe-Veesen-Vorchten-Heerde)

Het watersysteem van de Noordelijke IJsselvallei kenmerkt zich door een weteringstelsel van zuid naar noord dat reeds in de middeleeuwen is ontstaan. Achterliggende gedachte was om zoveel mogelijk van vrije lozing op de IJssel te kunnen profiteren. Het weteringstelsel is nadien verdicht met een dicht net van A-wateren. Kenmerkend in het gebied is de polder Nijbroek met zijn kaarsrechte verkavelingspatronen en begrenzing door kaden, die in de 14e eeuw is ontgonnen. Het gebied is voorzien van stuwen en in- en uitlaatgemalen waardoor peilbeheer het gehele jaar mogelijk is. Plaatselijk zijn onderbemalingen aanwezig ter verder optimalisatie van het peilbeheer dat vrijwel geheel op de functie landbouw is afgestemd.

Figuur 8.3. De Noordelijke IJsselvallei.



De grondwaterstanden zijn in de kom en broekgebieden hoog en er komt zwakke kwel voor vanuit het centrale Veluws natuurgebied. In de oeverwallen zijn de grondwaterstanden laag en vindt bij lage IJsselstanden wegzijging plaats naar de IJssel terwijl bij hoge IJsselstanden juist dijkkwel ontstaat.

Het gebied wordt beschermd door de IJsseldijk. In het gebied vindt grootschalige gebiedsontwikkeling plaats in het kader van het 'Ruimte voor de Rivier' programma wat ook kansen biedt in te spelen op de klimaatontwikkelingen.

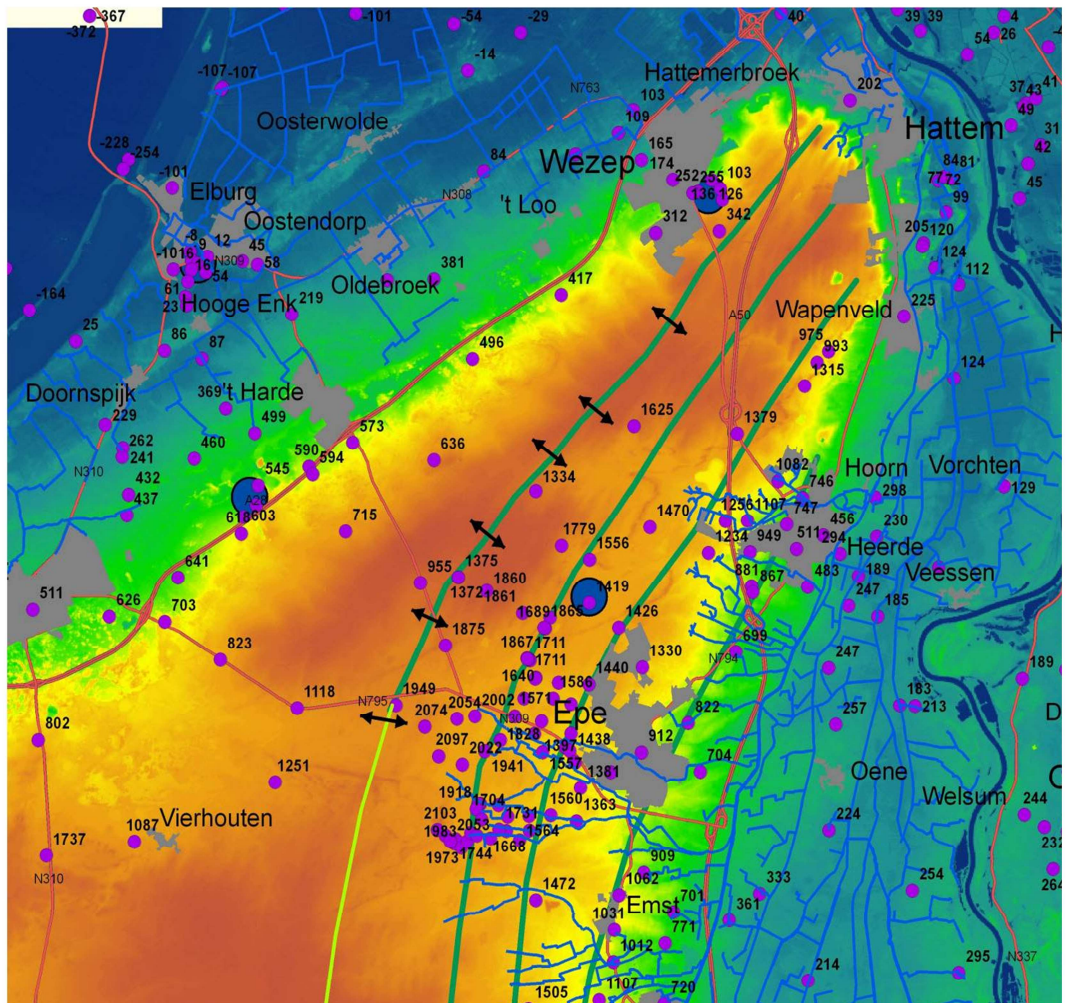


8.4 Grondwatersysteem

Het gebied van de Blauwe Bron helt sterk van west naar oost. Het westelijk deel bestaat uit hoog opgestuwd gebied behorend tot het Veluwemassief met diepe grondwaterstanden. Alle neerslag die hier valt, infiltreert in de bodem. Door de aanwezigheid van kleischotten in de ondergrond van het oostelijk Veluwemassief kan het water niet snel via de ondergrond tot afvoer komen (Figuur 8.4). Deze kleischotten staan bijna horizontaal en zorgen voor comparti-

90

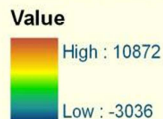
Figuur 8.4. Grondwatersysteem Noord-Oost Veluwe met kleischotten



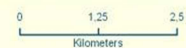
Grondwatersprong Noord Veluwe

(kleischotten en anisotropie)

- A-watgang
- gem. grndwst jaren 90 in cm +NAP
- kernen gelderland van 2000
- autosnelweg
- hoofdweg
- Drinkwater
- kleischotten indicatief
- ↔ Grondwatersprong



provincie
Gelderland



Afdeling: Opdrachtgever:
Team: Auteur: tspek
Bron: Provincie Gelderland Datum: 08-09-2010



menten tussen de dorpen in de rij Heerde-Epe Vaassen-Apeldoorn en ver het Veluwemassief op. Hierdoor ontstaan er al hoog op de helling kwelsituaties met veenvorming en de mogelijkheid om die kwel af te tappen via sprengkoppen. Hier beginnen de beekdalen. Door lokale maaiveldverschillen krijg je hier een beekdallandschap, waarin dekzandruggen en beekdalen elkaar afwisselen. De afwisseling van dekzandruggen en beekdalen zorgt voor een afwisseling van natte en droge gronden met hoge en lage grondwaterstanden. Het grondgebruik heeft zich aangepast aan deze eigenschappen en bestaat uit grasland in de beekdalen en akkers(mais) op de enken.

In de Noordelijke IJsselvallei is de kwel gering. De wegzijging naar de IJssel is met name in de zomermaanden aanzienlijk. Langs de oeverwallen en in de uitlopers van de dekzandruggen komen daardoor in de zomerperiode diepere grondwaterstanden voor, met droogval tot gevolg. In de kommen en de broekgebieden komen relatief hoge grondwaterstanden voor. In de tweede helft van de 20^e eeuw is het afwateringssysteem in het hele gebied afgestemd op maximale landbouwproductie en minimale risico's op overlast (Figuur 8.3). Ook in dit gebied is een trend merkbaar dat door de daling van de grondwaterstanden watertekorten toenemen. Voor een deel van het gebied kunnen watertekorten door waterinlaat vanuit de IJssel gecompenseerd worden.

8.5 Waterkwaliteit

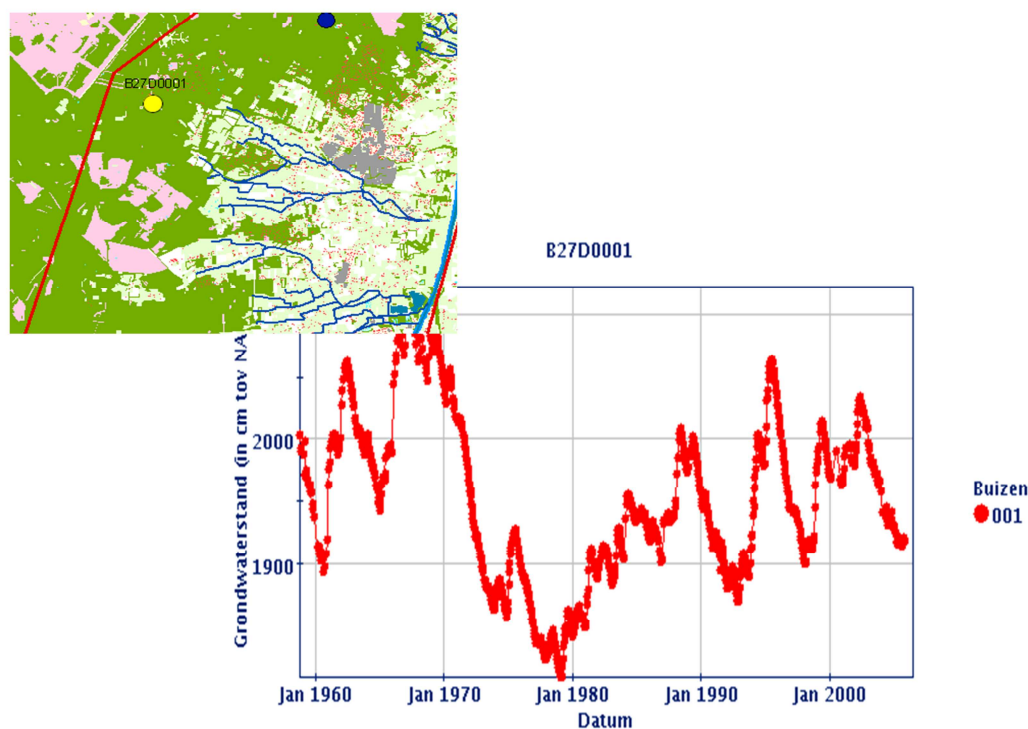
8.5.1 Chemisch

De waterkwaliteit van de meeste sprengen en beken is redelijk tot goed; dit laatste is het geval in het Klaarbeekstelsel, waarvan het water ook wordt gebruikt voor infiltratie t.b.v. drinkwaterwinning. Ondanks het schone Veluwe kwelwater zijn er in veel beken en sprengen en ook in de Grift en het Apeldoorns Kanaal toch waterkwaliteitsproblemen, met name m.b.t. stikstof, zink en koper, als gevolg van diffuse belasting (landbouw), nalevering vanuit vervuilde waterbodems als gevolg van molenactiviteiten en overstorten. In het Apeldoorns Kanaal is nikkel een probleem, en treedt 's zomers algenbloei op met alle gevolgen van dien voor de waterkwaliteit.

In veel sprengen en beken evenals in de Grift zijn de waterbodems en lokaal ook de oevers sterk verontreinigd (klasse 3 en 4) met zware metalen (m.n. koper en kwik, PAK's, PCB's en olie). De waterbodem van het Apeldoorns Kanaal is op veel plaatsen ernstig verontreinigd. Ook in het stedelijk gebied van Apeldoorn zijn lokaal verontreinigde waterbodems aanwezig.



Figuur 8.5. Grondwaterdynamiek Veluwe



De chemische oppervlaktewaterkwaliteit in De Noordelijke IJsselvallei is over het algemeen redelijk tot goed. Plaatselijk is de waterkwaliteit verslechterd als gevolg van het overstorten van rioolwater op het oppervlaktewater, het uit- en afspelen van meststoffen (fosfaat en stikstof) en zware metalen en door atmosferische depositie.

8.6 Waterketen en drinkwaterwinning

Het afvalwater van Apeldoorn en Vaassen wordt gezuiverd op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Apeldoorn; het afvalwater van Epe wordt gezuiverd op de rwzi Epe, dat van Heerde, Veessen en Vorchten op rwzi Heerde. Het effluent van Apeldoorn gaat naar de IJssel; incidenteel bij zware neerslag wordt effluent en ongezuiverd (voorbezonden) water geloosd op de Grift en het Apeldoorns Kanaal. Het effluent van Epe wordt geloosd op de Dorpse Beek en vandaar op de Grift; het effluent van Heerde komt op het Apeldoorns Kanaal.

In het Blauwe Bron gebied bevinden zich twee drinkwaterwinningen: pompstation Epe (vergunning 6 miljoen m³/jaar, werkelijke onttrekking 4,2 miljoen m³/jaar) en pompstation Amersfoortseweg bij Apeldoorn (vergunning 7 miljoen m³/jaar, werkelijke onttrekking 5,5 miljoen m³/jaar).

Vanwege de effecten op de omgeving van de winning in Epe, met name op het Tongerense en Wisselse Veen ten zuiden van de winning zijn er in het verleden



twee maatregelen genomen om deze effecten te verminderen. De onttrekking is verminderd tot ca 4 miljoen m³/jaar. Daarnaast wordt sinds 1998 oppervlaktewater afkomstig uit de Verloren Beek/Klaarbeek (vergunning maximaal 2,2 miljoen m³/jaar) geïnfiltriseerd in de nabijheid van het winveld. Het water wordt bij innamepunt Zuuk ingenomen en via een transportleiding getransporteerd naar een tussenopvang (De Hertenkamp). In de tussenopvang vindt bezinking van zwevend materiaal plaats. Vervolgens wordt het via een tweede leiding naar de infiltratievijvers aan de Koekenbergweg getransporteerd.

De infiltratie leidt tot een aanzienlijke verhoging van de grondwaterstand in de omgeving van de infiltratievijvers en tot enige verhoging in het Tongerense Veen. Door de intensieve ontwatering van dit gebied bereikt de verhoging niet of nauwelijks het Wisselse Veen. Het ecologisch effect van de infiltratie op het Wisselse en Tongerense Veen is niet meetbaar, doordat er meer ontwikkelingen zijn die deze beïnvloeden, zoals hydrologische maatregelen en maatregelen in het beheer, maar ook omdat er maar in beperkte mate grondwaterstandverhoging optreedt als gevolg van de infiltratie.

8.7 Grondwaterdynamiek

De Veluwe heeft een heel eigen grondwaterdynamiek en reageert niet op de seizoenen, maar op perioden met extreme neerslag. In figuur 8.5 is Peilbuis B27D0001 te zien. Neerslag perioden hoger dan gemiddeld in 62, 66-68, 87-88, 93-94 en 98 en 2002 zijn terug te zien in een reactie van het systeem. In normale en droge jaren loopt de Veluwe langzaam leeg.

8.8 Grondwaterkwaliteit

De Veluwe is al tienduizenden jaren infiltratie gebied. De bodem is al sterk uitgeloozd. Vaak komt in kwelzones water van regenwaterkwaliteit weer naar boven. In de bodem gebeurt dus niet veel meer. Wel kunnen stoffen die via de lucht op de Veluwe neerslaan kunnen met de waterstroom meegenomen worden. Aan de westkant van de Veluwe is ammoniak depositie er de oorzaak van dat er verhoogde nitraat concentraties worden gemeten in pompputten. De Oost-Veluwe heeft hier echter geen last van.



8.9 Landbouw

De totale gebiedsoppervlakte van het landbouwgebied in de Blauwe Bron omvat 6.650 ha in het gebied ten westen van het Apeldoorns Kanaal en de Grift. De gegevens uit de tabellen 8.1-8.3 komen uit 2006. In tabel 8.1 is het aantal bedrijven per sector aangegeven. In tabel 8.2 is de grootte van de bedrijven weergegeven. In tabel 8.3 is een overzicht van de mogelijke de bedrijfsopvolging gegeven.

94

Tabel 8.1. Verdeling van landbouwbedrijven over de sectoren.

	Blauwe bron	
	aantal bedrijven	Percentage
Akkerbouw	12	5%
Blijvende teelt	6	3%
Combinatiebedrijven	13	6%
Graasdieren (melk-vee/paarden/schape/gras)	178	81%
Hokdieren (kalveren, varkens/kippen)	7	3%
Tuinbouw	4	2%

Tabel 8.2. Verdeling van landbouwbedrijven over bedrijfsgrootte.

	NGE klasse				
	<20	20 – 50	50 – 70	70 – 100	> 100
aantal bedrijven	116	49	21	21	14
Blauwe Bron					

Tabel 8.3. Situatie voor bedrijfsopvolging landbouwbedrijven.

	Blauwe bron	
	aantal bedrijven	percentage
Met opvolger < 55 jaar	5	2%
Met opvolger > 55 jaar	27	12%
Zonder opvolger < 55 jaar	60	27%
Zonder opvolger > 55 jaar	106	47%
onbekend	23	10%

In het Blauwe Bron gebied (poortgebied Epe-Vaassen West) is de graasdierhouderij veruit het meest voorkomende bedrijfstype. Onder deze categorie vallen naast de melkveehouderij ook particulieren met paarden (bij enige omvang), schapehouderijen en bedrijven met grasland zonder dieren. Geconcludeerd kan worden dat het poortgebied een hoge paarddichtheid kent met 'paardenweidjes', wat invloed heeft op de grondmarkt. Deze 'paardenweidjes'



worden op de markt aangeboden als een geheel met de bijbehorende stal en het woonhuis. Los aangeboden percelen komen incidenteel voor. Slechts 16% van alle bedrijven in het poortgebied is groter dan 70 NGE. Het landelijk gemiddelde ligt op circa 98 NGE¹. Ook heeft maar een klein deel een opvolger. Vanaf 1980 is in dit gebied het aantal agrarische bedrijven gehalveerd. Boomkwekerijen zijn in het gebied in de afgelopen 20 jaar verdrievoudigd. Onder de categorie boomkwekerijen vallen in het gebied hoofdzakelijk kerstboomkwekerijen. Dit is veelal de teelt op hoogliggende percelen huurgrond (ca 5 jaar) waarbij een prijs wordt betaald die nogal boven de prijs van de teelt voor landbouwgewassen ligt.

8.10 Natuur

De natuurwaarden in het gebied die gebonden zijn aan lokale en regionale kwel zijn afhankelijk van de droge of de natte omstandigheden. In het westelijk deel komen vegetaties voor die niet afhankelijk zijn van het grondwater zoals naaldhout en droge heide. Op lokale storende lagen komen op de droge heide ook vochtige heide en vennen voor. Naar de flank gaat dit droge gebied over in vochtiger omstandigheden met mogelijkheden voor natte heide. In de beekdalen komen natte hooilanden en schraalgraslanden voor. Zoals hierboven gezegd zijn de grondwaterstanden hoog op de helling al hoog door de aanwezigheid van kleischotten in de ondergrond. Waar hoog in het beekdalsysteem in lokale laagten sterke kwel vanuit de Veluwe uittreedt, liggen de bijzondere (voormalige) veengebieden (Tongerense veen en Wisselse Veen bij Epe, Pollense Veen bij Emst, Korte Broek bij Vaassen) (Figuur 8.7). Hier liggen ook de brongebieden van de sprengen en beken. Dit is de eerste sterke kwelzone. Deze kwelzone heeft veel potentie voor natuurontwikkeling. Er zijn in het gebied dus veel gradiënten van droog naar nat en nat naar droog te vinden.

Op de rand van de Veluwehelling met beekdalen en de IJssel Vallei liggen ook nog (voormalige) veengebiedjes. Vossenbroek bij Emst, Vemberbroek bij Epe en het Gulbroek bij Heerde. Dit is de tweede kwelzone. Al deze veengebieden zijn belangrijke natuurparels of belangrijke stapstenen in een robuuste verbinding. In figuur 8.6 zijn de voormalige veengebieden van de twee zones aange-

¹ Bron: CBS: <http://statline.cbs.nl>



geven in de kwel en infiltratiekaart. Op de geomorfologische kaart van figuur 8.2 te herkennen als donkergroene vlakken.

8.10.1 Aquatische natuur

De beken worden gevoed door schoon Veluwe water en hebben een hoge ecologische kwaliteit.

In veel sprengkoppen en bovenlopen van de sprengen en beken komen specifieke macrofaunasoorten voor die duiden op een goede waterkwaliteit en koel, helder, zuurstofrijk en stromend water. De Oostveluwe sprengen staan landelijk bekend om hun bijzondere macrofauna, met o.a. verschillende soorten zeldzame Kokerjuffers en Steenvliegen. In de middenlopen en benedenstrooms, op plaatsen waar veel slibophoping plaatsvindt, de waterbodems vervuild zijn en/of de waterkwaliteit en watervoerendheid te wensen overlaten, maken de specifiekere soorten plaats voor meer algemene soorten die minder kritisch zijn ten aanzien van de waterkwaliteit.

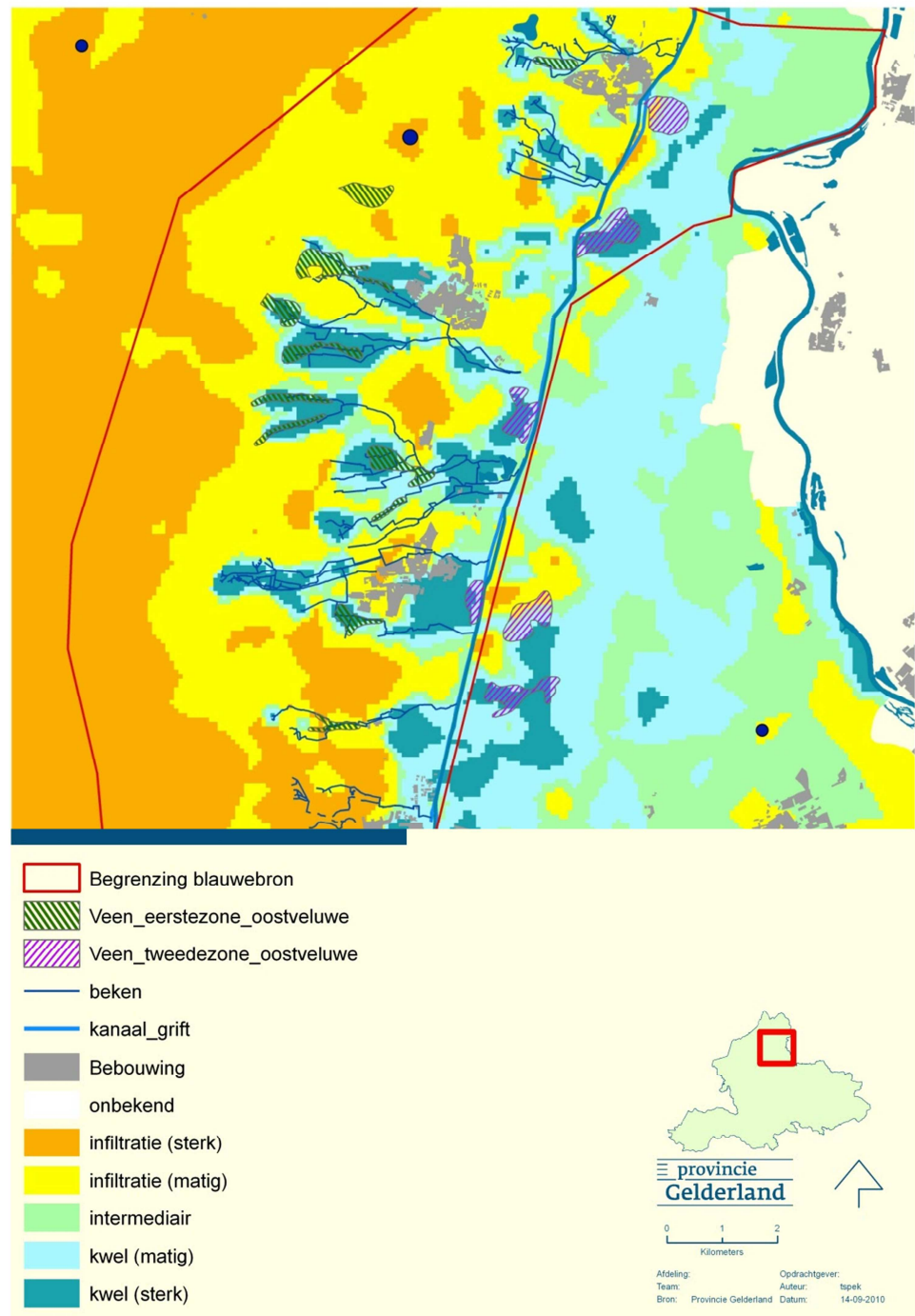
Een aantal sprengen en beken is rijk aan karakteristieke vissoorten als Beekprik, Bermpje, Rivierdonderpad, Elrits en Riviergrondel. Deze rijkdom aan beekvissoorten is op provinciaal en zelfs op landelijk niveau bijzonder.

De vegetatie in en langs bovenlopen van sprengen en beken is vaak kenmerkend voor de goede milieuomstandigheden aldaar. Karakteristieke soorten zijn o.a. Paarbladig goudveil, Dubbelloof, Bronkruid, Teer vederkruid, Duizendknoopfonteinkruid en het Mijtertje (paddenstoel). Meer in de middenloop en benedenstrooms domineren vaak soorten van voedselrijkere omstandigheden zoals Mannagras en Rietgras. Langs de oevers komen plaatselijk kwelindicatoren voor als Dotterbloem, Holpijp en Waterviolier.

Het Apeldoorns Kanaal zelf had tot voor kort een eenzijdig samengesteld visbestand met vooral soorten van troebel, voedselrijk water als Brasem, Karper en Blankvoorn. Uit recent visonderzoek blijkt echter dat de visstand aan het veranderen is. In delen van het kanaal is Baars nu de talrijkste soort, gevolgd door Zeelt en Snoek. Deze soorten indiceren relatief helder water en de aanwezigheid van ondergedoken waterplanten. Dit duidt op een afnemende voedselrijkdom van het water.



Figuur 8.6. Kwel en voormalige veengebieden Blauwe Bron



De grotere weteringen in de Noordelijke IJsselvallei beschikken over een relatief rijke en gevarieerde visstand, met beschermde vissoorten zoals Berrmpje, Bittervoorn, Kleine modderkruiper en Rivierdonderpad. In de weteringen overheersen algemene waterplantengemeenschappen van voedselrijke milieus, maar op plaatsen waar voedselarme kwel naar boven komt vanuit het Veluwemassief komen ook soortenrijkere waterplantenbegroeiingen met o.a. Fonteynkruiden voor.



Figuur 8.7. Het Wisselse Veen, één van de belangrijkste natuurparels op de Veluwe



8.11 Water- en Natuuropgaven

De water- en natuuropgaven zijn weergegeven in figuur 8.8. De wateropgaven in het gebied zijn:

- het verbeteren van de chemische en ecologische kwaliteit van de Grift en het Apeldoorns kanaal;
- het versterken van de ecologische verbindingfunctie van de Grift in noord-zuidrichting;
- het verbeteren van de cultuurhistorische en ecologische kwaliteiten van de sprengbeken;
- het duurzaam inpassen van drinkwaterwinning Epe.
- Het opheffen van de verdroging in de TOPlijstgebieden Wisselse en Tongerense Veen en Vossenbroek.

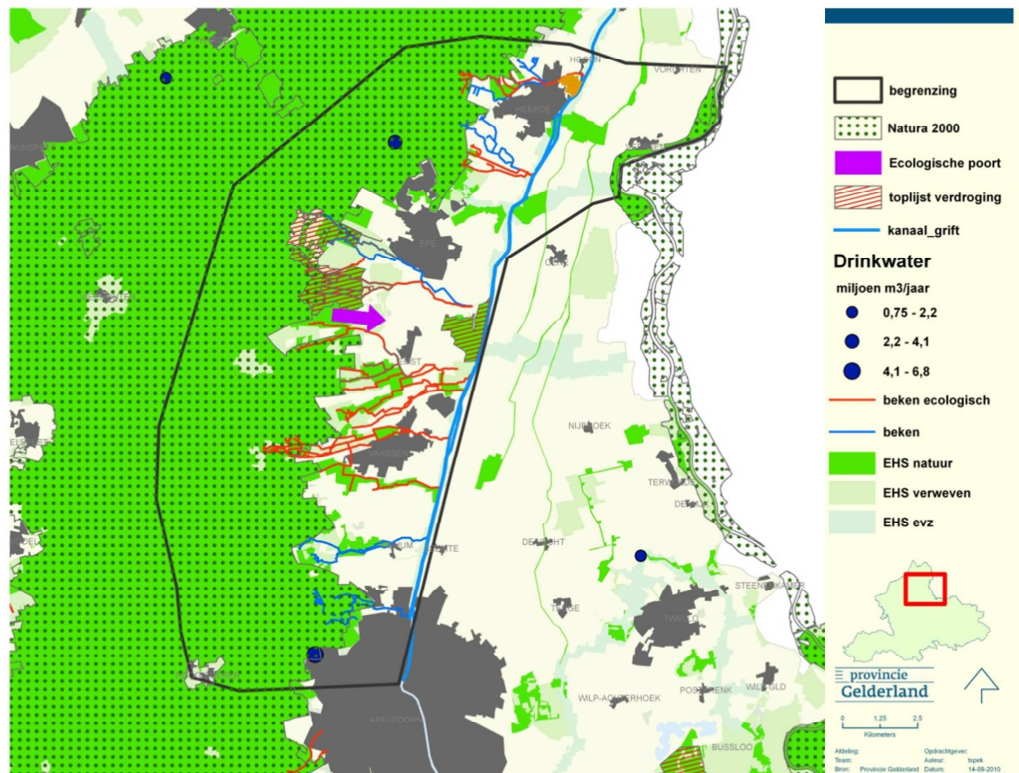
De grootste natuuropgaven in het gebied zijn:

- het beschermen, behouden en ontwikkelen van het Centraal Veluws Natuurgebied (CVN);
- het ontwikkelen van de beekdalen met kwelafhankelijke natte schraallanden;
- de verbinding tussen het CVN en de uiterwaarden (beide aangewezen als Natura2000-gebied);
- het medegebruik van de beekdalen door Veluwse fauna (ecologische poort).
- het voor 2013 oplossen van de verdrogingproblematiek in de TOPlijstgebieden Wisselse en Tongerense Veen en Vossenbroek.



Figuur 8.8. Water- en natuuropgaven

99



8.12 Externe ontwikkelingen

In het kader van het Deltaprogramma zijn er ontwikkelingen die op korte en middellange termijn een bedreiging vormen. Zo zal de zomerbedverlaging van de IJssel een grotere wegzijging tot gevolg hebben. De kwelstromen zullen hierdoor afnemen en de grondwaterstanden in de Noordelijke IJsselvallei zullen nog dieper wegzakken. Peilverhoging op het IJsselmeer (max 1.50 meter) kan op lange termijn een positief effect hebben. Dit werkt door in hogere peilen in de zomerperiode van de IJssel en zal een positief effect hebben op de grondwaterstanden in de Noordelijke IJsselvallei. Vraag is ook of in de toekomst voldoende water uit de IJssel beschikbaar blijft voor aanvulling van de watersystemen.

In de landbouw is er op nationale schaal nog steeds schaalvergroting aan de gang. In de IJsselvallei is hier ruimte voor. In het dorpen/beekdalengebied is hier weinig ruimte voor. In enkele grote dekzandruggen zijn enkele grote bedrijven mogelijk, de rest zal multifunctionele ondernemer moeten worden met veel neventakken. Het loslaten van de melkquota in 2015 zal een intensivering in de melkveehouderij teweeg brengen.





9 Kennisbehoefte in de gebieden

9.1 Kennisuitwisseling

Belangrijk onderdeel van dit project was het uitwisselen van de wetenschappelijke kennis over klimaatverandering, water, natuur en landbouw tussen wetenschappers en stakeholders in de studiegebieden en op basis daarvan te inventariseren welke kennisbehoefte er is in de gebieden. Het gaat daarbij om kennis over zowel effecten als adaptatiestrategieën. Er zijn met beide gebieden twee workshops georganiseerd waarin deze kennisuitwisseling plaatsvond. Voor deelnemers aan de workshops in beide gebieden zie bijlage 2.

Voordat de kennisbehoefte werd geïnventariseerd, gaven onderzoekers een overzicht van de stand van de kennis over klimaatverandering, de effecten en de mogelijke adaptatiemaatregelen. Dit was toegespitst op de hoge zandgronden in Nederland. Deze kennisuitwisseling vond plaats door de beschikbare kennis puntsgewijs en overzichtelijk op papier te zetten en aan stakeholders toe te sturen. Deze zelfde punten werden verder toegelicht en besproken in de workshops met de stakeholders.

Volgend op de kennisuitwisseling is de kennisbehoefte bij de stakeholders geïnventariseerd: Welke kennisvragen hebben zij, wanneer zij in het gebiedsproces de gevolgen van klimaatverandering willen betrekken, bijvoorbeeld met adaptatiemaatregelen? Om de lopende gebiedsprocessen niet te verstoren, is op uitdrukkelijk verzoek van de trekkers van de gebiedsprocessen besloten om in de workshops met een brede vertegenwoordiging uit de gebieden te werken en niet alle bij het gebiedsproces betrokken personen uit te nodigen.

De kennisbehoefte is voor beide deelgebieden in twee stappen geïnventariseerd. Voor beide gebieden zijn twee workshops gehouden:

- Doel van de eerste workshop was specifieke vragen formuleren die relevant zijn bij het ontwikkelen van adaptatiestrategieën en –maatregelen voor het betreffende gebied. Dit werd uitgevoerd door het projectteam, bestaande uit wetenschappers, enkele vertegenwoordigers van de provincie, van het waterschap en het waterwinbedrijf Vitens. Allereerst werd er door de wetenschappelijke partners een gedetailleerd overzicht gegeven van de gevolgen van klimaatverandering en de daaruit resulterende opgaven op het gebied van water, natuur en landbouw. Daarna werden de relevante opgaven en kansen in drie thema's (water, natuur en landbouw) uitgewerkt en gelokaliseerd op een kaart van het studiegebied. Die focus op



de gebiedsspecifieke situatie hielp om vragen concreet te maken. In het afsluitende plenaire gedeelte van de workshop werden de vragen gecombineerd en geïntegreerd.

De geïnventariseerde vragen zijn door de onderzoekers van het projectteam gegroepeerd en gestructureerd tot een overzichtelijke verzameling van vragen rondom de thema's:

- effecten van klimaatverandering op waterhuishouding
 - effecten van klimaatverandering op natuur
 - effecten van klimaatverandering op landbouw
 - adaptatiemaatregelen voor water, natuur en landbouw
- o Doel van de tweede workshop was het aanvullen en nuanceren van de vragen en het (her)formuleren van vragen over integratie van adaptatie voor water, natuur en landbouw. Voor deze workshop waren naast het projectteam, aanvullende vertegenwoordigers van relevante lokale organisaties uitgenodigd, zoals gemeenten, bekenstichting en LTO. Omdat er nieuwe stakeholders aan tafel zaten, en de kennisuitwisseling op hetzelfde niveau te brengen, startte de workshop met een presentatie van de resultaten tot nu toe. De stakeholders gingen in twee groepen uiteen en werd gevraagd de kennisvragen uit de eerste workshop te beoordelen op herkenbaarheid en relevantie en aan te geven welke vragen de hoogste prioriteit hadden om beantwoord te worden. Dit werd daarna plenair gepresenteerd, waarop een discussie volgde over de verschillen, overeenkomsten en belangrijkste conclusies van de twee groepen.

De door de stakeholders als relevant beoordeelde kennisvragen zijn na de workshops door de onderzoekers gestructureerd naar de inspanning die nodig is om de vragen te beantwoorden: i) op te lossen met bestaande kennis, ii) op te lossen met toegepast onderzoek, iii) op te lossen met extra fundamenteel onderzoek en iv) niet op te lossen. Om goed aan te sluiten bij de volgende fase van Kennis voor Klimaat zijn de kennisvragen vertaald naar onderzoeksvragen op het gebied van de waterhuishouding, landbouw en natuur, en is onderscheid gemaakt tussen vragen over effecten en over adaptatie.

▪

9.2 Vragen uit de Baakse Beek

De vragen in box 9.1 zijn het resultaat van de eerste workshop over de Baakse Beek.

Deze vragen zijn voorgelegd in de tweede workshop aan elf stakeholders in het studiegebied van de Baakse Beek. In kleine groepen werden de vragen bedis-



cussieerd en beoordeeld op relevantie door de stakeholders. Voordat de deelnemers de vragen gingen bespreken, werden de kernpunten van de kennis die hier in hoofdstuk 2-6 beschreven staat besproken. De deelnemers hadden een puntsgewijs overzicht van die kennis van te voren toegestuurd gekregen. Voor deelnemers aan de workshops over het Baakse Beek gebied zie bijlage 2.

De stakeholders vonden het lastig de kennisvragen over de effecten van klimaatverandering en adaptatiemaatregelen een plaats te geven in de gebiedsontwikkeling. Men realiseert zich dat het oproepen van vragen en het benoemen van onzekerheden de vaart uit het gebiedsproces zou kunnen nemen, omdat men vreest dat er nu maatregelen worden genomen die later herzien moeten worden op basis van nieuwe kennis. In de workshop is echter het vertrouwen geuit dat de maatregelen die tot nu toe in het gebiedsproces voorgesteld zijn, aansluiten bij de huidige kennis over de effecten van klimaatverandering. Er bestond consensus over dat het ongewenst is dat het proces stil komt te liggen.

In het huidige gebiedsproces zijn diverse maatregelen voorgesteld (uit de Bouwsteen Water, Bouwsteen Natuur en Investeringsagenda agrarische sector, allen opgesteld in het kader van het gebiedsproces Baakse Beek – Veengoot), die aansluiten bij kennis over klimaatadaptatie, zogenaamde no-regret maatregelen. Zonder volledig te zijn, noemen we hier een aantal voorbeelden:

- Herstellen sponswerking, als maatregel tegen droogte. Er wordt naar gestreefd dat hierdoor de watervoerendheid van de Baakse Beek wordt hersteld. Dit wordt bereikt door maatregelen zoals het dempen over verontdiepen van greppel, en watergangen. Deze maatregel kan zowel gunstig uitpakken voor natuur als voor landbouw. Het past binnen klimaatadaptatie, omdat het gevolgen van vaker en heftiger optreden van zomerdroogte helpt opvangen.
- Aanwijzen van bergingsgebieden voor wateroverlast benedenstrooms. Dit past binnen het frequenter en heviger optreden van extreme neerslag. Zeker in het W scenario is dit aan de orde.
- Water bergen op natte gronden, die vaak slechte kwaliteit hebben voor landbouwkundige productie.
- De ambitie voor natuur is om een robuuste EHS te realiseren. Dit concept past bij klimaatadaptatie, omdat robuuste natuur in staat is zichzelf te herstellen na verstoringen en in staat is verstoringen op te vangen. Voorgestelde maatregelen, die tevens passen binnen klimaatadaptatie zijn bijvoorbeeld realiseren van een robuust lint van natte bossen langs de Baakse Beek, ontwikkelen van grote, heterogene gebieden, versterken van ruimtelijke samenhang door ontwikkelen nieuwe of uitbreiden bestaande kerngebieden of ook door middel van kleinschalige natuurontwikkeling, agrarisch natuurbeheer of natuurvriendelijke bermen.



In hoeverre de maatregelen voldoende zijn om gevolgen van klimaat op te vangen, viel buiten het kader van dit KvK onderzoek.

In de workshop met de stakeholders werd duidelijk dat de meeste vragen die besproken werden wel relevant waren voor het gebiedsproces. Ook werden nieuwe vragen toegevoegd. Hieronder de vragen en onderwerpen waar de meeste aandacht voor was tijdens de discussie.

Effecten natuur

- Er is behoefte aan meer inzicht aan welke natuurdoelen passen bij de omstandigheden van het W en het W+ scenario. Het gaat om de vraag of bestaande doelen nog haalbaar zijn op de lokaties waar ze nu gepland zijn, of op andere lokaties. En ook of andere doelen beter passen bij het betreffende klimaatscenario.

Adaptatie algemeen, governance

- Effecten klimaatscenario's zijn nog onvoldoende in beeld: wat is de overlap tussen W en W+ scenario? Op basis daarvan kun je no-regret maatregelen nemen die in beide scenario's goed uitpakken. Het is moeilijk om te gaan met onzekerheden en de verschillen tussen W & W+. No-regret maatregelen worden nu al genomen. Andere maatregelen waarover grote onzekerheid over de effectiviteit is zouden op de langere termijn genomen kunnen worden als er meer zekerheid over effectiviteit is.
- Wat is een effectieve communicatiestrategie wanneer het gaat om de noodzaak van adaptatiemaatregelen? Streven naar draagvlak of wachten op rampen? Voor draagvlak is het belangrijk effecten en maatregelen concreet te maken. Of is de rampentheorie als breekijzer voor maatregelen kansrijker?



Box 9.1 Overzicht van kennisvragen over de Baakse Beek.

I. Effecten op Waterhuishouding

1. Wat is de invloed van variatie in schaalgrootte van het reliëf (bv Rug Ruurlo op kwel Hagenbeek), kleinschalig (essen in Landg.zone) op veranderingen in inzijing, verdamping, grondwaterstromen?
2. Is er met name in het Centraal Achterhoeks Bekken vochttekort door droogte in de zomers van het (droge) W+ scenario te verwachten?
3. Is er voldoende water voor recreatie, zoals hengelsport en varen en neemt de behoefte aan waterrecreatie toe?

II. Effecten op Natuur

1. Zijn natuurdoelen realiseerbaar op plaatsen waar ze gepland zijn?
2. Wat zijn de effecten van hogere temperaturen op koudeminnende aquatische soorten?
3. Welke ruimtelijke samenhang is nodig voor het meebewegen van soorten met klimaatverandering en het opvangen extremen?
4. Welke invloed heeft ruimtelijke samenhang op de invloed van dynamiek: nivellerend of verrijkend voor biodiversiteit?

III. Effecten op Landbouw

1. In welke mate liggen teveel aan water en droogte op de loer en waar? En is er voldoende water om te beregenen?
2. Neemt risico voor schade door ziekten en plagen toe en waar?
3. Verandert de ligging van marginale (te natte) gronden onder invloed van klimaatverandering en zullen zij anders worden beoordeeld op hun waarde voor het bedrijf?

IV. Adaptatiemaatregelen Natuur

1. Welke maatregelen in dimensionering van waterlopen dragen bij aan het opvangen van te veel en te weinig water en wat is effect op natuur (en landbouw)?
2. Welke mogelijkheden bieden grote, heterogene terreinen om extremen op te vangen en waar liggen kansen voor subtiele overgangen tussen natte heide en blauwgraslanden?
3. Hoe kan een robuuste verbinding langs de Baakse Beek worden ingericht voor hoge natuurwaarden en klimaatadaptatie?
4. Hoe optimaliseer je sponswerking met ontwikkeling van kwelafhankelijke blauwgraslanden?

V. Adaptatiemaatregelen Landbouw

1. Welke maatregelen in de dimensionering van waterlopen dragen bij aan het opvangen van te veel en te weinig water en wat is het effect op landbouw (en natuur)?
2. Welke mogelijkheden bieden grote, heterogene landbouwbedrijven om extremen op te vangen vergeleken met kleine bedrijven?



Adaptatie waterhuishouding

- De effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding en de rol die het reliëf in het gebied hierin speelt zijn cruciaal en liggen aan de basis van klimaatadaptatie. Er is behoefte aan watermodellen die klimaatproof zijn.
- De huidige HELP-tabellen die waterschappen in Nederland gebruiken voor de berekening van droogteschade gaat alleen uit van verandering van glg (gemiddelde laagste grondwaterstand) en niet van droge periodes tijdens groeiseizoen. De huidige HELP tabellen volstaan dus niet.
- Hoe kun je neerslagpieken benutten om droogte op te vangen? Groot-schalige vernatting is enige mogelijkheid om effect op afvoer in de zomer te hebben.
- Dimensionering waterlopen aanpassen aan veranderde omstandigheden: is het nodig of niet en in welke delen van het gebied?.
- Bij het waterschap overheerst het gevoel dat hun maatregelen goed passen in de verwachte ontwikkelingen. Het zou interessant zijn om de maatregelen tegen het licht houden.

Adaptatie water en recreatie

- Recreatie is een belangrijke functie voor het verkrijgen van draagvlak, meekoppeling met adaptatie biedt kansen. Relevante vragen voor recreatie: wat is gevolg van sterfte van bomen op landgoederen voor recreatieve kwaliteit? Waar zoeken recreanten en bewoners waterrecreatie: binnen of buiten het gebied en wat zijn de wensen en is dat mee te koppelen met klimaatadaptatie (bv waterbekkens)?

Adaptatie landbouw en natuur

- Er wordt in het gebied nu al nagedacht over de wisselwerking tussen landbouw en natuur. Er lijkt in het gebied een lichte voorkeur te zijn voor een zekere scheiding, met in het stroomgebied van de Baakse Beek nadruk op natuur met een robuuste inrichting, en in het stroomgebied van de Veengoot meer ruimte voor landbouw met technische inrichting via stuwtjes e.d. Binnen de gangbare landbouwkundige bedrijfsvoering willen boeren allemaal zo vroeg mogelijk het land op en hebben daarom behoefte aan goed ontwaterde gronden. Hoewel er voor de Baakse Beek – Veengoot op hoofdlijnen verschillende strategieën nagestreefd worden, kenmerken beide gebieden zich door verweving van landbouw en natuur, evenals in de rest van de Achterhoek.

Adaptatie natuur

- Voor terreinbeherende organisaties is het streven naar doelrealisatie belangrijk, dit zal niet zomaar worden opgegeven. Eerst 'alles proberen' om bestaande doelen te halen. Wel streven naar robuustheid & ruimtelijke samenhang. De vraag is wat dat in dit gebied inhoudt.



- Naast het vorige punt staat de visie om nu al goed naar de doelen te kijken: liggen ze op de goede plek en zijn ze realiseerbaar onder de klimaatscenario's?

Adaptatie landbouw

- Voor landbouw wordt de urgentie van droogte niet gevoeld door vertegenwoordigers van het gebied, de verwachting is dat het gebied tegen wateroverlast goed is ingericht (*opmerking bij schrijven van het rapport: de workshop was in juni 2010, in augustus volgde wateroverlast in grote delen van de Achterhoek door extreme neerslag*). Negatieve gevolgen van klimaatverandering worden vooral indirect, via aanpassing voor andere functies verwacht. Aanpassing van de waterhuishouding vanuit die andere functies kan ertoe leiden dat voor de landbouw het voorjaar toch te nat wordt en eerste snee later komt zodat er een snee minder is.

9.3 Vragen uit de Blauwe Bron

De vragen in box 9.2 zijn het resultaat van de groepering van de vragen uit de eerste workshop van de Blauwe Bron. Dezelfde aanpak werd gevolgd als voor de Baakse Beek. In een tweede workshop met tien stakeholders werd informatie uitgewisseld over de huidige stand van zaken van kennis over effecten en adaptatiemaatregelen. Daarna gingen deelnemers in groepjes de vragen bespreken. Voor deelnemers aan beide workshops zie bijlage 2.

In de tweede workshop over de Blauwe Bron vonden de stakeholders de meeste vragen relevant. De stakeholders zijn het er mee eens dat het belangrijk is meer inzicht te krijgen in hoe de hydrologische en ecologische processen worden beïnvloed door klimaatverandering. Er werd bediscussieerd in hoeverre adaptatiemaatregelen aansluiten bij het lopende proces. Op die manier konden ook voor de Blauwe Bron een aantal no-regret maatregelen uit het reeds lopende gebiedsproces geïdentificeerd worden. Te denken valt aan:

- Ontwikkeling van het Wisselse Veen. Sluit aan op ontwikkelen van grote gebieden met heterogeniteit als adaptatiestrategie. Diverse vernattingmaatregelen zijn hier genomen (bv dempen/verontdiepen sloten, afgraven topplaag), kwelstromen worden hersteld en gradiënten worden hier en daar hersteld.
- Verplaatsen van landbouw vanuit hydrologisch kwetsbare gebieden. In de plannen van het gebiedsproces Epe-Vaassen wordt gestreefd naar het concentreren van landbouwontwikkeling in daarvoor geschikte gebieden en het verplaatsen van landbouw bedrijven uit hydrologisch



kwetsbare gebieden. Dit sluit aan de strategie om robuuste eenheden, voor zowel landbouw als natuur te ontwikkelen. Landbouw is op die manier minder afhankelijk van ingrijpende hydrologische maatregelen.

- Ontwikkeling Wisselse Poort, als verbinding tussen de Veluwe en het IJsseldal. Dit sluit aan bij de strategie om gebieden te verbinden, om migratie van soorten mogelijk te maken en om heterogeniteit binnen een ecologisch netwerk aan te brengen, wat het hersteldvermogen en de veerkracht van ecosystemen vergroot (bv vluchtgelegenheid bij klimatologische extreme perioden).

Er werden ook veel nieuwe vragen geformuleerd. Vooral over mogelijke adaptatiemaatregelen, en hoe de maatregelen te implementeren, ontstond discussie en kwamen de nodige aanvullende vragen:

Effecten natuur

- De vraag of natuurdoelen op de juiste plek liggen wordt minder relevant gevonden dan de vraag hoe de natuur er in de toekomst uitziet en waar de beste potenties voor ontwikkeling liggen.
- Is natuur die ontwikkeld wordt in het gebiedsproces passend bij toekomstig klimaat?
- De vraag over effect van hogere watertemperatuur op koudeminnende aquatische soorten werd door deelnemers aan de workshop als minder relevant gezien, omdat er toch weinig aan te doen zou zijn. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat versterken van de basisafvoer door extra grondwater toevoer de temperatuur mogelijk kan dempen; grondwater is immers van vrij constante temperatuur. De vraag hoe dat goed is op te pakken blijft relevant.

Effecten landbouw

- Is landbouw die gestimuleerd wordt in het gebiedsproces passend bij toekomstig klimaat?

Adaptatie algemeen, governance

- Wat is de beste strategie om te sturen op maatregelen die ondernemers zouden moeten nemen: Kun je als provincie sturen op een groenblauw netwerk als een soort mal, dat robuust en klimaatbestendig is, en laat je vervolgens de ondernemers binnen die mal hun gang gaan? De provincie heeft alleen invloed op wat er in die structuur van die mal gebeurt, en dan eigenlijk ook alleen op de ca 1000 ha nieuwe natuur (met name TOP gebieden) daarin, wat slechts enkele procenten van het totale gebied is.



I. Effecten op Waterhuishouding en Waterwinning

1. Meer kansen op watertekort en wateroverlast: hoe pakt dat uit voor de hoge en voor de lage delen?
2. Wat is de invloed van de kleischotten op het grondwatersysteem?
3. Ontstaan er problemen voor drinkwaterwinning bij Epe ten aanzien van waterkwaliteit door verandering van bodemprocessen?

II. Effecten op Natuur (abiotiek en ruimtelijk)

1. Zijn natuurdoelen realiseerbaar op plaatsen waar ze gepland zijn?
2. Wat zijn de effecten van hogere temperaturen op koudeminnende aquatische soorten?
3. Welke ruimtelijke samenhang is nodig voor meebewegen van soorten met klimaatverandering?
4. Hoe groot moeten gebieden zijn voor opvangen van extremen?

III. Effecten op Landbouw

1. In welke mate liggen teveel aan water, en te veel aan droogte op de loer en waar?
2. Neemt risico voor schade door ziekten en plagen toe en waar?
3. Veranderen gewasopbrengsten en leidt dat tot andere gewaskeuze?

IV. Adaptatiemogelijkheden (natuur)

1. Moet de afvoer in beken aangepast worden om natte, terrestrische natuur een kans te geven, of de waterkwaliteit in Grift en Apeldoorns Kanaal te verbeteren?
2. Wat dragen verlovering (naaldbos wordt loofbos) en klimaatgedreven verandering in vegetatie bij aan aanvulling grondwater?
3. Welke mogelijkheden voor overgangen van hoog naar laag biedt de Wisselse Poort en in hoeverre dragen die bij aan veerkracht van de natuur (opvangen extreem weer)?

V. Adaptatiemogelijkheden (landbouw)

1. Welke adaptatiemogelijkheden zijn er om watertekort en wateroverschot op bedrijven en op regionaal niveau op te vangen?
2. Welk toekomstperspectief is er voor bedrijven in de landgoederenzone en het IJsseldal?

- Welke rol spelen calamiteiten? Heb je ze 'nodig' om boodschap tussen de oren te krijgen om adaptatiemaatregelen te kunnen realiseren?
- Adaptatiebeleid van EU en Rijk gaan tot nu toe vooral over veiligheid, zou toe moeten naar discussie voor gevolgen voor het huidige landgebruik. Biedt vernieuwing EU landbouwbeleid mogelijkheden?
- Moet er niet een soort klimaattoets komen? Niet alleen voor Natura2000 gebieden maar ook voor bebouwingplannen, etc? Volgens Bert Kiljan past dit erg goed in toekomstig beleid.



Adaptatie waterhuishouding

- Hoe verhoudt klimaatverandering zich tot grootschalige adaptatie in de omgeving van het studiegebied (Deltaplan, Ruimte voor Rivier, verdieping IJssel)?
- Het waterschap heeft als opdracht te zorgen voor droge voeten voor de ondernemers. Droogte wordt waarschijnlijk een nieuw probleem naast wateroverlast. Wat zijn de gevolgen en hoe kan het waterschap daar op inspelen?
- Wat zijn nu de gevolgen van een ander peilbeleid, voor korte en lange termijn, voor verschillende landgebruikfuncties? Dit zou doorgerekend moeten worden.

Adaptatie natuur

- Wat voor natuur is gewenst en wat is mogelijk? Bijvoorbeeld: is droogte nog mogelijk onder het W+ scenario, of verstuift dat helemaal? Verloveren (omzetten naald in loofbos): heeft dat nog zin, als toekomstig klimaat ongeschikt voor bepaalde boomsoorten wordt, bijvoorbeeld wordt bij droogte Veluwe ongeschikt voor eik? Dan heeft verloveren geen zin dus. Een enkeling vindt dat verlovering voldoende onderzocht is en geen verder onderzoek nodig heeft.
- Is er een conflict tussen cultuurhistorie en natuur? Moet je kiezen tussen stromende beken met bijvoorbeeld watermolens (cultuurhistorie) of moet je beken opgeven ten behoeve van natte graslanden (natuur)? Of kun je beide goed combineren / realiseren?

Adaptatie landbouw

- Kun je een boer subsidie geven voor waterberging of hoger peil, net als dat hij nu subsidie krijgt voor maïs? En wat bepaalt verder of hij waterberging of een hoger peil gaat realiseren op zijn bedrijf?

9.4 Classificatie van vragen

De vragen die geïnventariseerd en besproken zijn tijdens de workshops met vertegenwoordigers uit de gebiedsprocessen zijn na de workshops door de onderzoekers geïnclassificeerd op basis van het soort onderzoek dat nodig is om de vragen te beantwoorden. Dit is gedaan op basis van kennis en ervaring van de onderzoekers met de huidige stand van zaken in de relevante onderzoeksvelden. De indeling in vragen is van belang voor het verdere onderzoek binnen het KvK programma. Een doorkijk naar vragen die in de tweede tranche van het programma worden opgepakt wordt gegeven na de classificatie.

Een prioritering van vragen in dit stadium is moeilijk aan te geven, omdat de stakeholders daar onvoldoende input over konden geven. Tijdens de workshop



was het eerst nodig de vragen te bespreken en bediscussieren of ze een rol spelen in het gebiedsproces. Die stap was goed uitvoerbaar. Het bleek moeilijk te zijn om de stakeholders de vragen te laten prioriteren. De reden is dat er al veel onderwerpen te bespreken waren. De stap tot prioriteren is niet eenvoudig, omdat mensen daarvoor afwegingen moeten maken over vragen uit verschillende sectoren op verschillend detailniveau. Veel van de stakeholders uit de tweede workshop vertegenwoordigen juist een sectoraal belang en voor hen is de prioritering over sectoren heen erg moeilijk. Daarom is in de eerste Tranche dus wel een aanzet tot de prioritering gezet in de workshops, maar meer binnen sectoren. De prioritering en uitwerking van vragen is verder opgepakt bij de voorbereidingen voor de tweede Tranche van het KvK programma, waarbij wederom intensief door de betrokken onderzoeks en praktijkpartijen van dit project is samengewerkt, maar met betrokkenen die op een wat generieker en integraler (beleids)niveau bij de gebieden betrokken zijn.

We deelden als onderzoekers de vragen in één, soms twee categorieën in:

1. vragen die met huidige kennis te beantwoorden zijn,
2. vragen die te beantwoorden zijn met toegepast onderzoek en met huidige of aangepaste modellen
3. vragen die te beantwoorden zijn met fundamenteel onderzoek
4. vragen die niet te beantwoorden zijn.

Bij de analyse van de vragen bleek dat vragen met elkaar samenhangen. Veel vragen over adaptatiemaatregelen hebben antwoorden op vragen over effecten nodig.



Tabel 9.1. Resultaat van de classificatie van vragen en onderwerpen om te onderzoeken voor de Baakse Beek

112

	Vragen	Categorieën onderzoek			
		1 Bestaande kennis	2 Toegepast	3 Fundamenteel	4 Onoplosbaar
Baakse beek	Effecten Waterhuishouding	Ia Grondwateraanvulling en schaal-grootte reliëf		vooral bij W	vooral bij W+
		Ib Effect van droogte in Achterhoeks bekken W+			
	Effecten bebouwd en recreatie	IIa Behoeftte aan (koelte)parken bebouwd gebied			
		IIb Is er voldoende water voor hengelsport			
		IIc Meer behoefte aan waterbeleving?			
	Effecten natuur	IIIa Nieuwe natuurtypen: ontstaan die, waar en welk belang voor biodiversiteit?			voorspelbaar?
		IIIb Liggen huidige doelen op de goede plek gepland?		mits la bekend	
		IIIc Wat is effect van temperatuurstijging water op koudeminnende soorten			
		IIId Effecten op beekfauna			
	Effecten extremen en inrichting	Va Wanneer natuurgebieden robuust?			voorspelbaar?
		Vb Effect extremen in klimaatvariabelen op biodiversiteit			
	Effecten landbouw	VIa Effect van droogte en natschade		droogte schade	nat schade
		VIb Voldoende water voor beregening			
		VIc Verandert kenmerken en ligging marginale gronden?			
		VIId Verspreiding ziekten en plagen			voorspelbaar?
	Adaptatie waterhuishouding	VIIa Waterberging voor opvangen droogte			
		VIIb Voorkomen wateroverlast			
	VIIc Herdimensioneren watergangen				
Adaptatie natuur	VIIIa Opvang extremen door heterogeniteit		mits III, V bekend		
	VIIIb Kansen voor gradiënten				
	VIIIc Kansen robuuste beek	mits III, V bekend			
	IIId Optimaliseren waterberging icm natuurdoelen				
Adaptatie landbouw	IXa Opvangen extremen binnen bedrijven of regio's				



Tabel 9.2. Resultaat van de classificatie van vragen en onderwerpen om te onderzoeken voor de Blauwe Bron

	Vragen	Categorieën onderzoek			
		1	2	3	4
		Bestaande kennis	Toegepast	Fundamenteel	Onoplosbaar
Blauwe bron	Effecten Waterhuishouding Ia			mits BB 1a	
	Effecten Waterhuishouding Ib				
	Effecten waterwinning IIa		mits 1b en BB 1a		
	Effecten natuur IIIa		mits BB 1a		
	Effecten natuur IIIb				
	Effecten ruimtelijke veranderingen IVa				
	Effecten ruimtelijke veranderingen IVb				
	Effecten landbouw Va		droogteschade	natschade	
	Effecten landbouw Vb				
	Effecten landbouw Vc				
	Adaptatie waterhuishouding voor natuur VIa				
	Adaptatie waterhuishouding voor natuur VIb				
	Adaptatie waterhuishouding voor natuur VIc				
Adaptatie waterhuishouding voor natuur VId					
Gradiënten voor natuur VIIa		mits IV bekend			
Adaptatie landbouw VIIIa					
Adaptatie landbouw VIIIb					
Adaptatie landbouw VIILc					



De classificatie laat zien dat voor beide gebieden vragen in alle vier de categorieën voorkomen. Een klein aantal vragen is met de huidige stand van de kennis te beantwoorden. Het betreft bijvoorbeeld kennis over een aantal concrete beheersmaatregelen in natuurgebieden en landbouwgebieden. Veel vragen zijn met toegepast onderzoek te beantwoorden, waaronder we ook het toepassen van bestaande modellen verstaan. Veel van het onderzoek zal neerkomen op het op gebiedsniveau concretiseren van generieke kennis, aanpassing van modellen op de regionale schaal en uiteraard inbouwen van informatie over de klimaatscenario's.

Veel van de vragen die met toegepast onderzoek zijn te beantwoorden, hebben als voorwaarde dat andere vragen eerst onderzocht zijn. Dit betreft in de meeste gevallen vragen die met fundamenteel onderzoek beantwoord kunnen worden. De vragen die niet te beantwoorden zijn, betreffen vragen over het reageren van complexe systemen, zoals de ontwikkeling van ecosystemen of het gedrag van landbouwbedrijven onder nieuwe, toekomstige omstandigheden. In die systemen spelen tal van terugkoppelingsmechanismen en kansprocessen, die het onmogelijk maken om de toekomstige ontwikkelingen exact te voorspellen.

In de tweede tranche van het KvK onderzoek wordt een aantal van de fundamentele vragen opgepakt (Van den Brink 2010):

Uit de Baakse Beek (nummering volgt tabel 9.1):

- Ia. Grondwateraanvulling
- IIIa. Ontwikkeling van natuurtypen en levensgemeenschappen onder invloed van klimaatverandering
- IIIb. Relatie met abiotiek en ruimtelijke dynamiek
- IIIc. Effecten op beekfauna: niet in 2^e tranche KvK, wel door groep Aquatische Ecologie van Alterra (P. Verdonchot) onderzocht
- Va,b. Normen voor ruimtelijke samenhang van ecologische netwerken onder dynamische omstandigheden
- VIId. Opvang extremen in beekdalen

Blauwe Bron (nummering volgt tabel 9.2)

- Ia. Waterhuishouding: tekorten en overlast
- IV a, b. Ontwikkeling normen samenhang natuurgebieden en grootte natuurgebieden om extremen op te vangen en verschuiven soorten mogelijk te maken.
- VIIIa. Keuzes van boeren, onderzocht via ontwikkeling 'agent-based model'



10 Conclusies

Een van de doelen van deze studie was wetenschappelijke kennis over klimaatverandering, waterhuishouding, natuur en landbouw uit te wisselen met betrokkenen uit gebiedsprocessen op de hoge zandgronden in rurale gebieden. Zowel kennis over effecten als over adaptatiemaatregelen. Uiteindelijk zou deze kennis moeten leiden tot effectieve maatregelen voor de verschillende sectoren, geïntegreerd in het gebiedsproces. In dit project ging het om het signaleren van kennisleemten, in vervolgonderzoek wordt gewerkt aan het vullen van die leemten.

We concluderen dat dit project heeft bijgedragen aan het overbruggen van de kloof tussen wetenschap en praktijk. De aanpak van het vertalen van generieke kennis naar locatiespecifieke situaties aan de hand van verschillende ruimtelijke kaarten en met de inbreng van gebiedsexperts werkte daarbij goed. De wetenschappers hebben geleerd over specifieke kenmerken van de gebieden en de daaraan verbonden vragen. Maar daarnaast hebben ze geleerd over de complexiteit van een gebiedsproces. Het zijn processen van lange adem, waarin de gevolgen van klimaatverandering moeizaam tot niet worden betrokken. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt door de onzekerheid over de gevolgen en de verschillen tussen de klimaatscenario's. De praktijk heeft in dit project geleerd over de verschillende klimaatscenario's en de mogelijke effecten en adaptatiestrategieën. Veel stakeholders waren niet bezig met klimaatverandering of de mogelijke consequenties. Voor hen was de informatie over de betekenis van de verschillende klimaatscenario's nieuw. Het feit dat er drogere zomers gecombineerd met intensievere neerslagbuien en meer neerslag in de winter verwacht worden, leek voor velen nieuwe informatie te zijn.

Ondanks verschillen tussen de twee gebieden is er veel overeenkomst tussen de kennisvragen uit beide gebieden. Er is behoefte aan basale kennis over de effecten van klimaatverandering op het functioneren van het hydrologische systeem, ecologische processen, functioneren van het landbouwsysteem en interacties daartussen en aan kennis over effectiviteit van adaptatiemaatregelen.

De nieuwe kennisvragen die uit de gebieden kwamen gingen vaak over adaptatiemaatregelen, en met name over de implementatie daarvan. Over het creëren van draagvlak (rol van calamiteiten), en de conflicten dan wel synergie tussen sectoren.

De partijen in de gebiedsontwikkeling kunnen al aan de slag met kennis die ze hebben opgedaan in het project – no-regret maatregelen, bestaande proces op



de goede weg. Wanneer aanvullende kennis uit de tweede tranche beschikbaar komt, kan beoordeeld worden hoe dat in het lopende proces is in te passen.

De kloof tussen wetenschap en praktijk is nog niet weg tussen de betrokkenen in dit project. Maar het is wel duidelijk dat hoe beter kennis is toegespitst op de lokale situatie, hoe gemakkelijker het is in te bouwen in gebiedsontwikkelingsproces. Vaak is extra (toegepast) onderzoek nodig, om generieke wetenschappelijke kennis toepasbaar te maken in gebieden. Contact met actoren uit gebieden is daarbij van belang, om te weten te komen in welke vorm die kennis te gebruiken is. De samenwerking in gebieden levert weer nieuwe vragen op, die opgepakt kunnen worden door de wetenschap.



Literatuur

Agricola, H.J., H. Goosen, C.J. Grashof, P.F.M. Opdam. 2009. Kansrijke gebieden voor klimaatmantels in de provincie Drenthe. Alterra rapport 1860. Alterra-Wageningen UR, Wageningen

Agricola, H.J., H. Goosen, P.F.M. Opdam & R.A. Smidt. 2010. Kansrijke gebieden voor groenblauwe mantels in de provincie Noord-Brabant, Wageningen: Alterra.

Araújo, M.B., Thuiller, W., Pearson, R.G. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33: 1677-1688.

Bakkenes, M., Alkemade, J.R.M., Ihle, F., Leemans, R., Latour, J.B. 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8: 390–407

Bazzaz, F.A., S.L. Bassow, G.M. Berntson & S.C. Thomas, 1996. Elevated CO₂ and terrestrial vegetation: Implications for and beyond the global carbon budget. In: B. Walker & W. Steffen (eds.), *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, p. 43-76. Cambridge University Press.

Berry, P.M., Jones, A.P., Nicholls, R.J. & Vos, C.C. (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

Besseminder, J. & A. Bakker. 2007. KNMI'06: transformatie tijdrekenen. KNMI publication: PR, website gekoppeld aan KNMI'06 klimaat-scenario's website, 7/2007.

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

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



Botkin D.B., H. Saxe, M.B. Araújo, R. Betts, R.H.W. Bradshaw, T. Cedhagen, P. Chesson, T.P. Dawson, J.R. Ettlerson, D.P. Faith, S. Ferrier, A. Guisan, A. Hansen, D.W. Hilbert, C. Loehle, C. Margules, M. New & M.J. Sobel, 2007. Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience* 57: 227-236.

Broekmeyer, M. & E. Steingröver. 2001. Handboek Robuuste Verbindingen; ecologische randvoorwaarden. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.

Clarke, D. & S.N. Sanitwong, 2008. Predicted effects of climate change and sea level rise on water table levels and dune slack habitat. *Proceedings Changing Perspectives in Coast Dune Management, Liverpool* 31/3-3/4.

Den Boer, P.J. 1986. Environmental heterogeneity and the survival of natural populations, pp. 345-356 in H.H.W. Velthuis (ed.) *Proceedings 3rd European Congress of Etom, Amsterdam*.

Dolman, A.J., E.J. Moors, J.A. Elbers & W. Snijders, 1998. Evaporation and surface conductance of three temperate forests in the Netherlands. *Ann. Forest.*, 55: 255-270.

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

Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 189 pp.

Foppen, R., C.J.F. ter Braak, J. Verboom & R. Reijnen. 1999. Dutch sedge warblers *Acrocephalus schoenobaenus* and West African rainfall. Empirical data and simulation modelling show low population resilience in fragmented marshlands. *Ardea* 87: 113-127.

Galama, P.J., P. Roelofs, Hulshof en A.G. Evers, 2008. Financiële ruimte voor groei in Noordoost- Twente. Inzicht in de kosten kleinschalig landschap en gevolgen voor groei van de melkveehouderij. *Animal Sciences Group Wageningen UR*.

Geertsema, W., R.J.F. Bugter, M. van Eupen, S.A.M. van Rooij, T. van der Sluis & M. van der Veen. 2009. Robuuste verbindingen en klimaatverandering, *Alterra-Rapport 1886*. Wageningen: Alterra.



Gill, SE, Handley, JF, Ennos, AR, Pauleit, S. 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment* 33: 115-133.

Grashof-Bokdam, C.J., J.P. Chardon, C.C. Vos, R.P.B. Foppen, M. Wallis de Vries, M. van der Veen & H.A.M. Meeuwsen. 2009. The synergistic effect of combining woodlands and green veining for biodiversity. *Landscape Ecology* 24:1105-1121.

Gremmen, N. J. M., M. J. S. M. Reijnen, J. Wiertz, & G. van Wirdum, 1990. A model to predict and assess the effects of groundwater withdrawal on the vegetation in the Pleistocene areas of the Netherlands. *Journal of environmental management* 31: 143-55.

Guisan, A. & N.E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147–186.

Guisan, A. & W. Thuiller, 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.

Hermans, F., J. Otte & J. van Bakel, 2009. Regionale hydrologische modellering ter onderbouwing van klimaateffecten. *H2O* 4: 28-32.

Hooper, D.U., F.S. Chapin, J.J. Ewel, A. Hector & P. Inchausti. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75 (1): 3-35.

IPCC. 2001. *Climate change 2001. Impacts adaptation and vulnerability. Summary for policymakers*, Cambridge (UK): Cambridge University Press.

Jentsch, A. & B. Beierkuhnlein. 2008. Research frontiers in climate change. Effects of extreme meteorological events on ecosystems. *Geoscience* 340: 621-628.

Julliard, R., F. Jiguet & D. Couvet. 2004. Common birds facing global changes: what makes a species at risk? *Global Change Biology* 10: 148-154.

Jump, A.S. & J. Peñuelas, 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letter* 8:1010-1020.



Kamps, P.W.J.T, G. Nienhuis & J.P.M. Witte, 2008. Effects of climate change on the water table in the coastal dunes of the Amsterdam Water Supply. Proceedings MODFLOW 2008.

Kattenberg, A. (red). 2008. De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI De Bilt.

Keith, S.A., Newton, A.C., Herbert, R.J.H., Morecroft, M.D., Bealy, C.E., 2009. Non-analogous community formation in response to climate change. *Journal for Nature Conservation* 17: 228-235.

Knapp, A.K., C. Beier, D.D. Briske, A.T. Classen, Y. Luo, M. Reichstein, M.D. Smith, S.D. Smith, J.E. Bell, P.A. Fay, J.L. Heisler, S.W. Leavitt, R. Sherry, B. Smith and E. Weng (2008) Consequences of more extreme precipitation regimes for terrestrial ecosystems. *BioScience* 58: 811-821.

Koerselman, W., Meuleman, A.F.M., & De Haan, M.W.A., 1999. Ecohydrologische effectvoorspelling duinen. Standplaatsmodellering in NICHÉ Duinen. Nieuwegein: Kiwa Water Research.

Kruijt, B., J.P.M. Witte, C. Jacobs & T. Kroon, 2008. Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands. *Journal of Hydrology* 349: 257-267.

Lammers, G.W., A. van Hinsberg, W. Loonen, M.J.S.M. Reijnen & M.E. Sanders. 2005. Optimalisatie Ecologische Hoofdstructuur. Milieu- en Natuurplanbureau Rapport nr 408768003. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.

Levins, R., 1966. The strategy of model building in population ecology. *Am. Sci.* 54: 421-431.

Massop, H.Th.L. & W.C. Knol. 2005. Historisch waterbeheer, een kwantitatieve benadering. Alterra-rapport 1145, Alterra Wageningen UR, Wageningen.

Mawdsley, J.R., O'Malley, R. Ojima, D.S. 2009. A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation *Conservation Biology* 23: 1080-1089

Meeteren, M.D. & H. Korevaar. 2010. Klimaat en landbouw; risico's en kansen. Aequator Groen & Ruimte, Dronten



Millar, C.I., N.L. Stephenson & S.L. Stephens. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17:2145–2151

Noest, V., 1991. HYVEG, een interactiemodel hydrologie-vegetatie voor jonge vochtige duinvalleien. DZH, Den-Haag.

Norby, R.J., et al., 2007. Ecosystem responses to warming and interacting global change factors. In: Canadell, J., et al. (eds.), *Global change and terrestrial ecosystems*. pp. 23-36.

Parmesan, C., Root, T.L., Willig, M.R., 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *B Am Meteorol Soc* 81, 443-450.

Parmesan, C., Ryrholm, C., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W.J., Thomas, J.A., Warren, M., 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with global warming. *Nature* 399, 579-583.

Pearson, R.G. & Dawson, T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371.

Poorter, H. and M-L Navas, 2003. Plant growth and competition at elevated CO₂: on winners, losers and functional groups. *New Phytologist* 157: 175-198

Runhaar, J., G. Arts, W. Knol en N. van den Brink, 2004. Waterberging en natuur. Kennisoverzicht ten behoeve van regionale waterbeheerders. Rapport 2004-16. STOWA, Utrecht.

Runhaar, J., G.W.W. Wamelink, S.M. Hennekens en J.C. Gehrels, 2003a. Realisatie van natuurdoelen als functie van de hydrologie. *Landschap* 20(3): 143-153

Runhaar, J., H. Kuijpers, H.L. Boogaard, P.C. Jansen en E.P.A.G. Schouwenberg, 2003b. Natuurgericht Landevaluatiesysteem (NATLES) versie 2.1. Alterra, Wageningen.

Scheele, H. en Van Gurp, H. 2007. Eindrapportage FAB (Functionele Agrobiodiversiteit) 2005-2007. LTO Projecten



Schippers, P., J. Verboom, C.C. Vos & R. Jochem (te verschijnen) Meta-population survival of woodland birds under climate change. Will species be able to track?

Schweiger, O., Settele, J., Kudrna, O. Klotz, S., Kühn, I. 2008. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89: 3472-3479.

Settele J, Kudrna O, Harpke A, Kuehn I, van Swaay C, Verovnik R, Warren M, Wiemers M, Hanspach J, Hickler T, Kuehn E, van Halder I, Veling K, Vliegenthart A, Wynhoff I, Schweiger O. 2008. Climatic Risk Atlas of European Butterflies, *Biorisk* 1 (Special Issue).

Suttle, K.B., Thomsen, M.A., Power, M.E. 2007. Species interactions reverse grassland responses to changing climate. *Science* 315: 640-642.
Tamis, W., 2005. Changes in the flora of the Netherlands in the 20th century. PhD-thesis, Leiden University.

Thuiller, W., S. Lavorel, M.B. Araujo, M.T. Sykes and I.C. Prentice, 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Science* 102: 8245-8250.

Van Bodegom, P.M., S.C. Dekker, M. Wassen & J.P.M. Witte, 2009. Geen adaptiestrategie zonder een klimaatbestendige ecohydrologie. Een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden om de biodiversiteit in Nederland onder een ander klimaat te voorspellen. Stichting Kennis voor Klimaat, KvK rapportnummer KvK 005/09, ISBN 978-94-90070-05-2, Utrecht.

Van den Brink, A., 2010. Climate Adaptation for Rural arEas (CARE). Onderzoeksvoorstel Thema 3 Kennis voor Klimaat, Wageningen.

Van den Hurk, B., A.K. Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout, 2006. KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.

Van der Gaast, J.C.M & H.Th.L. Massop. 2007. Reconstructie van de historische hydrologie. Een pilotstudie in hoog-Nederland (Baakse beek). Alterra rapport 1466, Alterra-Wageningen UR, Wageningen.



Van der Schaaf, S. 1998. Balanceren tussen kwel en wegzijging. *Landschap 2*: 87 – 98.

Van der Staaij, P. & W. Ozinga. 2008. Verschuivende allianties in plantengemeenschappen door klimaatverandering', in J. Schaminée & E. Weeda (red.), *Grenzen in beweging. Beschouwingen over vegetatiegeografie*, Zeist: KNNV Uitgeverij.

Veen, M. van der, E. Wiesenekker, B.S.J. Nijhof & C.C. Vos, 2010. *Klimaat Respons Database*. Ontwikkeld binnen BSIKProgramma *Klimaat voor Ruimte*, project *Adaptatie EHS*.

Van Ek, R., J.P.M. Witte, J. Runhaar & F. Klijn, 2000. Ecological effects of water management in the Netherlands: the model DEMNAT. *Ecological Engineering* 16: 127-141.

Van Oene, H. & F. Berendse, 2001. Predicting responses of ecosystem processes to climate change and nitrogen deposition. In: Van Oene, H., Ellis, W.N., Heijmans, M.M.P.D., Mauquoy, D., Tamis, W.L.M, Van Vliet, A.J.H., Berendse, F., Van Geel, B., Van der Meijden, R. and Ulenberg, S.A. (eds), *Long-term effects of climate change on biodiversity and ecosystem processes*. Bilthoven: Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change.

Van Oene, H., F. Berendse & C.G.F. de Kovel, 1999. Model analysis of the effects of historic CO₂ levels and Nitrogen inputs on vegetation succession. *Ecological applications* 9: 920-935.

Van Rooij, S., E. Steingröver, J. den Besten & E. van Hooff. (2009). *Water en natuur: natuurlijke partners voor klimaatadaptatie*, H₂O 25/26.

Van Vliet, 2008. *Monitoring, analysing, forecasting and communicating phenological changes*. Wageningen Universiteit, Wageningen.

Van Walsum, P.E.V, P.F.M. Verdonschot and J. Runhaar, 2001. Effects of climate and land-use change on lowland stream ecosystems. Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Bilthoven.

Verhagen, A., M. Blom-Zandstra, P.J. Kuikman, E. den Belder, W.A. Brandenburg, J. Elderson, C.M.L. Hermans, B.F. Schaap, J.J.H. van den Akker, Th.V. Vellinga & C. Waalwijk. 2009. *Naar een klimaatbestendiger landbouw in Nederland : quickscan en agendering van onderzoek*. Nota



/ Plant Research International 613. Wageningen: Plant Research International, Wageningen UR.

Vonk, M., C.C. Vos & D.C.J. van de Hoek, 2010. Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag/Bilthoven.

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

Vos, C.C., M. van der Veen & P.F.M. Opdam. 2006. Natuur en klimaatverandering. Wat kan het natuurbeleid doen?, Wageningen: Alterra.

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

Warren, M.S., J.K. Hill, J.A. Thomas, J. Asher, R. Fox, B. Huntley, D.B. Roy, M.G. Telfer, S. Jeffcoate, P. Harding, G. Jeffcoate, S.G. Willis, J.N. Greatorex-Davies, D. Moss & C.D. Thomas. 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414: 65-69.

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

Witte, J.P.M., 1998. National Water Management and the Value of Nature. PhD-thesis, Agricultural University Wageningen, Wageningen.

Witte, J.P.M., 2004. Statistiek Groot Uitsterven rammelt. *Bionieuws* 2(14): 6.

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

Witte, J.P.M., M. de Haan, B. Raterman & C. Aggenbach, 2006. PROBE – Versie 1: effecten van grondwaterbeheer, atmosferische depositie, maaien en plaggen. Kiwa rapport, Nieuwegein. [in rapport: Witte et al 2006 a, b (pag 38, 39)]



Witte, J.P.M., R.P. Bartholomeus, D.G. Cirkel & P.W.T.J Kamps, 2008.
Ecohydrologische gevolgen van klimaatverandering voor de kustduinen
van Nederland. Kiwa WR rapport KWR 08.006, Nieuwegein.





Bijlage 1: Enkele beschikbare modellen

In deze bijlage bespreken we enkele modellen bij de betrokken onderzoeksgroepen, voor de processen beschreven in de eerste hoofdstukken van dit rapport. Aan bod komen oppervlaktewater en sedimentatie, ecohydrologie, ruimtelijke ecologie en landbouw. Het volgende overzicht van beschikbare modellen is verre van volledig. Voor andere overzichten verwijzen we naar de literatuurlijst aan het eind van deze bijlage:

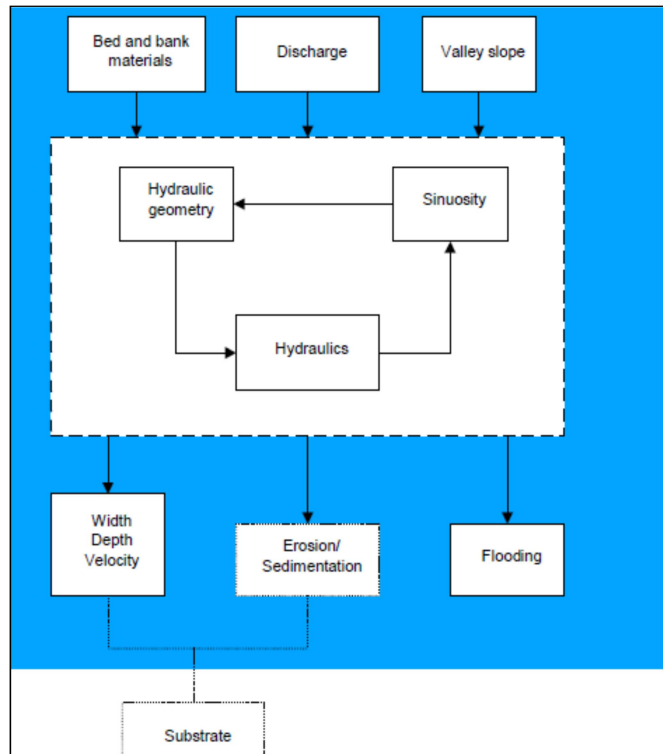
Modellen oppervlaktewater

StreaMES

Het model Stream Morphology Evaluation System (StreaMES; figuur B1.1) koppelt de geomorfologie van beken aan de afvoer. StreaMES beschrijft de hydrologische en morfologische processen van beken in hun 'natuurlijke evenwichtssituatie' op beektrajectniveau en is ontwikkeld om de potenties voor (her)meandering van beken te berekenen. In StreaMES zijn zowel fysische als empirische relaties opgenomen. De modelinvoer bestaat uit maatgevende afvoer, valleihelling en korrelgrootte (D50). De modeluitvoer: sinuositeit, meandergordel, afmetingen, stroomsnelheid, streampower en Q(h)-relatie. Een module voor zandtransport is in ontwikkeling. Het model is toegepast op het stroomgebied van de Beerze (Noord Brabant) en op landelijke schaal. StreaMES is te koppelen met andere modellen. Hiermee is bijvoorbeeld het effect van hermeandering op de grondwaterstandfluctuatie te bepalen. Naast de hydraulische eigenschappen kan men een schatting maken van de breedte van de meandergordel, en zo inzicht krijgen in de benodigde ruimte.



Figuur B1.1 Modelopzet StreaMES



128

Voor het zandgebied van Nederland zijn met het model StreaMES een aantal kenmerken bepaald die van belang zijn binnen het planproces rond hermeandering. Voor de beken zijn kaarten beschikbaar met de gewenste afmetingen, sinuositeit en benodigde ruimte onder de ‘natuurlijke’ of potentiële omstandigheden.

Binnen het zandgebied van Nederland kan de veerkracht van het watersysteem vergroot worden door beekherstel of hermeandering. Door hermeandering neemt de lengte van de beek toe, wordt de afvoer vertraagd, waardoor piekafvoeren die door klimaatverandering toe zullen nemen, beter kunnen worden opgevangen. Daarnaast wordt bij beekherstel de drainagebasis verhoogd, waardoor er een nattere situatie ontstaat in droge perioden, hetgeen de natuur ten goede komt. Beekherstel heeft tevens tot gevolg dat de verblijftijd van water in het beekstelsysteem toeneemt waardoor de mogelijkheden voor kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater toenemen. De potenties voor veilig hermeanderen zijn echter lang niet overal bekend. Op basis van de abiotische factoren in het stroomgebied kan gekeken worden naar de potenties voor hermeanderen en het hiermee samenhangende ruimtebeslag. Hierbij wordt de relatie gelegd tussen de ruimteclaim van een herstelde beek en het grondgebruik/bewoning in de directe omgeving van de beek. De indirecte effecten op de terrestrische ecologie zullen na de koppeling met SIMGRO in de berekende grondwaterstanden tot uiting moeten komen. StreaMES is een tool om beekherstel vooraf te evalueren, waarbij vooral de ruimtelijke ligging en morfologie



Figuur B1.2 Met StreamMES gemodelleerde meander gordel van de Regge met als referentie de meander gordel volgens de geomorfologische kaart van Nederland 1:50.000



van de beek, de potentiële bijdrage aan zowel de veerkracht van het systeem als de verbetering van de waterkwaliteit bekeken kan worden. StreamMES maakt het mogelijk om hermeandering af te stemmen op klimaatverandering

LAPSUS

LAPSUS (Landscape Process modelling at multi-dimensions and Scales) is een landschaps-procesmodel (Schoorl et al. 2002). Aan de hand van een aantal fysische procesbeschrijvingen wordt berekend waar in het landschap erosie en waar in het landschap sedimentatie plaatsvindt. Gradiëntgedreven verplaatsing van water en sediment is het meest belangrijke geomorfologische proces. Aan de hand van het Digitale Hoogte Model (AHN) wordt per gridcel berekend naar welke volgende gridcel het door regenval verkregen water getransporteerd wordt. Dit is altijd van een landschappelijk hogere positie (gridcel) naar de meest nabije lagere positie. Op deze manier ontstaat er een afwateringspatroon dat hellingsafwaarts gestuurd wordt en uiteindelijk convergeert in steeds lager gelegen beek- en rivierlopen. Per gridcel wordt berekend hoeveel sediment er geërodeerd kan worden en bij de volgende, lager gelegen gridcel wordt weer berekend hoeveel sediment er én geërodeerd en weer neergelegd kan worden. Sturend voor de richting waarin sediment verplaatst wordt is het drainagepatroon. De hoeveelheid geërodeerd en gesedimenteerde materiaal wordt geregeld door een aantal sediment transportvergelijkingen gebaseerd op eerder werk van Kirkby en Foster en Meyer (zie Schoorl et al., 2002 voor referenties). Hellingshoek en jaarlijkse hoeveelheid waterafstroming bepalen de transportcapaciteit. In figuur 1 wordt een stroomdiagram van LAPSUS gepre-

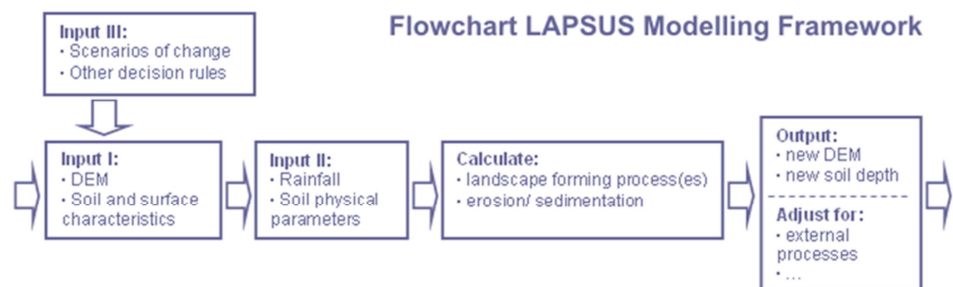


senteerd. In dit stroomdiagram worden de invoergegevens voor LAPSUS schematisch weergegeven.

Bodem, geo(morfo)logie en landgebruik zijn bepalend voor de mate van ero-deerbaarheid van het terrein. In combinatie met oppervlakkige waterafvoer verkregen door regenval en bodemfysische parameters (o.a. P- en K-factoren) wordt zo bepaald waar er in het landschap erosie- en sedimentatieprocessen optreden.

LAPSUS heeft geen geomorfologisch-fluviatieleprocesbeschrijvingen van de bedding zoals lateraal afkalven van oevers, erosie en de uitbouw van oeverwal-len in buitenbochten. Met LAPSUS kan wel de sedimentinflux in het beeksys-teem worden gemodelleerd en de sedimentatie tijdens inundaties. Veranderin-gen in bv. het grondgebruik, de grondwaterstand en het klimaat (neerslag) be-Invloeden deze influx van sediment in het beekstelsysteem en daarmee direct en indirect de morfologie van het beekstelsysteem. De sedimenttransportmodule in StreaMES geeft inzicht in de transportcapaciteit van het beekstelsysteem. Voor de koppeling tussen StreaMES en LAPSUS is het ontwikkelen van een 'sedimen-taanbodmodule' noodzakelijk.

Figuur B1.3 LAPSUS stroomdiagram



LAPSUS is toegepast voor het stroomgebied van de Vecht, waarbij voor deel-stroomgebieden een sedimentbalans is opgesteld. Verandering van het grond-gebruik van akkers in bos is van grote invloed op het sedimentaanbod aan het riviersysteem.

Modellen Natuur - ecohydrologie

Er is een groot aantal ecohydrologische modellen, waarvan in 4.5 al enkele zijn genoemd. Tabel B1.1 geeft een overzicht van de meest gebruikte modellen en hun eigenschappen. Aangegeven is met welke standplaatsfactoren rekening wordt gehouden, en in welke vorm effecten op de vegetatie worden aangegeven. De ruimtelijke resolutie waarop deze modellen in de praktijk zijn toegepast verschilt van enkele vierkante meters tot 250×250 m (Natuurplanner). De modellen SMART2-SUMO2 zijn puntmodellen die de kans op vegetatietypen berekenen, gegeven de verwachte pH, nutriënten (stikstof) en vochtgehalte be-



rekenen en zijn schaalafhankelijk, MOVE4 is gebaseerd op vegetatieopnamen, net als het alternatieve model NTM4.

Tabel B1.1. Overzicht van de hier behandelde modellen met hun eigenschappen. Vet: geïntegreerde modellen of modelcombinaties. Niet vet: procesmodellen waarin deelproces wordt gemodelleerd. De NATUURPLANNER bestaat uit een combinatie van de modellen SMART2, SUMO2 en MOVE4/NTM4. Van het model PROBE bestaat alleen een operationele versie voor de duinen. Dit model wordt echter verder ontwikkeld binnen een opdracht van de drinkwaterbedrijven en Thema 2 van Kennis voor Klimaat.

Model	Vocht		Nutriënten			Zuurgraad/Basenhuishouding	Vegetatie-uitvoer			
	Grondwaterstand	Zuurstofstress	Droogtestress	Voedselrijkdomklasse	P-beschikbaarheid		N-beschikbaarheid ¹	Vegetatiestructuur	Kansrijkdom vegetatietypen	Kansrijkdom plantensoorten
DURAVEG	X							X		
ITORS	X					X			X	
NATLES	X		X	X			X	X	X	
NATUURPLANNER	X				X	X	X	X	X	
NICHE	X			X	X	X	X	X	X	
PROBE	X	X	X		X	X	X	X	X	X
WATERNOOD	X		X	X			X	X	X	

Strikt genomen zou ieder van deze modellen moeten worden toegepast op het schaalniveau van de vegetatieopnamen (in de praktijk vaak 4x4 m). Op dat niveau zijn immers de modelrelaties tussen standplaats en vegetatie afgeleid, bijvoorbeeld tussen gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en vegetatietype of vochtindicatie. Dit schaalniveau impliceert tevens, dat voorspellingen op niveau van individuele plantensoorten (ITORS, NATUURPLANNER) eigenlijk niet goed te verantwoorden zijn.¹ SMART2-SUMO2 berekenen ook de effecten van K, Ca en Mg beschikbaarheid

De keuze welk model of welke modelcombinatie te gebruiken hangt sterk af van de beoogde toepassing. Uit de doelstelling van dit project, het bepalen van effecten van verwachte klimaatveranderingen op waterhuishouding en natuur in een tweetal Gelderse proefgebieden, volgt een aantal eisen waaraan een model moet voldoen.

Het eerste en meest eenvoudige criterium is dat het model geschikt moet zijn voor toepassing in Gelderland, waarbij er in deze studie voor gekozen is de nadruk te leggen op terrestrische en semi-terrestrische systemen. Dat betekent dat een aantal modellen bij voorbaat afvalt. Dat geldt onder meer voor ITORS (Ertsen et al., 1995), dat zich richt op moerasvegetaties in Noord-Holland, en de versies van NICHE en PROBE die specifiek zijn ontwikkeld voor de duinen (Koerselman et al., 1999; Witte et al., 2006).

Een tweede criterium is dat in het model de processen die zullen veranderen onder invloed van het klimaat expliciet worden meegenomen als verklarende



factoren. Daarmee vallen correlatieve modellen, waarbij een directe relatie wordt gelegd met conditionerende factoren, af. Dat geldt in ieder geval DURAVEG (Iwaco, 1996), dat uitgaat van correlatieve verbanden tussen grondwaterstandverloop en vegetatietypen. De voorspellende waarde van dergelijke relaties in zowel ruimte als tijd is beperkt, en het is punt van discussie of in een toekomstig klimaat betreffende vegetatietypen (gesteld dat ze dan nog bestaan) zullen voorkomen bij een identiek grondwaterstandverloop als nu.

Op PROBE na geldt het correlatieve karakter in zekere mate ook voor de andere modellen, omdat ze de vegetatie voorspellen op basis van een karakteristieke grondwaterstand, zoals de Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand of de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand. SMART-SUMO vormt hier ook een uitzondering op. Deze modellen zijn klimaatbestendig gemaakt en ook gekoppeld aan het NHI. In SUMO speelt nu alleen nog de verdamping een rol, de GT doet er niet meer toe.

De grondwaterstand is een indirecte maat voor datgene waar het de planten werkelijk om gaat: de beschikbaarheid in het wortelmilieu van voldoende zuurstof om te respireren en van voldoende vocht om te assimileren. Bij een ander klimaat verandert deze beschikbaarheid, zelfs als de grondwaterstand hetzelfde zou blijven. Bovendien neemt de vraag naar zowel water als zuurstof toe wanneer het klimaat warmer wordt. Zo zullen warmere zomers met meer onweersbuien vaker leiden tot het optreden van zuurstofstress (Bartholomeus et al., 2008, 2010), wat aanzienlijke gevolgen kan hebben voor de vegetatie (Bartholomeus et al., 2010, submitted a,b). Op PROBE na, kunnen de klimaateffecten van zuurstofstress met bestaande modellen niet worden voorspeld. Het effect van droogtestress op de vegetatie zit weer wel in de modellen NATLES en WATERNOOD. Het effect van veranderde mineralisatie en pH door hogere temperaturen en veranderde waterbeschikbaarheid door klimaatverandering is in SMART-SUMO meegenomen.

Van PROBE bestaat momenteel alleen een operationele versie voor de kustduinen. In het kader van twee opdrachten, een van de waterbedrijven en een van Deltares, wordt dit model de komende jaren, in samenwerking met de Vrije Universiteit (afdeling Systeemecologie) verder uitgebouwd en geschikt gemaakt voor pleistoceen Nederland. Bovendien zal binnen de tweede tranche van Kennis voor Klimaat een postdoc aan dit model gaan werken (aanstelling eerste helft 2010). De zuurstofstress en droogtestress wordt door dit model afgeleid uit de uitkomsten van hydrologische modellen. Hiervoor dient het hydrologische model minimaal tijdreeksen van de grondwaterstand te genereren, maar bij voorkeur tijdreeksen van het vochtgehalte en de temperatuur in de wortelzone. Verder kan PROBE desgewenst rekening houden met onzekerheden in de invoer en met de in het model ingebouwde relaties tussen standplaats en vegetatie. Dit is belangrijk omdat de onzekerheid in bijvoorbeeld een berekende grondwaterstand vaak van de zelfde orde of groter is dan de gevoeligheid van vegetatietypen voor de grondwaterstand. Bestaande ecohydrolo-



gische modellen houden geen rekening met onzekerheid, waardoor vaak ten onrechte wordt geconcludeerd dat een natuurdoel niet haalbaar is, of juist erg gemakkelijk haalbaar. Het is als schieten met een kanon op een mug.

De verdere ontwikkeling van PROBE gebeurt verder in drie fasen (Figuur B1.4), waarbij de nadruk ligt op het steeds procesmatiger inbouwen van de bodemchemie (Van den Brink et al., 2010). In de eerste fase wordt gebruik gemaakt van relatief eenvoudige beslisregels voor voedselrijkdom en zuurgraad, zoals opgenomen in WATERNOOD. Dit model is onlangs in opdracht van STOWA ontwikkeld. Een voorloper hiervan, NATLES, is met succes ingezet in de studie Klimaat en Beken om de effecten van klimaatveranderingen in het Beerze-Reuselgebied in Brabant in beeld te brengen (Van Walsum et al., 2001). Voordeel van de inzet van zowel WATERNOOD als het daar gedeeltelijk aan gekoppelde PROBE in deze fase is dat de modelresultaten vergeleken kunnen worden.

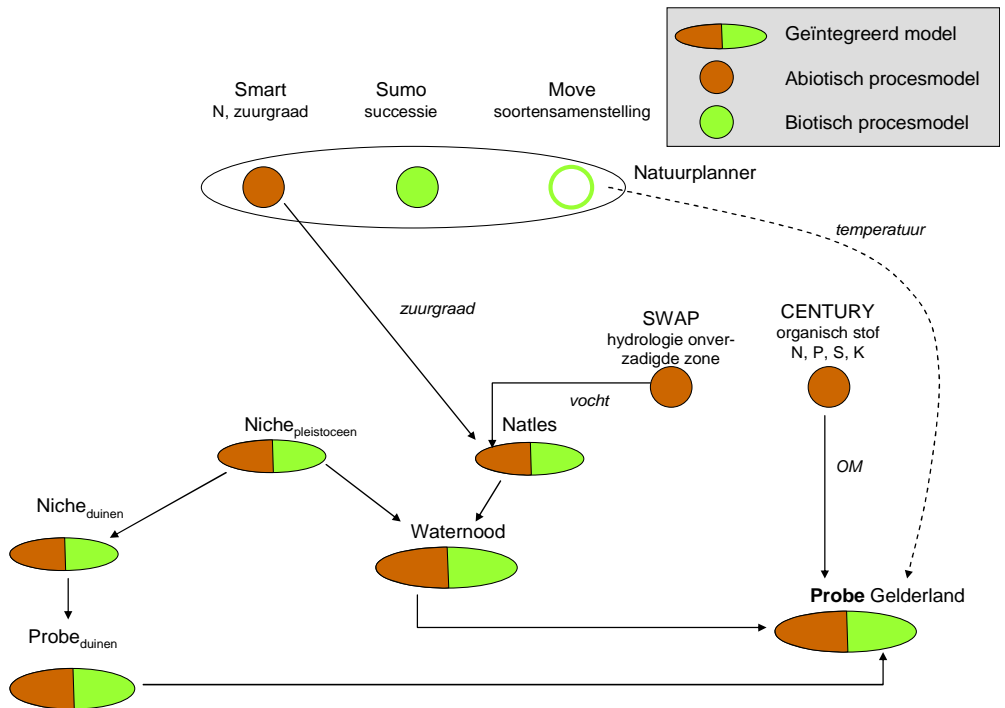
De zwakste schakel in het huidige WATERNOOD is de factor voedselrijkdom. Er wordt nu een directe relatie gelegd tussen vegetatietypen en de conditionerende factoren die bepalend zijn voor de voedselrijkdom en productiviteit van standplaatsen, zoals de minerale samenstelling van de bodem, het organisch stofgehalte, de aard van het organische materiaal, de zuurgraad en de grondwaterstand. Daarbij worden vegetaties en standplaatsen wel geordend naar voedselrijkdom, maar zijn de voedselrijkdomklassen alleen voor graslanden gekwantificeerd naar productiviteit. Deze relaties voldoen mogelijk in het huidige klimaat, maar kunnen als gevolg van temperatuurstijging veranderen. De stikstofbeschikbaarheid op een standplaats is nauw gekoppeld aan de koolstofkringloop. De hoeveelheid en aard van het organische materiaal is bovendien niet alleen een bepalende factor voor de stikstofmineralisatie, maar ook voor de vochtleverantie. Daarom dienen idealiter niet alleen de N- en P-kringlopen, maar ook de C-kringloop te worden gemodelleerd.

In een tweede fase wordt PROBE daarom verbonden met een meer procesmatig model voor de voedselrijkdom. Daarop wordt de eerder genoemde postdoc uit Kennis voor Klimaat ingezet. Probleem is dat er nu geen bodemmodellen zijn waarin zowel P-, N- en C-kringlopen worden gemodelleerd, en waarin tevens rekening wordt gehouden met alle andere factoren die van invloed zijn op die kringlopen (vocht, zuurgraad, redoxpotentialen, temperatuur, koolzuurgehalte). Met het model CENTURY (Parton et al., 1987) kunnen wel gecombineerde P-, N- en C-kringlopen worden gemodelleerd, waarbij rekening wordt gehouden met de interacties tussen organisch stofgehalte, vochtleverantie en plantengroei, maar in dit model wordt geen rekening gehouden met de basenhuishouding. Daarmee wordt een factor die in natuurlijke systemen zeer bepalend is voor zowel bodem- als vegetatiesuccessie, namelijk verzuring, genegeerd. Het model SMART2 (Kros et al., 1995) is wel geschikt om veranderingen in basenhuishouding en zuurgraad te berekenen, maar mist weer een goede fosfaatmodule en heeft een zeer vereenvoudigde koolstofbalans, waarin de hoeveelheid organische stof in de bodem constant wordt verondersteld. Re-



cente verbeteringen aan het model hebben de simulatie van K, Ca en Mg toegevoegd, welke belangrijk zijn voor de simulatie van gewasgroei. Voor een deel van Nederland blijkt dat juist hier tekorten optreden en dat deze elementen de groei bepreken, niet N. Geen van de andere kan hier rekening mee houden. Ook uit recent onderzoek voor Gelderland blijken de basische kationen erg belangrijk te zijn voor een goede ontwikkeling van de vegetatie. Daarnaast zijn de modellen SMART2-SUMO2 klimaatbestendig gemaakt, waardoor ze een uitgebreide nutriëntencyclus kunnen combineren met effecten van temperatuur, neerslag en koolstofdioxide concentratie. Niet alleen door de postdoc, maar ook binnen het KWR-project Standplaats en Vegetatie wordt verkend op welke manier dit soort problemen op langere termijn zouden kunnen worden opgelost. Voor de korte termijn kan mogelijk gebruik worden gemaakt van voorbeeldmodelleringen met modellen als SMART2 en CENTURY om een beeld te krijgen hoe bestaande relaties zullen veranderen en na te gaan hoe groot de mogelijke invloed is op de modeluitkomsten. Als laatste fase gaat geprobeerd worden een dynamisch PROBE te bouwen, dat rekening houdt met de terugkoppeling tussen bodem en vegetatie via onder meer de opbouw en afbraak van organische stof en uitloging. Voordeel van de hier geschetste opzet is dat de modelaanpassing gefaseerd plaats vindt, waarbij wordt begonnen met een werkend model waarmee de belangrijkste klimaateffecten via de waterhuishouding al op een gedetailleerd schaalniveau kunnen worden aangegeven. Daarbij wordt uitgegaan van een relatief simpel model dat zodanig is opgezet dat eenvoudig onderdelen kunnen worden aangepast en vervangen.

Figuur B1.4. Samenhang tussen de hier behandelde modellen. Het in KvK Gelderland te gebruiken model zal worden samengesteld uit onderdelen van verschillende andere modellen. Anders dan in de Natuurplanner wordt het model niet samengesteld door koppeling van afzonderlijke procesmodellen, maar worden procesmodellen gebruikt om de relaties die worden gebruikt in het geïntegreerde model te formuleren





Modellen Natuur - ruimtelijk

Larch

Larch berekent op basis van een kaart met habitatplekken de duurzaamheid van diersoorten (Pouwels et al. 2002). De duurzaamheid wordt bepaald op basis van normen voor oppervlakte en kwaliteit van habitatplekken en de ruimtelijke configuratie in een netwerk. Uitspraken over duurzaamheid worden gebruikelijk gedaan voor netwerken.

De basis van Larch is kennis over oppervlaktebehoefte en dispersievermogen van diersoorten. Normen hiervoor worden gebruikt voor analyse van het habitatnetwerk.

Een habitatkaart is soortspecifiek en bestaat uit gebieden waarvan de habitatkwaliteit wordt uitgedrukt in een getal van 0-1, van ongeschikt tot optimaal. Voor doelsoorten van het Nederlandse natuurbeleid is per natuurdoeltype aangegeven wat de kwaliteit op de schaal van ongeschikt tot optimaal. Die kwaliteit is een maat voor de draagkracht, die varieert dus ook van 0 tot maximaal. Oppervlakte en draagkracht worden gekoppeld aan de soortspecifieke norm voor oppervlaktebehoefte.

Soortspecifieke normen basis van dispersieafstanden worden gebruikt om afstanden tussen habitatplekken te evalueren. Op die manier worden netwerken geïdentificeerd.

Netwerken van lokale populaties, sleutelpopulaties en 'minimum viable populations'.

Larch is ontwikkeld voor evaluaties op landelijke schaal. Normen zijn gebaseerd op situaties zonder klimaatverandering. Voor de ontwikkeling van een nationale adaptatiestrategie voor klimaatrobuuste natuur, is de norm voor sleutelpopulaties bijvoorbeeld verdubbeld. Deze verdubbeling is gebaseerd op de modellering van weersextremen, populaties sterker gaan fluctueren. Hierdoor lopen populaties sneller de kans dat ze uitsterven (Verboom et al. 2010). Grotere populaties zijn dan nodig om duurzaam te kunnen overleven. Dit is één van de manieren om toch een inschatting te maken van kwetsbare plekken in ecologische netwerken bij klimaatverandering (Vonk et al. 2010).

Metaphor

Metaphor is een model voor het simuleren van metapopulatiodynamiek.

Het is dynamisch, stochastisch en ruimtelijk expliciet. Lokale populatiodynamiek is afhankelijk van habitatkwaliteit en er vindt uitwisseling plaats tussen lokale populaties (Vos et al. 2001).

Het model doet uitspraken over de overlevingskansen van metapopulaties van één soort per keer. Er wordt kennis gebruikt over populatiodynamische para-



meters van de soorten (reproductie, overlevingskans, levensduur, oppervlakte behoefte) en kennis over dispersieafstanden.

Recent is Metaphor Shaking Windows ontwikkeld, waarbij effecten van klimaatverandering meegenomen worden. Hierbij verschuift het habitatnetwerk met een zekere snelheid (afhankelijke van het klimaatscenario) naar het noorden. Dit gebeurt 'schoksgewijs', niet geleidelijk.

Dimo

Dimo is een model waarmee de verspreiding van plantensoorten wordt gesimuleerd. Uitgangspunt bij het model is een habitatkaart, waarbij habitat geschikt of ongeschikt is. De huidige verspreiding van een soort is het startpunt voor simulaties. Op basis van het habitatpatroon, dispersievermogen, generatieduur en zaadbank wordt de potentiële verspreiding gesimuleerd. Er wordt rekening gehouden met het type verspreiding: wind, water of dieren en gevoeligheid van deze dispersievector voor barrières.

Het model is dynamisch, met tijdstappen van een jaar, maar het habitatpatroon is gefixeerd. Ook kunnen populaties niet verdwijnen, eenmaal gevestigd kan een populatie niet meer verdwijnen.

Dimo is in principe ontwikkeld voor landelijke analyses. Het model is onder andere gebruikt in een studie naar de rol van Robuuste Verbindingszones bij klimaatverandering (Geertsema et al. 2009).

Smallsteps

Smallsteps is een dispersie model, dat de verspreiding van een populatie van een diersoort in een habitatnetwerk in een heterogeen landschap simuleert. De beweging door het landschap is gebaseerd op een zogenaamde 'correlated random walk' of varianten daarvan. Deze beweging wordt beïnvloed door lineaire en vlakvormige elementen. De output wordt geleverd in statistieken over verspreiding van een populatie over het landschap of in termen van kansen dat een soort in een plek aanwezig is. De eerste vorm van output is relevant bij vragen over doorlaatbaarheid van landschappen en de evaluatie van corridors of barrières. De tweede vorm van output is relevant in een metapopulatiecontext, waarbij de koloniseringskans van geïsoleerde plekken een cruciale parameter vormt.

Smallsteps is onder andere toegepast om de veranderingen in ruimtelijke samenhang door verschuiven van klimaatzones te evalueren (Van Rooij et al. 2007)



Landbouwmodellen

Effecten van klimaatverandering op landbouw zijn modelmatig door te rekenen. Gekwantificeerde effecten (van bijvoorbeeld een langer groeiseizoen of een hogere CO₂ concentratie) kunnen als input dienen voor een simulatiemodel om de opbrengstveranderingen van specifieke gewassen te berekenen. Een model is in feite niets meer dan een systematische en objectieve onderzoeksaanpak op basis van aannames, die de input vormen voor het model.

Het is niet zo dat kant en klare modellen 'op de plank liggen' om 'de effecten van klimaatverandering op landbouw' te geven. Voor iedere specifieke situatie dient het model als het ware opnieuw ontworpen te worden. Vaak kan dit op basis van al bestaande modellen, die als bouwsteen fungeren.

Net als bij de adaptatiestrategieën voor klimaatverandering is voor de beschikbare modellen een indeling te geven naar schaalniveau:

- Gewasniveau, modellen om veranderingen in gewasopbrengsten te bepalen (bv WOFOST en APES)
- Bedrijfsniveau, Farming Systems Simulator (FSSIM,), model ontwikkeld om na te gaan hoe individuele bedrijven zullen reageren op technologische en beleidsmatige ontwikkeling
- Sectorniveau, modellen voor de effecten van beleids- en marktontwikkeling op landbouwsectoren (CAPRI, SEAMCAMP)
- Gebiedsniveau, divers ruimtelijke modellen oa: Risicokaart klimaatextremen Nederlandse landbouw, digitale kaart, te beschouwen als een ruimtelijk model, kan gecombineerd worden met andere ruimtelijke bestanden (bv agrarische concurrentiekracht)

CLUE en Ruimtescanner: modellen voor toekomstig landgebruik, toepassing: aangeven welke veranderingen in landgebruik plaats vinden als gevolg van klimaatverandering en economische ontwikkelingen, doorrekenen van adaptatie scenario's: wat zijn de gevolgen voor landgebruik?

MKBA: Maatschappelijke kosten/baten analyse, bepalen van de kosten en baten van adaptatiemaatregelen kan in vergelijking met het niet nemen van maatregelen.



Agent Based Modelling, model waarbij individuele beslissingen de basis vormen voor landgebruikveranderingen, bottom up benadering voor toekomstig landgebruik.

In het project **AgriADAPT** (Klimaat voor Ruimteproject A19) worden voor een casus Flevoland KNMI klimaatmodellen, modellen vanuit SEAMLESS² en de 'Risicokaart klimaatextremen Nederlandse landbouw' gecombineerd. Met behulp van gewasmodellen (WOFOST, APES), 4 KNMI scenario's en de risicokaart klimaatextremen worden voor in totaal 12 gewassen de (financiële) opbrengsten voor 2050 bepaald. De berekende gewasopbrengsten zijn input voor het model FSSIM dat vervolgens bedrijfsresultaten oplevert. Via een ander spoor worden mbv het model CAPRI scenario's ontwikkeld over hoe bedrijfstypen zich in de toekomst zullen ontwikkelen. Dit is van belang omdat het de context is waarbinnen de klimaatadaptatie plaats zal vinden.

Het project AgriADAPT illustreert dat - afhankelijk van de onderzoeksvraag en doelstelling - verschillende modellen gecombineerd worden. Net als bij ex-ante evaluatie systemen als SEAMLESS en SENSOR is er sprake van een 'framework' waarbinnen verschillende modellen op elkaar worden afgestemd.

Hoewel in het project AgriAdapt klimaateffecten inzichtelijk worden gemaakt, blijven meer sector overschrijdende effecten buiten beschouwing. Het project kijkt vooral naar de effecten op de primaire productie. Cross sectorale effecten tussen landbouw, natuur, water, recreatie etc. blijven buiten beschouwing. Juist voor de hoge zandgronden -met relatief veel kleinschalige en hobbymatige landbouwbedrijven - is het van belang om inzicht te krijgen in cross sectorale effecten. Een van de effecten van klimaatverandering kan zijn dat er meer vraag komt naar 'klimaatdiensten' zoals het tijdelijk opvangen en bergen van water. Het is dan de vraag of dergelijke diensten door boeren of andere ondernemers in het gebied geleverd kunnen worden.

² SEAMLESS-IF is een "System for Environmental and Agricultural Modelling - Integrated Framework", een verzameling van modellen voor integrale ex-ante evaluatie van landbouwbeleid en technologische ontwikkelingen op verschillende schaalniveaus (perceel, bedrijf, regio, EU, wereld). De 'software-infrastructuur' van SEAMLESS richt zich alleen op de grondgebonden landbouw.



Agent Based Modelling biedt in dit verband interessante aanknopingspunten, de methode geeft mogelijkheden om te onderzoeken hoe individuele actoren zich denken aan te passen aan toekomstige veranderingen en hoe kansrijk nieuwe concepten van multifunctionele landbouw zijn

Referenties in Bijlage:

- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, 2008. Critical soil conditions for oxygen stress to plant roots: improvement of the Feddes-function. *Journal of Hydrology* 360: 147-165.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, submitted. Towards a climate-proof relationship between soil moisture conditions and vegetation composition. *Journal of Hydrology*.
- Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam & R. Aerts, submitted. Intensifying interacting water-related stress amplitudes will push endangered plant species over the edge. *Global Change Biology*.
- Comas, J., Llorens, E., Poch, M., Markakis, G., Battin, T., Gafny, S., Maneux, E., Martí, E., Morais, M., Puig, M. A., Pusch, M., Riera, J. L., Sabater, F., Solimini, A. G. and Vervier, P., 2002. The STREAMES Project: Linking heuristic and empirical knowledge into an expert system to assess stream managers. 1st International Conference on Environmental Modelling and Software (iEMSS2002), 3: 444-449.
- Ertsen, A.C.D., J.W. Frens, J.W. Nieuwenhuis & M.J. Wassen. 1995. An approach to modelling the relationship between plant species and site conditions in terrestrial ecosystems. *Landscape and Urban Planning* 31: 143-151.
- Geertsema, W., R.J.F. Bugter, M. van Eupen, S.A.M. van Rooij, T. van der Sluis & M. van der Veen . 2009. Robuuste verbindingen en klimaatverandering, Alterra-Rapport 1886. Wageningen: Alterra.
- IWACO, 1996. Het hydro-ecologische voorspellingsmodel DURAVEG. Notitie 9121000.010.
- Koerselman, W., Meuleman, A.F.M., & De Haan, M.W.A., 1999. Ecohydrologische effectvoorspelling duinen. Standplaatsmodellering in NICHE Duinen. Nieuwegein: Kiwa Water Research.
- Kros, J., G. J. Reinds, W. de Vries, J. B. Latour & M. Bollen, 1995. Modelling of soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology. Wageningen: Winand Staring Centre.
- Parton, W.J., S.S. Schimel, C.V. Cole & D.S. Ojima, 1987. Analysis of factors controlling soil organic-matter levels in great-plains grasslands. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1173-1179.



- Pouwels, R., R. Jochem, M.J.S.M. Reijnen, S.R. Hensen & J.G.M. van der Gref, 2002. LARCH voor ruimtelijk ecologische beoordelingen van landschappen.
- Schoorl, J.M., A. Veldkamp & J. Bouma, 2002. Modelling water and soil redistribution in a dynamic landscape context. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1610-1619.
- Van den Brink, A., 2010. Climate Adaptation for Rural arEas (CARE). Onderzoeksvoorstel Thema 3 Kennis voor Klimaat, Wageningen.
- Van Rooij, S., Baveco, H., Bugter, R., Van Eupen, M., Opdam, P. & Steingröver, E., 2007. Adaptation of the landscape for biodiversity to climate change. BRANCH - Terrestrial case studies Limburg (NL), Kent and Hampshire (UK); Wageningen, Alterra, Green World Research. Annex 4 of Planning for Biodiversity in a changing climate – BRANCH project Final Report, Alterra-report number 1543.
- Verboom, J., P. Schippers, A. Cormont, M. Sterk, C.C. Vos & P.F.M. Opdam, 2010. Population dynamics under increasing environmental variability: implications of climate change for ecological network design criteria. *Landscape Ecology* 25: 1289-1298.
- Vonk, M., C.C. Vos, D.C.J. van de Hoek, 2010. Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag/Bilthoven.
- Vos, C.C., J. Verboom, P.F.M. Opdam & C.J.F ter Braak, 2001. Towards ecologically scaled landscape indices. *The American Naturalist* 183: 24-41.
- Witte, J.P.M., M. de Haan, B. Raterman & C. Aggenbach, 2006. PROBE — Versie 1: effecten van grondwaterbeheer, atmosferische depositie, maaien en plaggen. Kiwa rapport, Nieuwegein.

Voor meer referenties naar ecohydrologische modellen verwijzen we naar:

- Fujita, Y., P. de Ruiter & G.W. Heil, 2007. Integrated eco-hydrological modeling of fens: a brief review and future perspectives. In Okruszko et al.(Eds.), *Wetlands: Monitoring, Modelling and Management* (pp.161-164), Taylor & Francis Group, London.
- Olde Venterink, H. & M.J. Wassen, 1988. A comparison of six models predicting vegetation response to hydrological habitat change. *Ecological Modelling* 101: 347-361.
- Van Baalen, S.J.A., F.J. van Stoppelenburg & A.V. Garritsen, 1997. Kennisinstrument Instrumentarium Verdrogingsbestrijding. NOV-rapport 13-1. Kninklijke Vermande BV, Lelystad.
- Van Bodegom, P.M., S.C. Dekker, M. Wassen & J.P.M. Witte, 2009. Geen adaptiestrategie zonder een klimaatbestendige ecohydrologie. Een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden om de biodiversiteit in Nederland onder een ander klimaat te voorspellen. Stichting Kennis voor



Klimaat, KvK rapportnummer KvK 005/09, ISBN 978-94-90070-05-2, Utrecht.

Witte, J.P.M., J. Runhaar & R. van Ek, 2008. Ecohydrological modelling for managing scarce water resources in a groundwater-dominated temperate system. In: Harper, D., M. Zalewski, E. Jorgensen & N. Pacini (eds.), *Ecohydrology: Processes, Models and Case Studies*, p. 88-111. CABI Publishing, Oxfordshire, UK
Bartholomeus, R.P., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom & J.C. van Dam, 2010. Nieuwe maat voor bodemvochtregime ook geschikt onder toekomstig klimaat. *H2O* 3: 37-39.





Bijlage 2: Deelnemers workshops 2 studiegebieden

Workshop 1. Formuleren specifieke vragen

143

Baakse Beek (15 april 2010)

Micha van Aken	Vitens
Anouk Cormont	Alterra
Willem Drok	Provincie Gelderland
Willemien Geertsema	Alterra
Laurens Gerner	Waterschap Rijn en IJssel
Jurjen Moorman	Waterschap Rijn & IJssel en Provincie Gelderland (trekker gebiedsproces Baakse Beek-Veengoot)
Han Runhaar	KWR
Teun Spek	Provincie Gelderland, regio Achterhoek Liemers (projectleider Hotspot project)
Claire Vos	Alterra
Flip Witte	KWR

Blauwe Bron (19 april 2010)

Jeroen Beuseke	Oranjewoud gedetacheerd bij Waterschap Veluwe
Jolijn van Engelenburg	Vitens
Willemien Geertsema	Alterra
Bert Kiljan	Provincie Gelderland (trekker gebiedsproces Epe-Vaassen)
Han Runhaar	KWR
Teun Spek	Provincie Gelderland, regio Achterhoek Liemers (projectleider Hotspot project)
Eveliëne Steingröver	Alterra
Flip Witte	KWR



Workshop 2. Aanvullen en nuanceren van de vragen en (her)formuleren vragen over integratie van adaptatie voor water, natuur en landbouw

Baakse Beek (21 juni 2010)

Micha van Aken	Vitens
Annelies Blankena	SBB en Natuurmonumenten
Willem Drok	Provincie Gelderland
Willemien Geertsema	Alterra
Laurens Gerner	Waterschap Rijn & IJssel
Jan ten Have	Recreatieschap Achterhoek en Liemers
Harry Huiskens	DLG
Joost de Koning	Gelderse Particuliere Grondbezitters
Arie Koster	Waterschap Rijn & IJssel
Hille Kraak	LTO Noord
Jurjen Moorman	Provincie Gelderland en Waterschap Rijn & IJssel (trekker gebiedsproces Baakse Beek Veengoot)
Nicole Olland	Provincie Gelderland
Teun Spek	Provincie Gelderland (regiobureau Achterhoek en Liemers, projectleider KvK hotspot project)
Eveliëne Steingröver	Alterra
Flip Witte	KWR

Blauwe Bron (21 juni 2010)

Hans van Bolderen	Gemeente Epe
Willem Drok	Provincie Gelderland
Jolijn van Engelenburg	Vitens
Willemien Geertsema	Alterra
Bert Kiljan	Provincie Gelderland (trekker gebiedsproces Epe Vaassen)
Anton Koot	Waterschap Veluwe
Henk Posthuma	Gemeente Epe
Greanne Schenkel	LTO
Peter Smits	Stichting Veluwe Sprengen & Beken
Teun Spek	Provincie Gelderland (regio Achterhoek Liemers, projectleider hotspot project)
Eveliëne Steingröver	Alterra
Jan-Olaf Tjabringa	Bekenstichting
Marjan Visscher	Het Geldersch Landschap
Flip Witte	KWR



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

