



Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050

Een verkenning van effecten en adaptatiemogelijkheden

Bart Makaske en Gilbert Maas



ALTEERRA
WAGENINGEN UR

Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050

Een verkenning van effecten en adaptatiemogelijkheden

Bart Makaske en Gilbert Maas

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Water' (projectnummer BO-11-002.02-008)

Alterra Wageningen UR
Wageningen, november 2013

Alterra-rapport 2484
ISSN 1566-7197

Makaske, B. en G. Maas, 2013. *Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050; Klimaatverandering en riviernatuur in de periode 2015-2050; Een verkenning van effecten en adaptatiemogelijkheden..* Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2484. 56 blz.; 25 fig.; 11 tab.; 39 ref.

In dit rapport worden de directe en indirecte effecten van klimaatverandering op de natuur in de uiterwaarden van de Nederlandse Rijntakken verkend, alsmede de adaptatiemogelijkheden. De verkenning betreft de periode 2015-2050. Er wordt achtereenvolgens aandacht besteed aan de verwachte veranderingen in hydrodynamiek en morfodynamiek van het riviersysteem, eerdere ecologische studies naar de effecten van klimaatverandering op riviernatuur, de gevolgen van frequentere en langere laagwaterperioden op verschillende uiterwaardecosystemen en de mogelijkheden om hoogwateradaptatiemaatregelen te combineren met een groot areaal riviernatuur. Aansluitend worden de contouren van een adaptatiestrategie geschetst die erop gericht is de veerkracht van riviernatuur te vergroten, om de klimaatverandering beter op te kunnen vangen. Omdat de Nederlandse Rijntakken ieder hun eigen natuurlijke kwaliteiten, mogelijkheden en beperkingen hebben, wordt aanbevolen om voor iedere riviertak een specifieke adaptatiestrategie te ontwikkelen.

Trefwoorden: Klimaatverandering, riviernatuur, adaptatiemaatregelen, Rijntakken, ecotopen, veerkracht.

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

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

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

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

Alterra-rapport 2484 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Laagwater in de Waal in november 2009 (foto: Bart Makaske)

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Klimaatscenario's en veranderingen in hydrodynamiek en morfodynamiek langs de grote rivieren	11
	2.1 Klimaatscenario's	11
	2.2 Veranderingen in hydrodynamiek	12
	2.3 Veranderingen in morfodynamiek	14
	2.4 Conclusies	16
3	Eerdere studies naar de effecten van klimaatverandering op riviernatuur	17
	3.1 Inleiding	17
	3.2 Ecosystemen en soortengroepen	17
	3.3 Rivierecotopen	18
	3.4 Aquatische rivierecotopen	19
	3.5 Soortenrijkdom	20
	3.6 Conclusies	20
4	Verkenning van de effecten van langdurige droogteperioden op riviernatuur	21
	4.1 Inleiding	21
	4.2 Inschatting van de effecten van periodiek langdurig laagwater op doelecotopen	22
	4.2.1 Rivier- en grondwaterstandsdynamiek in en langs de Waal	22
	4.2.2 Effecten van langdurig laagwater in de Waal op doelecotopen	24
	4.2.3 Rivier- en grondwaterstandsdynamiek in en langs de IJssel	26
	4.2.4 Effecten van langdurig laagwater in de IJssel op doelecotopen	29
	4.3 Kwantitatieve analyse van de gevoeligheid van doelecotopen voor droogtestress	30
	4.4 Conclusies	31
5	Verkenning van de effecten van toekomstige hoogwateradaptatiemaatregelen op riviernatuur	37
	5.1 Inleiding	37
	5.2 Boven-Rijn	38
	5.3 Waal	38
	5.4 Pannerdensch Kanaal	40
	5.5 Nederrijn-Lek	40
	5.6 IJssel	41
	5.7 Conclusies	43
6	Strategieën om riviernatuur klimaatbestendiger te maken	45
	6.1 Inleiding	45
	6.2 Nationale en internationale klimaatadaptatie-strategieën voor riviernatuur	45
	6.3 Adaptatiemaatregelen in het rivierengebied	47
	6.4 Riviertakspecifieke strategieën	48
	6.5 Conclusies	49

7	Conclusies en aanbevelingen	51
7.1	Conclusies	51
7.2	Aanbevelingen	52
Literatuur	54	

Woord vooraf

Dit rapport geeft de resultaten weer van het onderzoek 'Gevolgen van klimaatverandering voor riviernatuur(doelen)' dat is verricht in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het BO-onderzoeksprogramma (thema Water). Het project begon in 2009 als driejarige studie, maar werd eind 2010 afgebroken wegens verschuivende prioriteiten in het BO-programma. Recentelijk werd het thema klimaatverandering en riviernatuur opnieuw actueel, vanwege het formuleren van de Natuurambitie Grote Wateren door het ministerie van Economische Zaken (EZ), Directoraat-Generaal Natuur en Ruimte (DGNR). Dit was de aanleiding om dit rapport te laten verschijnen.

Een aantal personen heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de totstandkoming van deze studie: Leen Kool (EZ-Directie Regio & Ruimtelijke Economie, voorheen werkzaam bij LNV-Directie Regionale Zaken Oost) die de studie initieerde en als opdrachtgever optrad, Wim Viveen (Alterra) die een eerste literatuuronderzoek verrichte, Claire Vos (Alterra) die informatie gaf over klimaatadaptatie en ecologische netwerken, Patrick Hommel (Alterra) die ecologische expertkennis inbracht over de effecten van periodiek langdurig laagwater op rivierecotopen, Wieger Wamelink en Joep Frissel (Alterra) die ons hielpen de kwetsbaarheid van rivierecotopen voor veranderende grondwaterstanden te bepalen en Jos Karssemeijer (EZ-Directie Regio & Ruimtelijke Economie) die dit rapport becommentarieerde. Zij worden allen hartelijk bedankt voor hun hulp.

Samenvatting

De Nederlandse riviernatuur heeft een belangrijke nationale en internationale functie in ecologische netwerken, en om die functie in de toekomst te kunnen waarborgen en versterken is het cruciaal om te weten wat de effecten van klimaatverandering op riviernatuur zijn. Klimaatverandering beïnvloedt riviernatuur min of meer direct, bijvoorbeeld via veranderingen in *hydrodynamiek* en *morfodynamiek*, maar ook meer indirect via *adaptatiemaatregelen* die worden genomen om de genoemde veranderingen in dynamiek op te kunnen vangen. In deze studie zijn beide typen effecten verkend voor de Nederlandse Rijntakken, en is vervolgens gekeken welke adaptatiestrategie voor de Nederlandse riviernatuur nodig is. Riviernatuur is in deze studie opgevat als natuur in de uiterwaarden en is geanalyseerd op het niveau van habitats en ecotopen. De studie richtte zich op de middellange termijn (periode 2015-2050).

Op basis van klimaatscenario's is de verwachting dat de gemiddelde winterafvoer van de Rijn toe zal nemen, dat piekafvoeren hoger zullen worden, dat de gemiddelde zomerafvoer af zal nemen of gelijk zal blijven en dat frequentere en langere laagwaterperioden in de zomer voor kunnen gaan komen. De verwachting voor de morfodynamiek in het riviersysteem is dat deze uiteindelijk niet sterk zal veranderen, al wordt wel een toename van de eolische processen in de oeverzone verwacht.

Riviernatuur is in het algemeen goed aangepast aan dynamiek, en verwacht wordt dat een toename van die dynamiek, zoals voorspeld op basis van klimaatscenario's, geen belangrijke negatieve effecten hoeft te hebben. Het is zelfs goed mogelijk dat grotere hydrodynamiek leidt tot grotere diversiteit en heterogeniteit van de riviernatuur, en daarmee tot grotere veerkracht. Verwacht wordt dat de meeste vegetaties een aanzienlijke tolerantie hebben voor hogere piekafvoeren en hogere gemiddelde winterafvoeren. De effecten van frequentere en langere laagwaterperioden doen zich waarschijnlijk sterker voor, en zouden zich kunnen uiten in kwaliteitsverlies van Essen-Iepenbossen, glanshaverhooilanden, zachthoutoibossen en natte ruigtes. Hierbij geldt dat Essen-Iepenbossen en glanshaverhooilanden extra kwetsbaar zijn omdat zij een relatief lage tolerantie voor de met laagwater gepaard gaande lage grondwaterstanden hebben. Anderzijds zouden Abelen-Iepenbossen, stroomdalgraslanden en oeverzones juist aan kwaliteit kunnen winnen door frequente langdurige laagwaterperioden. In het algemeen geldt dat grote areaalveranderingen niet te verwachten zijn en dat de droogte-effecten ruimtelijk zullen verschillen tussen de boven- en benedenlopen van de Rijntakken. De aanwezigheid van kweldruk in het grondwater kan langs bovenlopen de effecten van laagwater op de riviernatuur mitigeren.

De directe effecten van klimaatverandering op riviernatuur, zoals hierboven geschetst, worden waarschijnlijk verre overtroffen door de effecten van de hoogwateradaptatiemaatregelen die in het licht van klimaatverandering in het Rijnsysteem genomen gaan worden. In de huidige studie is onderzocht in hoeverre het mogelijk is om die hoogwateradaptatiemaatregelen, gericht op het accommoderen van een toekomstige maatgevende Rijnafvoer van 18000 m³/s, te combineren met een groot areaal aan riviernatuur. Een aanzienlijke areaaluitbreiding van riviernatuur blijkt alleen mogelijk wanneer die areaaluitbreiding voor het overgrote deel bestaat uit natuurlijke graslanden. Er is in de nieuwe situatie nauwelijks ruimte voor natuurlijke successie van uiterwaardvegetaties. Dit houdt in dat de huidige Natura 2000- en EHS-ambities vragen om extra maatregelen, in aanvulling op de rivierkundige klimaatadaptatiemaatregelen die nodig zijn om het Rijnsysteem geschikt te maken voor de hogere piekafvoeren, om ruimte te scheppen voor gevarieerde natuur en de daarmee geassocieerde vegetatiesuccessie.

Een klimaatadaptatiestrategie voor Nederlandse rivierengebied moet rekening houden met de bijzondere positie van de Nederlandse riviernatuur in nationale en internationale ecologische netwerken. Een uitgangspunt moet *systeemherstel* zijn, waarbij het beleid zich moet richten op het beter laten functioneren van ecosystemen door het creëren van de juiste abiotische condities. Het soortengerichte beleid doet geen recht aan de dynamiek van rivierecosystemen en de verwachte

veranderingen daarin. In een veranderend klimaat is het verder belangrijk om de *veerkracht* van rivierecosystemen op peil te houden of te vergroten. Dit betekent dat maatregelen gericht moeten zijn op: (1) *het vergroten van natuureenheden*, (2) *het verbinden van natuureenheden*, en (3) *het vergroten van de heterogeniteit* binnen natuureenheden. De eerste twee punten houden in dat de voltooiing van de EHS en de uitbreiding van Natura 2000-gebieden in het rivierengebied de prioriteit moeten krijgen. Waar mogelijk moeten maatregelen gericht op het vergroten van de veerkracht van riviernatuur gecombineerd worden met maatregelen gericht op het vergroten van de hoogwaterveiligheid. De hieronder gegeven voorbeelden van maatregelen die de veerkracht vergroten dragen voor een belangrijk deel ook bij aan grotere hoogwaterveiligheid.

- Dijkverleggingen kunnen leiden tot grotere eenheden riviernatuur met een grotere laterale diversiteit aan milieus en dus een grotere heterogeniteit. Bovendien ontstaat er in bredere uiterwaarden meer ruimte voor vegetatiesuccessie.
- Verbindingen kunnen hersteld worden door het wegnemen of passeerbaar maken van barrières tussen het uiterwaardecosysteem en aangrenzende ecosystemen, bijvoorbeeld in beekdalen of op stuwallen, zodat interessante ecologische gradiënten ontstaan.
- Het binnendijks realiseren van laag-dynamische natte natuur kan bijdragen aan het realiseren van grotere natuureenheden en bovendien buitendijks meer ruimte scheppen voor dynamischer natuurtypen. In sommige gevallen kunnen binnendijks kwelsituaties benut worden waardoor laag-dynamische natte natuur minder kwetsbaar is bij langdurige droogte en laagwater.
- Ingrepen zoals het verwijderen van zomerkades en oeverbestorting kunnen lokaal natuurlijke morfodynamische processen meer ruimte geven en zo de heterogeniteit vergroten.
- Cyclisch beheer, mits goed uitgevoerd, kan ook leiden tot grotere heterogeniteit doordat ruimtelijke diversiteit in successiestadia ontstaat.
- Uiterwaardverlagingen en aanleg van nevengeulen kunnen successie en morfodynamiek stimuleren, maar moeten zo worden uitgevoerd dat ze niet leiden tot verlies van bestaande heterogeniteit, omdat bijvoorbeeld waardevol reliëf en bijbehorende ruimtelijke substraatvariabiliteit verloren gaat.

Omdat de Nederlandse Rijntakken ieder hun eigen natuurlijke kwaliteiten, mogelijkheden en beperkingen hebben, wordt aanbevolen om *riviertakspecifieke adaptatiestrategieën* te ontwikkelen. Om uiterwaardoverstijgende strategieën goed tot hun recht te laten komen lijkt het nodig om beheerseenheden in het rivierengebied te ontsnipperen.

Het combineren van een vergroting van de hoogwaterveiligheid en een vergroting van de veerkracht van de riviernatuur in het licht van klimaatverandering is geen eenvoudige opgave. Integrale afwegingen en strategische keuzes per riviertak, gericht op synergie van natuur en veiligheid, zijn essentieel om te komen tot een Nederlands riviersysteem dat optimaal is toegerust om de gevolgen van klimaatverandering op te kunnen vangen.

1 Inleiding

Het Nederlandse rivierengebied is een landschap dat zich kenmerkt door grote dynamiek. In de eerste plaats is de *hydrodynamiek* van variabele rivierafvoeren en waterstanden van groot belang voor de ontwikkeling van het landschap. Zo is de ontwikkeling van de vegetatie in een uiterwaard afhankelijk van de frequentie en duur van overstromingen en laagwaterperioden. Daarnaast wordt het rivierenlandschap beïnvloed door *morfodynamiek*: in de loop der jaren slibben uiterwaarden op, verzanden nevengeulen en snijdt de rivierbedding zich dieper in. Tot slot wordt landschapsdynamiek in het rivierengebied ook veroorzaakt door menselijke ingrepen van verschillende aard en intensiteit: oobossen worden gekapt en uiterwaarden worden (periodiek) afgegraven. Deze derde vorm van dynamiek wordt ook wel *beheersdynamiek* genoemd (Rademakers en Wolfert, 1994). Menselijke ingrepen zijn veelal een respons op (veranderingen in) hydro- en morfodynamiek.

De verschillende vormen van dynamiek zijn bepalend voor de kwaliteit van de riviernatuur in Nederland, die een belangrijke plaats inneemt in de nationale ecologische hoofdstructuur (EHS). De Nederlandse riviernatuur is ook van Europees belang en daarom zijn in het kader van Natura 2000 afspraken gemaakt over behoud en versterking van een aantal riviergebonden habitattypen. Het rivierengebied wordt internationaal gezien als één van de belangrijkste Nederlandse landschappen; een substantieel deel van de ecosystemen van laaglandrivieren in Noordwest-Europa ligt in Nederland (Schaminee et al., 2010).

Klimaatverandering werkt in op de verschillende vormen van landschapsdynamiek in het Nederlandse rivierengebied en beïnvloedt zo de ontwikkeling van de riviernatuur (Figuur 1.1) op de middellange en lange termijn. Er is nog weinig bekend over de kwetsbaarheid van de Nederlandse riviernatuur voor veranderende abiotische omstandigheden. Ook is nog onduidelijk hoe klimaateffecten op riviernatuur via gerichte maatregelen beïnvloed kunnen worden. Idealiter kan de riviernatuur 'meebewegen' met klimaatverandering. Het is echter onduidelijk of dit kan en wat daarvoor nodig is.

In dit rapport staan de onderstaande twee vragen centraal.

1. *Hoe zal de Nederlandse riviernatuur zich op de middellange termijn (de periode 2015-2050) gaan ontwikkelen onder invloed van de verwachte klimaatverandering?*
2. *Welke adaptatiestrategie is nodig om het areaal, de kwaliteit en de functie van de Nederlandse riviernatuur in de toekomst op peil te houden?*

Beantwoording van de eerste vraag is belangrijk om in te kunnen schatten hoe de EHS in de toekomst zal functioneren en of Nederland aan de Natura 2000-doelstellingen voor riviernatuur kan blijven voldoen. Wanneer de effecten van klimaatverandering op riviernatuur in beeld gebracht zijn, komt de tweede vraag aan de orde. Deze vraag betreft de beleidsontwikkeling die nodig is om de gevolgen van klimaatverandering voor riviernatuur op te kunnen vangen. Enerzijds zullen wellicht beleidsdoelen op het gebied van riviernatuur moeten worden bijgesteld in het licht van klimaatverandering, anderzijds zal klimaatadaptatiebeleid ook kansen bieden voor riviernatuur, die tijdig moeten worden geïdentificeerd om ze optimaal te kunnen benutten.

In dit rapport wordt beschreven hoe klimaatverandering inwerkt op riviernatuur langs de Nederlandse Rijntakken, en worden bouwstenen voor een op riviernatuur gerichte adaptatiestrategie gegeven. De Maas wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat deze rivier voor een groot deel sterk afwijkende abiotische condities kent. Ook het deel van de Rijntakken waarin een duidelijke getijdenbeweging bestaat (het benedenrivierengebied) wordt buiten beschouwing gelaten. Uitgangspunt in dit rapport is dat klimaatverandering de riviernatuur hoofdzakelijk beïnvloedt via veranderingen in hydro- en morfodynamiek en via menselijke ingrepen, zoals hoogwateradaptatiemaatregelen. Riviernatuur wordt in dit rapport opgevat als natuur in de uiterwaarden (Figuur 1.1) en wordt benaderd op het schaalniveau van ecotopen (Rademakers en Wolfert, 1994) en vegetatietypen; er zal maar beperkt worden ingegaan op individuele soorten.



Figuur 1.1 *Riviernatuur in de Klompenwaard langs de Waal.*

Dit rapport omvat de onderstaande drie onderdelen.

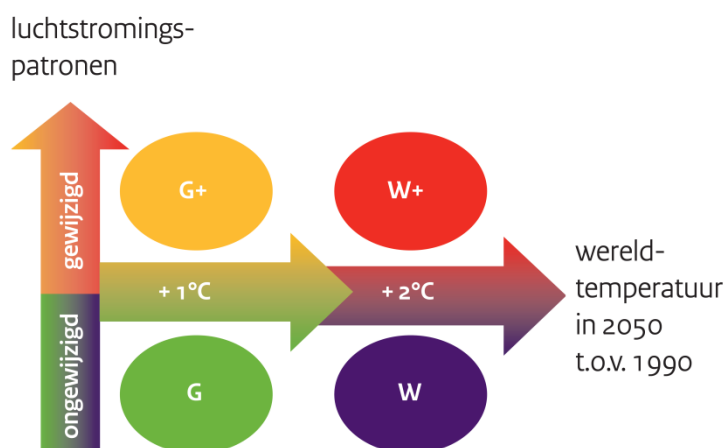
1. *Literatuurstudie van verwachte veranderingen.* In hoofdstuk 2 wordt behandeld hoe de abiotiek van het riviersysteem naar verwachting zal veranderen door klimaatverandering. Uitgangspunt zijn de klimaatscenario's van het KNMI uit 2006. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van enkele eerdere studies van de effecten van klimaatverandering op riviernatuur samengevat.
2. *Analyse van effecten en maatregelen.* Eerdere studies suggereren langdurige perioden van laagwater als mogelijk knelpunt voor de ontwikkeling en het behoud van riviernatuur in de toekomst. Daarom is een analyse van laagwatereffecten op riviernatuur langs de niet-gestuwde Rijntakken uitgevoerd op basis van expertkennis en veldgegevens van hydrologie, vegetaties en ondergrond (hoofdstuk 4). Veranderingen in de grootte en frequentie van piekafvoeren hebben vooral effect op riviernatuur door de hoogwateradaptatiemaatregelen die worden genomen. Door een scenariostudie met de Blokkendoos (een instrument om gecombineerde hydraulische effecten van rivierkundige maatregelen te evalueren) zijn mogelijke maatregelen en hun effect op riviernatuur verkend (hoofdstuk 5).
3. *Adaptatiestrategieën.* In hoofdstuk 6 wordt een overzicht gegeven van recente literatuur over klimaatadaptatiestrategieën en het verhogen van de veerkracht van riviernatuur. In dit hoofdstuk wordt ook uiteengezet welke adaptatiestrategie voor de Nederlandse Rijntakken effectief kan zijn.

2 Klimaatscenario's en veranderingen in hydrodynamiek en morfodynamiek langs de grote rivieren

2.1 Klimaatscenario's

Hoe het klimaat in Nederland precies gaat veranderen is nog onzeker. De beste manier om de verwachte klimaatverandering te beschrijven is in de vorm van scenario's: consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. De recentste complete klimaatscenario's zijn in 2006 door het KNMI uitgebracht (Van den Hurk et al., 2006). In 2009 zijn door het KNMI aanvullingen op deze scenario's gepubliceerd (KNMI, 2009). Hierin zijn de kengetallen voor winter en zomer onveranderd gebleven. De KNMI'06-scenario's gaan uit van twee tendensen: (1) opwarming en (2) een verschuiving van de neerslagverdeling door verandering in luchtstromingspatronen. Aan de hand van deze veranderingen zijn vier scenario's gedefinieerd (Figuur 2.1).

In scenario *Gematigd* (G) neemt de temperatuur in de wereld met gemiddeld 1° C toe en veranderen de luchtstromingspatronen niet. In scenario *Gematigd+* (G+) neemt de gemiddelde temperatuur in de wereld met 1° C toe en veranderen ook de luchtstromingspatronen. In dit scenario neemt in Nederland de hoeveelheid neerslag in de winter toe en in de zomer af. In scenario G neemt de neerslag in de winter en in de zomer met ongeveer eenzelfde percentage toe. In scenario *Warm* (W) neemt de wereldwijde luchttemperatuur met gemiddeld 2° C toe en blijven de luchtstromingspatronen gelijk. In het meest extreme scenario, *Warm+* (W+), neemt de temperatuur met 2° C toe en treedt er ook een verandering in luchtstromingspatronen op. Scenario W betekent voor Nederland een toename van zowel de gemiddelde zomer- als winterneerslag. In beide seizoenen neemt de gemiddelde neerslag sterker toe dan in scenario G. In scenario W+ zijn de verschillen tussen zomer en winter voor Nederland het grootst, door respectievelijk een forse afname en toename van de gemiddelde neerslaghoeveelheid. In alle scenario's neemt de gemiddelde temperatuur in de zomer en in de winter toe. De verschillen tussen zomer en winter blijven echter ongeveer gelijk.



Figuur 2.1 KNMI klimaatscenario's 2006 (KNMI, 2006).

Een overzicht van de veranderingen per scenario is opgenomen in Tabel 2.1. In deze tabel is te zien dat extreme neerslaghoeveelheden in de winter en in de zomer toenemen in alle scenario's. In de

zomer neemt het aantal regendagen echter gemiddeld af in alle scenario's. Het windregime zal naar verwachting niet veel veranderen. De tabel geeft ook een indicatie van de absolute zeespiegelstijging per scenario.

Tabel 2.1

Klimaatverandering en zeespiegelstijging voor Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 in vier verschillende klimaatscenario's (KNMI, 2006).

Klimaatscenario	G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging (in °C)	+1	+1	+2	+2
Verandering in luchtstromingspatronen	nee	ja	nee	ja
<i>Winter</i>				
Gemiddelde temperatuur (in °C)	+0,9	+1,1	+1,8	+2,3
Koudste winterdag per jaar (in °C)	+1	+1,5	+2,1	+2,9
Gemiddelde neerslaghoeveelheid (in %)	+4	+7	+7	+14
Aantal natte dagen (≥ 0.1 mm neerslag) (in %)	0	+1	0	+2
10-daagse neerslagsom met overschrijding eens in de 10 jaar (in %)	+4	+6	+8	+12
Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar (in %)	0	+2	-1	+4
<i>Zomer</i>				
Gemiddelde temperatuur (in °C)	+0,9	+1,4	+1,7	+2,8
Warmste zomerdag per jaar (in °C)	+1	+1,9	+2,1	+3,8
Gemiddelde neerslaghoeveelheid (in %)	+3	-10	+6	-19
Aantal natte dagen (≥ 0.1 mm neerslag) (in %)	-2	-10	-3	-19
Dagsom van de neerslag met overschrijding eens in de 10 jaar (in %)	+13	+5	+27	+10
Potentiële verdamping (in %)	+3	+8	+7	+15
Absolute zeespiegelstijging (in cm)	15-25	15-25	20-35	20-35

2.2 Veranderingen in hydrodynamiek

Voor de huidige studie is het relevant om na te gaan hoe deze klimaatveranderingen doorwerken op het riviersysteem, vooral op de afvoer en de waterstanden. Voor de Rijn is een aantal studies beschikbaar waarin deze vertaalslag gemaakt is. De meest recente studie is die van Beersma et al. (2008), die, samen met andere publicaties, de wetenschappelijke basis gevormd heeft voor het werk van de Deltacommissie. Hierin is een aantal hydrologische karakteristieken van de Rijn als uitgangspunt genomen: (1) de jaarlijkse gemiddelde afvoer wordt bepaald door de hoeveelheid en verdeling van neerslag en verdamping in het stroomgebied; (2) voor de Nederlandse Rijn is de late zomer het belangrijkste laagwaterseizoen, waarbij de hoge verdamping in de zomer een belangrijke rol speelt; (3) hoogwater komt vooral in de winter en in het begin van de lente voor, extreem hoge afvoeren alleen in de winter (Figuur 2.2). Het sneeuwseizoen in het bovenste deel van het stroomgebied is een belangrijke factor, omdat de neerslag die als sneeuw valt vertraagd bijdraagt aan de Rijnafvoer. De afvoerverdeling van de Rijn in de winter is dus sterk afhankelijk van de grootte van het gebied waarin sneeuw valt en de duur van het sneeuwseizoen. Temperatuurverandering kan op dit punt tot grote verschuivingen leiden.

Toepassing van KNMI'06-scenario's in afvoermodellen leiden tot de volgende conclusies (Beersma et al., 2008).

- De gemiddelde winterafvoer zal toenemen, terwijl de gemiddelde zomerafvoer zal afnemen of gelijk zal blijven (Tabel 2.2).
- Piekafvoeren zullen hoger worden (Tabel 2.3). Echter de hydraulische eigenschappen van de Rijn in Duitsland beperken voorlopig de maximale afvoer die Nederland kan bereiken tot ca. 17.500 m³/s. Bij hogere afvoeren zullen overstromingen in Duitsland plaatsvinden, waardoor de piek afvlakt.



Figuur 2.2 Overstroomde uiterwaarden bij hoogwater in de winter.

Querner et al. (2011) kwamen op basis van een hydrologische modellering tot de conclusie dat de KNMI'06-scenario's zich vertalen in lagere Rijnaflowen in de zomer en bovendien een substantieel langere duur van perioden met lage afvoer.

Na afronding van het Ruimte voor de Rivier-project in 2015 zal het Rijnsysteem in Nederland 16.000 m³/s veilig kunnen afvoeren (Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2007). In het Ruimte voor de Rivier-project wordt ervan uitgegaan dat de maatgevende afvoer in 2100 rond 18.000 m³/s zal liggen. De studie van Beersma et al. (2008) ondersteunt deze aanname (Tabel 2.3) en geeft aan dat ca. 17.500 m³/s Nederland ook daadwerkelijk kan bereiken, als in Duitsland geen aanvullende beschermingsmaatregelen worden genomen. De maatregelen die nodig en mogelijk zijn om 18.000 m³/s veilig te kunnen afvoeren zijn geschetst in de Langetermijnvisie PKB (Demon en Alberts, 2005). Een verdere verkenning is uitgevoerd door Silva en Van der Linden (2008).

Tabel 2.2

Gemiddelde Rijnaflow (m³/s) waargenomen aan het einde van de twintigste eeuw, en projecties voor 2050 en 2100 op basis van de KNMI'06-klimaatsscenario's en een neerslag-afvoermodel (Beersma et al., 2008).

	1968-1998	2050	2100
Gemiddelde zomerafvoer (m ³ /s)	1700	1100 – 1700	700 – 1700
Verandering in gemiddelde zomerafvoer (%)		-35 – 0	-60 – 0
Gemiddelde winterafvoer (m ³ /s)	2750	2950 – 3200	3100 – 3600
Verandering in gemiddelde winterafvoer (%)		+5 – +15	+15 – +30

Tabel 2.3

Schattingen van de piekafvoer van de Rijn in 2050 en 2100 op basis van de KNMI'06-klimaatsscenario's en neerslag-afvoermodellen. De referentiewaarde is de maatgevende afvoer (1/1250 jaar) bij Lobith (Beersma et al., 2008).

	Referentiewaarde	2050	2100
Piekafvoer (m ³ /s)	16.000	16.500 – 19.000	17.000 – 22.000
Verandering (%)		3 – 19	6 – 38

De bovenstaande bevindingen voor de Rijn in nationale studies sluiten aan bij ontwikkelingen die gerapporteerd worden in de internationale literatuur. Pfister et al. (2004) beschrijven op basis van literatuuronderzoek een toename van de winterse neerslaghoeveelheid en -intensiteit in de stroomgebieden van Rijn en Maas in de tweede helft van de 20^e eeuw, die waarschijnlijk te wijten is aan een toegenomen westelijke atmosferische circulatie. Dit heeft over deze periode al geleid tot hogere piekafvoeren. Voor de 21^e eeuw verwachten zij een verdere toename van piekafvoeren op basis van de uitkomsten van grootschalige atmosferische circulatiemodellen (GCM's) die toenemende winterneerslag voorspellen, waarbij de Rijn geleidelijk zal veranderen van een regen-/smeltwaterriever in een hoofdzakelijk door regenwater gevoede rivier.

Op basis van de KNMI'06-scenarios wordt door Van den Hurk et al. (2006) een wereldwijde zeespiegelstijging van 15-35 cm voor 2050 verwacht (Tabel 2.1). Als een gemiddelde bodemdaling van 5 cm over de periode tot 2050 wordt meegenomen betekent dit voor Nederland een relatieve zeespiegelstijging (ten opzichte van het land) van 20 tot 40 cm. Over de afgelopen 100 jaar is een relatieve zeespiegelstijging van ongeveer 20 cm gemeten. De schatting van Van den Hurk et al. (2006) houdt dus een versnelling van de zeespiegelstijging in. De Deltacommissie hanteert voor 2050 de schattingen van Van den Hurk et al. (2006), maar heeft voor 2100 een onderzoek laten doen naar de bovengrens van de te verwachten relatieve zeespiegelstijging (Katsman et al., 2008). De bovengrens die plausibel geacht werd bedraagt 0,65 tot 1,30 m. Zeespiegelstijging heeft grote invloed op de benedenloop van rivieren; het zorgt onder andere voor hogere rivierstanden (onafhankelijk van de rivierafvoer) en meer sedimentafzetting nabij de riviermonding.

2.3 Veranderingen in morfodynamiek

De huidige morfodynamiek langs de grote rivieren wordt beschreven door Kater et al. (2012), en is een belangrijke sturende factor in vegetatieontwikkeling. De oeverzone kenmerkt zich door grote morfodynamiek, waarbij gedacht moet worden aan afzetting van zand op rivierstranden en de oevers (Figuur 2.3), rivierduinvorming en vorming van steilranden door oeverafslag. In de uiterwaardvlakte is de morfodynamiek veel kleiner en is afzetting van een dunne laag slib tijdens hoogwater het dominante proces.

Hoe zal de morfodynamiek langs de grote rivieren zich in de toekomst ontwikkelen? In ieder geval lijkt het aannemelijk dat eolische processen in de uiterwaard belangrijker zullen worden, als in de toekomst de gemiddelde zomerafvoeren van de Rijn omlaag gaan (Tabel 2.2). Onder deze condities zullen langdurig brede rivierstranden droogvallen, waardoor zand kan opstuiven dat op de oevers accumuleert in rivierduinen (Figuur 2.4). Over hoe het proces van uiterwaardsedimentatie, zowel op de oevers als in de uiterwaardvlakte, zich in de toekomst zal ontwikkelen lopen de meningen uiteen. Dit komt omdat behalve klimaatverandering ook andere langetermijn-ontwikkelingen dit proces beïnvloeden. Een belangrijke factor is hoe het landgebruik in het stroomgebied van de Rijn zich zal gaan ontwikkelen.

Klimaatverandering leidt tot meer bodemerosie op hellingen in het stroomgebied, door meer neerslag en een hogere neerslagintensiteit, en hogere afvoeren waarbij uiterwaarden onderlopen en sediment afgezet kan worden. De verwachte *veranderingen in landgebruik* in het stroomgebied, ten gevolge van socio-economische ontwikkelingen, leiden juist tot minder bodemerosie. Afhankelijk van de inschatting van het belang van veranderingen in landgebruik ten opzichte van de effecten van klimaatverandering zijn verschillende voorspellingen mogelijk van uiterwaardsedimentatie in de toekomst. Hieronder zullen enkele van deze voorspellingen worden besproken.

Middelkoop (1997) verwachtte op basis van scenariostudies dat de sedimentatiesnelheden op uiterwaarden met een factor 1,5 tot 2 zouden kunnen toenemen door klimaatverandering. Hij gaf hierbij wel aan dat veranderingen in landgebruik zouden kunnen leiden tot lagere sedimentconcentraties in het Rijnwater en daardoor tot een aanzienlijk beperktere toename van de sedimentatiesnelheden. Asselman (1997) verwachtte dat door tegengestelde effecten van klimaatverandering en veranderingen in landgebruik dat de jaarlijkse sedimentlast van de Rijn ongeveer gelijk zou blijven. Door toenemende overstromingsfrequentie van uiterwaarden verwachtte

zij echter een toename van de sedimentatiesnelheden in uiterwaarden van 20% of meer. In een latere modelstudie (Asselman et al., 2003) werd een afname van de sedimentlast bij afvoeren tussen 2000 en 7500 m³/s verwacht en, op basis hiervan, een afname van 15% voor het jaar 2100 van de sedimentatiesnelheden in relatief lage uiterwaarden (de gemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith is ~2300 m³/s; bij een afvoer van ~4000 m³/s lopen de laagste delen van uiterwaarden onder). Voor relatief hoge uiterwaarden die pas inunderen bij afvoeren hoger dan 7500 m³/s werd geen verandering in sedimentatiesnelheid verwacht. Op basis van modelberekeningen voor enkele uiterwaarden langs de Waal voorspelde Thonon (2006) voor 2050 weinig verandering in sedimentatiesnelheid, waarbij hij behalve klimaatverandering en veranderingen landgebruik in het stroomgebied ook veranderingen in uiterwaardinrichting in zijn berekeningen meenam. Wel wees de studie op een verandering in de kwaliteit van het afgezette sediment, in de vorm van een toename van het aandeel slib en zware metalen.



Figuur 2.3 Zandafzetting op de oevers van de Waal.

Er is nog een andere factor van invloed op de ontwikkeling van uiterwaardsedimentatie in de toekomst, namelijk de veranderende hoogteligging van de uiterwaarden ten opzichte van het zomerbed van de rivier. Hobo et al. (2010) stelden een afname van de uiterwaardsedimentatiesnelheid over de laatste decennia vast. Zij weten deze trend aan een afnemende overstromingsfrequentie van de uiterwaarden door: (1) steeds hoger opslibbende uiterwaarden en (2) voortgaande insnijding van het zomerbed, die ongeveer 1 tot 3 cm/jaar bedraagt (Ten Brinke, 2005; Sieben, 2009). De afnemende overstromingsfrequentie zou een eventuele trend van toenemende sedimentatiesnelheid ten gevolge van klimaatverandering teniet kunnen doen.



Figuur 2.4 Een rivierstrand langs de Waal, van waaruit zand opstuift naar een rivierduin (voorgrond links).

2.4 Conclusies

De verwachte klimaatverandering voor Nederland is beschreven in de vorm van vier scenario's, die zijn gebaseerd op een wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging van 1 tot 2 °C in 2050 ten opzichte van 1990. In alle scenario's nemen extreme neerslaghoeveelheden in de winter en in de zomer toe en neemt het aantal regendagen in de zomer gemiddeld af. De absolute zeespiegelstijging in de scenario's varieert van 15 tot 35 cm.

Met behulp van hydrologische modellen zijn de verwachtingen omtrent klimaatverandering, zoals weergegeven in de scenario's, vertaald in verwachtingen voor de toekomstige afvoercharacteristieken voor de Rijn. Voorspeld wordt dat de gemiddelde winterafvoer toe zal nemen, dat piekafvoeren hoger zullen worden, en dat de gemiddelde zomerafvoer af zal nemen of gelijk zal blijven.

Ondanks de voorspelde veranderingen in hydrodynamiek lijkt het erop dat zich in de toekomst geen spectaculaire veranderingen in de snelheid van uiterwaardsedimentatie gaan voordoen, omdat de effecten van klimaatverandering gecompenseerd of overschaduwd zullen worden door andere langetermijnontwikkelingen in het riviersysteem. Lokaal zouden veranderingen in uiterwaardinrichting, bijvoorbeeld als gevolg van hoogwateradaptatiemaatregelen, wel veranderingen van morfodynamiek in de uiterwaarden kunnen bewerkstelligen. Vooralsnog lijkt een toename van eolische processen in de oeverzone het belangrijkste effect van klimaatverandering op de morfodynamiek langs de grote rivieren.

3 Eerdere studies naar de effecten van klimaatverandering op riviernatuur

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen vier studies naar de effecten van klimaatverandering op (rivier)natuur besproken worden. Deze studies verschillen sterk van elkaar in aanpak en focus, en vullen elkaar daarom goed aan. (1) Vos et al. (2007) hebben een risicoanalyse uitgevoerd van de kwetsbaarheid van de Nederlandse natuur voor klimaatverandering. Deze studie was niet speciaal gericht op riviernatuur, maar behandelt alle belangrijke ecosystemen, waaronder het rivierenlandschap, als onderdelen van een nationaal ecologisch netwerk. (2) Haasnoot et al. (2002) hebben een studie uitgevoerd naar de effecten van klimaatverandering op rivierecotopen. Verandering in hydrodynamiek was hierbij de belangrijkste invalshoek. (3) Besse-Lototskaya et al. (2008a, 2008b) hebben de effecten van klimaatverandering op de ecologie van uiterwaardplassen onderzocht. (4) De studie door Peters (2008) geeft op soortenniveau een overzicht van de natuurwaarden voor de Nederlandse rivieren en de trends over de laatste decennia, die voor een deel geweten worden aan klimaatverandering.

3.2 Ecosystemen en soortengroepen

In hun studie hebben Vos et al. (2007) met betrekking tot de respons op klimaatverandering verschillende soortengroepen van dieren en planten onderscheiden. Responsgroep I wordt gevormd door koudeminnende soorten die in aantallen achteruit zullen gaan en op den duur eventueel zullen verdwijnen uit Nederland. Responsgroep II bestaat uit warmteminnende soorten die juist op zullen rukken. De responsgroepen III en IV bestaan uit, respectievelijk, soorten die weersextremen slecht verdragen en soorten die een lage potentiële groeisnelheid hebben. Ecologische verbindingen zijn cruciaal wanneer het gaat om klimaatverandering: soorten moeten kunnen migreren naar nieuwe leefgebieden om te kunnen overleven. Omdat rivieren en hun oeverzones van nature al ecologische verbindingen zijn waarlangs zuid-noord-migratie mogelijk is, verkeren rivierenlandschappen al in een relatief gunstige uitgangssituatie met betrekking tot klimaatverandering.

In het algemeen verwachtten Vos et al. (2007) dat een toename van de dynamiek (toename winterafvoer, afname zomerafvoer) in het riviersysteem zal leiden tot een grotere habitatdiversiteit. Zij stelden dat zachthoutoibossen (Figuur 3.1) en moerassige ecosystemen kunnen profiteren van de toenemende overstromingsdynamiek, en dat toenemende morfodynamiek positieve effecten zal hebben op de ecosystemen van oeverwallen en rivierduinen. Zoals in paragraaf 2.3 is behandeld, is het nog maar de vraag of uiterwaardsedimentatie, bijvoorbeeld op oeverwallen, zal toenemen. Een toename van eolische processen lijkt wel logisch. Vos et al. (2007) voorspelden voor het benedenrivierengebied een toename van de getijdendynamiek en de brakwaterinvloed door de zeespiegelstijging, en een landinwaartse verschuiving van de hiermee verbonden ecosystemen, ten koste van meer aan de bovenrivieren gebonden ecosystemen.

Vos et al. (2007) benadrukten sterk de veerkracht van dynamische riviernatuur en schatten op basis hiervan de effecten van klimaatverandering op riviernatuur vrij gunstig in. Speciale aandacht lijkt echter geboden voor laag-dynamische natte riviernatuur in bijvoorbeeld geïsoleerde uiterwaardplassen en afgesloten strangen. Vos et al. (2007) noemden wel de kwetsbaarheid van moerassen en kleine meren in het algemeen, met droogvallen en verzuuring als belangrijke risico's. Deze bedreigingen gelden uiteraard ook voor laag-dynamische moerasachtige systemen in het buitendijkse rivierengebied.



Figuur 3.1 Zachthoutooibos op de Ewijkse Plaat.

3.3 Rivierecotopen

De studie van Haasnoot et al. (2002) was speciaal gericht op de veranderingen in rivierecotopen door klimaatverandering. Zij hebben gebruik gemaakt van een voorloper van de KNMI'06-klimaatsscenario's en hieruit volgende zeespiegelstijgings- en afvoerscenario's voor de Rijn met als zichtjaar 2050 (Van Asselt et al., 2001). Haasnoot et al. (2002) beschouwden drie natte scenario's waarin neerslag in zomer en winter (in verschillende mate) toenemen, en één droog scenario waarin de neerslag in de zomer en de winter met 10% afneemt. Met behulp van deze scenario's is gekeken hoe overstromingsduren voor allerlei deelgebieden in de uiterwaarden gaan veranderen. Hierbij is rekening gehouden met ophoging van de uiterwaarden door sedimentatie. Op basis van de nieuwe overstromingsduren is voor het hele uiterwaardengebied van de Rijn een nieuwe ecotopenverdeling berekend met behulp van een ecotopenmatrix die aangeeft hoe de ene ecotoop in de andere kan overgaan als de overstromingsduur verandert. De berekende nieuwe ecotopenverdeling voor 2050 is vergeleken met de bekende uitgangssituatie.

Haasnoot et al. (2002) lieten zien dat de effecten van klimaatverandering op de ecotopen verschillen voor het boven- en benedenrivierengebied. In het bovenrivierengebied van de Rijn neemt in de natte scenario's het areaal van gebieden met een gemiddelde overstromingsduur van tussen de 20 en 150 dagen per jaar toe als gevolg van hogere rivierafvoeren en verandering in de afvoerdeling over het jaar. Hierdoor neemt het areaal natuurlijke rivieroever, zachthoutooibos, uiterwaardgrasland en -ruigte en oeverwalgrasland en -ruigte toe. Aan de andere kant nemen zeer natte en droge typen af in areaal. In het beschouwde droge scenario voor het bovenrivierengebied van de Rijn nemen droge ecotopen, zoals hardhoutooibossen, rivierduinen en stroomdalgraslanden, in areaal toe ten koste van nattere ecotopen, zoals zachthoutooibossen, oeverwalgrasland en moeras.

In het benedenrivierengebied van de Rijn overheerst de invloed van de zeespiegelstijging. Hierdoor nemen volgens de studie van Haasnoot et al. (2002) de meeste ecotopen in dit gebied in areaal af in zowel de natte scenario's als het droge scenario. Enkele voor dit gebied specifieke ecotopen, zoals ondiepe zoete getijdenwateren, platen en slikken, en grazige kommen en gorzen nemen wel in areaal toe. Dit zou neerkomen op een (gedeeltelijk) herstel van het zoetwatergetijdengebied.

De studie van Haasnoot et al. (2002) omvatte ook een evaluatie van enkele scenario's met beheersveranderingen (naar een natuurgerichter beheer). Hieruit kwam naar voren dat het effect van de beheersveranderingen op de ecotopen veel groter is dan het effect van klimaatverandering.

Haasnoot et al. (2002) noemden zelf enkele beperkingen van de studie. Zo is het effect van veranderende grondwaterstanden op de ecotopen niet meegenomen. Er is ook geen rekening gehouden met grotere zoutindringing in de benedenrivieren en met de directe effecten van een hogere temperatuur en een hoger CO²-gehalte in de atmosfeer op de riviernatuur. Verder is het effect van periodieke extreme droogte niet goed geanalyseerd, omdat het droge scenario gebaseerd was op neerslagtotalen voor zomer en winter. Onder meer om deze redenen stelden Haasnoot et al. (2002) dat de resultaten van de studie vooral gezien moeten worden als een indicatie van de te verwachten effecten van klimaatverandering op ecotopen van de rijkswateren.

Een belangrijke andere beperking van de studie van Haasnoot et al. (2002) is dat de invloed van het beschikbare substraat op het voorkomen van ecotopen niet wordt meegenomen. Ecotopen zijn combinaties van vegetatiestructuren en fysiotoepen. De fysiotoop bestaat uit meer dan alleen maar een hoogteligging (en overstromingsduur). Veel vegetaties stellen hoge eisen aan het substraat, voor wat betreft de gehalten aan zand, klei, kalk en humus. Substraatkarakteristieken in de uiterwaarden vertonen grote ruimtelijke variabiliteit en zijn meestal gekoppeld aan de lokale geomorfologische ontwikkeling. Het is maar de vraag of geomorfologische processen evenredig meebewegen met veranderende overstromingsduren en of er voldoende tijd beschikbaar is voor bodemvormende processen om benodigde substraten op andere plaatsen tot ontwikkeling te laten komen. Om deze reden kunnen vraagtekens gezet worden bij het belangrijkste uitgangspunt van de studie van Haasnoot et al. (2002): dat de grenzen van ecotopen vrij kunnen verschuiven langs terreingradiënten onder invloed van veranderende overstromingsduren. Ook bestaat de mogelijkheid dat de ecologische kwaliteit van de ecotopen afneemt als zij noodgedwongen verschuiven naar minder geschikte substraten.

3.4 Aquatische rivierecotopen

Het effect van toename van inundatiefrequentie en -duur op aquatische natuur in uiterwaardplassen is onderzocht door Besse-Lototskaya et al. (2008a, 2008b), met behulp van paleoecologische analyses van boorkernen uit uiterwaardplassen langs de IJssel. In de sedimentlagen in deze boorkernen zijn de ecologische gevolgen van historisch bekende hoogwaterstanden (1920, 1926 en 1995) te herkennen.

Als gevolg van klimaatverandering zullen waarschijnlijk frequentere inundaties op gaan treden. Een inundatie leidt in een uiterwaardplas tot abiotische en biotische veranderingen, vooral door: (1) resuspensie van bodemmateriaal, (2) toevoer van anorganisch materiaal en (3) toevoer van nutriënten. De soortensamenstelling kan hierdoor veranderen. Na een inundatie treedt langzaam herstel op. Echter, bij herhaalde, relatief snel opeenvolgende, inundaties kan het aquatische ecosysteem permanent veranderen. Dit hangt af van de intensiteit, duur en frequentie van de inundaties. Drempelwaarden hiervoor moeten nog vastgesteld worden.

De studie van Besse-Lototskaya et al. (2008b) laat duidelijk zien hoe klimaatverandering de ecologische kwaliteit van ecotopen kan aantasten, ook als het areaal van de betreffende ecotoop niet verandert. In deze studie is echter alleen aandacht aan vernatting besteed. Een andere vorm van verstoring door klimaatverandering is verdroging van aquatische ecosystemen door toenemende perioden van extreem laagwater (Tabel 2.2). Van Geest et al. (2011) hebben de effecten van droogval op waterplantenvegetaties onderzocht. Zij gaven aan dat deze zowel positief als negatief kunnen uitpakken, afhankelijk van het successiestadium in de plas, het type aquatische vegetatie en in welke periode van het jaar droogval plaatsvindt.

3.5 Soortenrijkdom

In termen van soortenrijkdom lijkt het rivierengebied vooral voordelen te ondervinden van de klimaatverandering (Peters, 2008). Een groot aantal riviergebonden soorten gedijt goed onder relatief warme omstandigheden. Door de algemene zuid-noord-oriëntatie van het Rijnsysteem kunnen zuidelijke soorten makkelijk ons land bereiken. Er zijn in het rivierengebied relatief weinig soorten die specifiek op koelere klimaatomstandigheden zijn ingesteld. Peters (2008) signaleerde de laatste tijd een duidelijke toename van de soortenrijkdom in het rivierengebied en het oprukken van soorten naar het noorden.

Voor wat betreft de flora zien we een groot aantal warmteminnende plantensoorten het de laatste 15 jaar beter doen. Dit kan echter ook (deels) een gevolg zijn van natuurontwikkelingsprojecten. Bij de meeste soorten is de beschikbaarheid van een geschikt vestigingsmilieu door natuurontwikkeling vermoedelijk het belangrijkste, en komen soorten vervolgens beter tot kieming, bloei en zaadsetting door het warmere klimaat. Voorbeelden zijn tal van stroomdalsoorten, zoals Wilde marjolein, Grote centaurie, Harige ratelaar en Kleine pimpernel. Daarnaast signaleerde Peters (2008) een duidelijke trend van toename van pioniersoorten, zowel voor die van vochtige standplaatsen (Klein vlooienkruid, Slijkgroen, Riviervandzaad, Bruin cypergras, verscheidene amaranten) als voor die van drogere standplaatsen (vetkruiden, Zandweegbree, Riempjes, Grijskruid, Mantelanjertje). Hierbij moet wel opgemerkt worden dat vooral de pioniersoorten sterk geprofiteerd zullen hebben van rivierkundige maatregelen in uiterwaarden, onder meer in het kader van Ruimte voor de Rivier, waarbij vaak op grote schaal kaal substraat bloot kwam te liggen. De vraag is dus of de toename van deze soorten niet tijdelijk is en of klimaatverandering een rol speelt bij hun toename.

Voor wat betreft de fauna stelde Peters (2008) dat de ontwikkeling van insectenpopulaties het effect van klimaatverandering het duidelijkst laten zien. Bij de vogels zijn de ontwikkelingen minder uitgesproken, maar zien we wel trends die het gevolg zouden kunnen zijn van klimaat effecten. Voorbeelden zijn het sterk toegenomen broedsucces van IJsvogel en de opmars vanuit het zuiden van de Orpheusspootvogel. Daarnaast keren verschillende soorten eerder terug in het voorjaar en overwinteren meer soorten hier die voorheen verder zuidwaarts trokken. Daarnaast trekken andere soorten (Grote zaagbek, Nonnetje) juist meer noordwaarts.

3.6 Conclusies

Uit de literatuurstudie kunnen de onderstaande conclusies worden getrokken.

1. Riviernatuur is goed aangepast aan dynamiek. In het algemeen leidt klimaatverandering waarschijnlijk tot grotere hydrodynamiek en daarmee tot grotere habitatdiversiteit, waardoor de veerkracht van de riviernatuur ook toe zal nemen.
2. De recente observaties wijzen op toename van de soortenrijkdom in het rivierengebied, mogelijk als gevolg van klimaatverandering. Echter de waarnemingsperiode is nog te kort voor definitieve conclusies. Ook zijn de effecten van klimaatverandering moeilijk te scheiden van de effecten van recente veranderingen in uiterwaardinrichting en -beheer.
3. Alhoewel in het algemeen de effecten van klimaatverandering op riviernatuur vooral op theoretische gronden positief worden ingeschat, komt uit de literatuurstudie ook naar voren dat voor een aantal ecotopen/habitats afname van areaal en/of kwaliteitsverlies mogelijk is, vooral door de effecten van langdurige droogte en laagwater. Hierover is nog weinig bekend.
4. De effecten van klimaatadaptatiemaatregelen, zoals veranderingen in uiterwaardbeheer of -inrichting, zijn mogelijk groter dan de directe effecten van klimaatverandering op riviernatuur.

In de volgende twee hoofdstukken zullen de laatste twee conclusies verder worden uitgewerkt. In hoofdstuk 4 zullen de effecten van langdurige droogte op de belangrijkste Natura 2000-habitattypen worden ingeschat. In hoofdstuk 5 zullen de effecten van rivierkundige hoogwateradaptatiemaatregelen op het areaal van verschillende typen riviernatuur in beeld worden gebracht.

4 Verkenning van de effecten van langdurige droogteperioden op riviernatuur

4.1 Inleiding

Uit de bestudeerde literatuur over de effecten van klimaatverandering op riviernatuur is naar voren gekomen dat toenemende perioden van langdurige droogte en laagwater (Querner et al., 2011; Figuur 4.1) mogelijk de kwaliteit en het areaal van bepaalde rivierecotopen negatief zouden kunnen beïnvloeden. In detail is hier echter nog weinig over bekend en daarom zullen in dit hoofdstuk deze effecten verder worden verkend.

De Nederlandse Rijntakken zijn in te delen in riviertrajecten op basis van verschillen in grootschalige geomorfologische setting, (historische) morfodynamiek en hydrodynamiek (Kater et al., 2012). Voor een analyse van de effecten van langdurige droogteperioden op rivernatuur is het van belang verschillende trajecten te analyseren. In dit hoofdstuk is gekozen voor het uitwerken van droogte-effecten voor twee trajecten van de Waal en twee trajecten van de IJssel. Geohydrologisch zijn er grote verschillen tussen de bovenloop van de Waal, die zich kenmerkt door een zandige ondergrond en grote waterstandsfluctuaties, en de benedenloop die in een ondergrond van veen- en kleilagen ligt en waarin waterstandsfluctuaties beperkt zijn. Vergelijkbare verschillen gelden voor de boven- en de benedenloop van de IJssel. In de grotendeels gestuwde Nederrijn en Lek zijn de waterstandsfluctuaties veel beperkter en zullen de effecten van langdurige droogte op de uiterwaardnatuur veel minder uitgesproken zijn. Onze analyse richt zich daarom op de Waal en de IJssel.



Figuur 4.1 Brede zandstranden bij laagwater in de Waal bij Druten.

Voor deze riviertakken is de geohydrologische situatie in de boven- en benedenloop in een dwarsdoorsnede door de uiterwaard geschematiseerd op basis van ondergrondinformatie van Gouw en Erkens (2007) en Hobo et al. (2010). De rivier- en grondwaterstanden in deze doorsneden zijn ingeschat op basis van historische waterstanden (uit de Waterbase van Rijkswaterstaat), grondwaterstandsmetingen in peilbuizen (uit de DINO-database), grondwatertrappen (zoals weergegeven op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000) en veldwaarnemingen van Maas (1998). Voor belangrijke Natura 2000-doelecotopen is met deze dwarsdoorsneden het effect van periodiek langdurig laagwater kwalitatief ruimtelijk geanalyseerd (paragraaf 4.2) op basis van ecologische expertkennis. We zijn hierbij uitgegaan van periodieke laagwaterperioden, die in het groeiseizoen vallen en enkele maanden aanhouden. Vervolgens is voor enkele belangrijke rivierecotopen een kwantitatieve analyse van de gevoeligheid van deze ecotopen voor droogtestress uitgevoerd op basis van gegevens uit een landelijke database waarin het voorkomen van bepaalde ecotopen statistisch wordt gekoppeld aan grondwaterstanden (paragraaf 4.3). Deze laatste analyse geeft een indruk van in hoeverre kwaliteitsverlies van ecotopen als gevolg van droogtestress te verwachten is.

4.2 Inschatting van de effecten van periodiek langdurig laagwater op doelecotopen

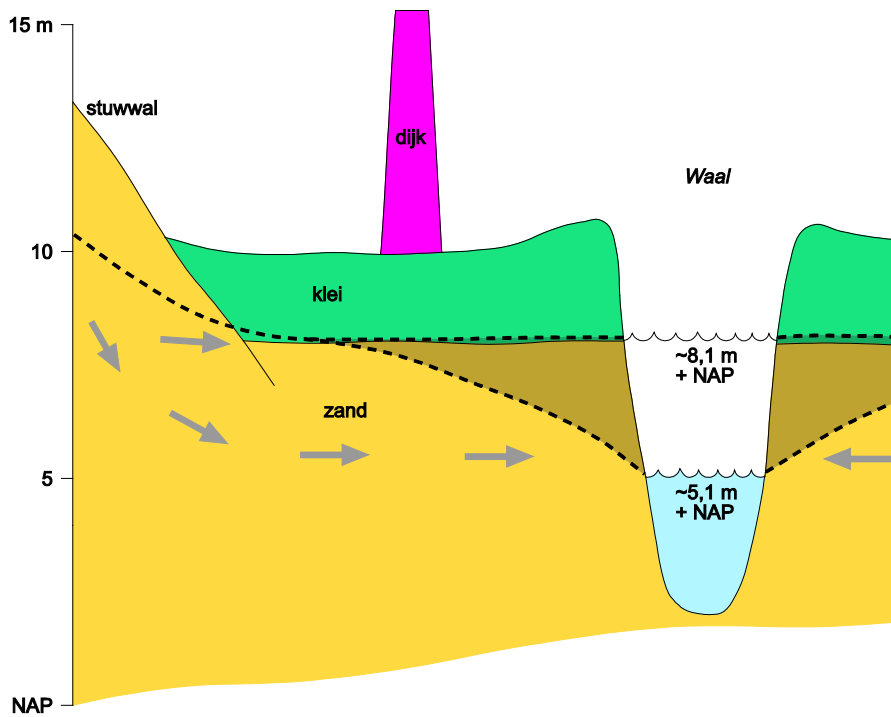
4.2.1 Rivier- en grondwaterstandsdynamiek in en langs de Waal

In het bovenste traject van de Waal, ruwweg tussen de Pannerdensche Kop en Dodewaard, ligt het zomerbed in een sterk zandige ondergrond die wordt gevormd door brede complexen van oude geulafzettingen, de holocene voorlopers van de huidige Waal, en vrij ondiep liggende pleistocene rivierterrassen. Op enige afstand van de rivier ligt de stuwwal van Nijmegen. De ondergrond is te schematiseren als een enkele meters dik, slecht doorlatend, kleiig pakket op een goed doorlatende zandige ondergrond (Figuur 4.2).

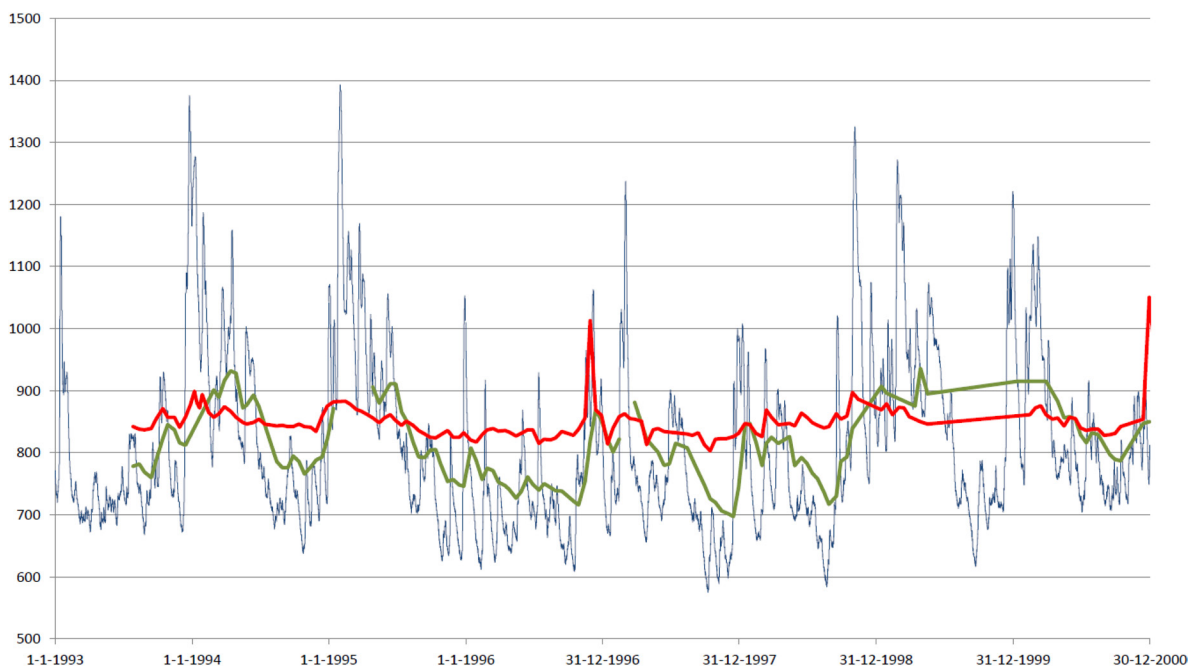
Figuur 4.3 toont meetwaarden van de rivier- en grondwaterstandsdynamiek van de bovenloop van de Waal. Te zien is hoe de grondwaterstandsfluctuaties in de uiterwaard (groene lijn) voor een belangrijk deel corresponderen met de rivierstandsfluctuaties (dunne blauwe lijn). Wel zijn de grondwaterstandsfluctuaties minder extreem en ook is er enige vertraging in de respons van de grondwaterstand op veranderingen van de rivierstand te zien. Opvallend is verder dat de fluctuaties van de grondwaterstanden binnendijs (rode lijn) niet of nauwelijks beïnvloed lijken te worden door de fluctuaties van de rivierstanden. Dit is het gevolg van de kweldruk vanuit de stuwwal, die er ook voor zorgt dat bij laagwater in de rivier de grondwaterstandsval in de uiterwaard beperkt blijft.

Op basis van de (grond)waterstanden in Figuur 4.3 zijn grondwaterstandslijnen geschetst in Figuur 4.2 (stippellijnen) voor een laagwatersituatie en een gemiddelde rivierstand. Te zien is hoe buitendijs de grondwaterstand bij laagwater tot ver onder het kleiige uiterwaarddek kan zakken (onderste stippellijn), zeker dicht bij de rivier. Hier kan droogteschade optreden wanneer bij langdurig laagwater het uiterwaarddek uitdroogt. Langs de dijk, op enige afstand van de rivier, zal de droogteschade mogelijk beperkt blijven, doordat, door de bufferende werking van de kweldruk, het grondwater minder ver onder het kleiige uiterwaarddek zakt en capillaire opstijging naar de wortelzone op een aantal plaatsen mogelijk blijft, afhankelijk van de lokale condities van de ondergrond. Binnendijs is er nauwelijks verschil tussen de grondwaterstand bij gemiddelde rivierafvoer en die bij extreem lage afvoer (de bovenste en de onderste stippellijn vallen hier nagenoeg samen).

Verder stroomafwaarts langs de Waal verandert de grondwaterhydrologische situatie sterk (Figuur 4.4). Ter hoogte van Neerijnen (bij Zaltbommel) is binnendijs sprake van een dik (6 tot 7 m) holocene kleipakket op een diepe pleistocene zandondergrond. Buitendijs ligt een enkele meters dik kleiig uiterwaarddek op de zandige beddingafzettingen van de Waal.



Figuur 4.2 Schematische weergave van de ondergrond, de grondwaterstand bij gemiddelde rivierafvoer (bovenste stippellijn) en de grondwaterstand bij een extreem lage rivierstand (onderste stippellijn) in een doorsnede loodrecht op de Waal ter hoogte van Nijmegen bij de Ooijpolder. De geschetste rivier- en grondwaterstanden zijn gebaseerd op de metingen die zijn weergegeven in Figuur 4.3. De pijlen geven de grondwaterstroming bij lage rivierstand weer.



Figuur 4.3 Rivierwaterstanden in de Waal (dunne blauwe lijn) en grondwaterstanden buitendijks (groene lijn) en binnendijks (rode lijn) ter hoogte van Nijmegen bij de Ooijpolder in de periode 1993-2000. Verticale schaal in cm t.o.v. NAP. (Data: Rijkswaterstaat en TNO).

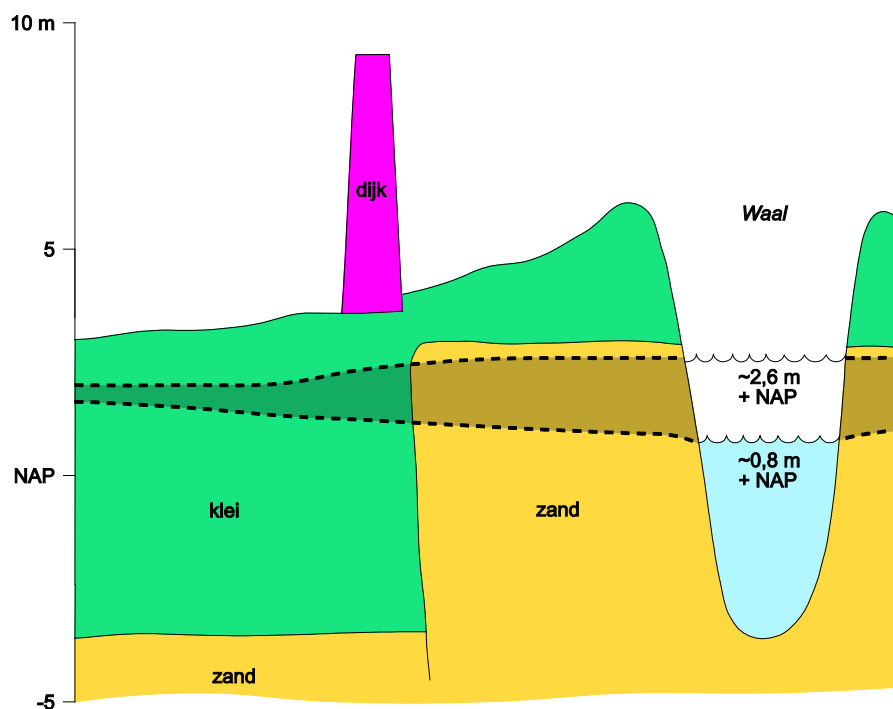
In dit bereik van de Waal ligt de grondwaterstand in de uiterwaarden (groene lijn in Figuur 4.5) bij laagwater maar enkele decimeters boven de rivierstand (dunne blauwe lijn). Ook binnendijks is er een effect van een lage rivierstand op de grondwaterstand (rode lijn). Een belangrijk verschil met de

bovenloop van de Waal is dat de laagwaterstanden in de benedenloop begrensd worden door het zeespiegelniveau. Hierdoor zijn de laagwaterstanden in de rivier minder extreem dan stroomopwaarts.

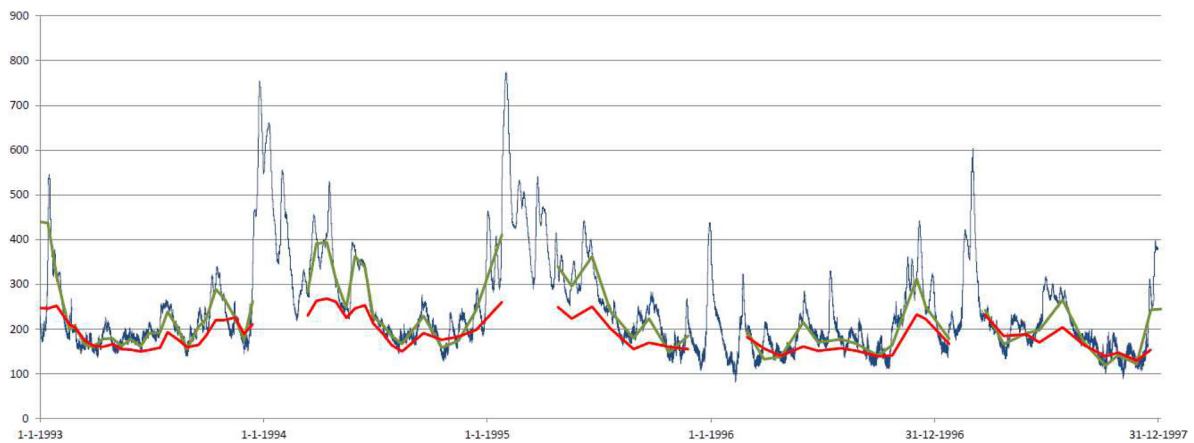
Op basis van de (grond)waterstanden in Figuur 4.5 zijn in Figuur 4.4 grondwaterstandslijnen geschetst die corresponderen met een extreem lage en een gemiddelde rivierstand. Te zien is dat bij beide rivierstanden de verschillen in grondwaterstand tussen binnen- en buitendijks beperkt zijn. Door het ontbreken van bufferende kwel zal, ondanks de minder extreme rivierstanden bij laagwater in dit traject van de Waal, de grondwaterstand in grote delen van de uiterwaard tot ruim onder het kleiige uiterwaarddek gaan zakken, waardoor de capillaire opstijging beperkt wordt en kwetsbare vegetaties negatieve effecten kunnen ondervinden bij uitdroging van het uiterwaarddek. Binnendijks zijn door een beperkte grondwaterstands daling in een kleiige ondergrond weinig effecten op de vegetatie te verwachten.

4.2.2 Effecten van langdurig laagwater in de Waal op doelecotopen

Op basis van de hierboven geschetste verschillen in ondergrond en hydrologie is voor de bovenloop en de benedenloop van de Waal een kwalitatieve inschatting gemaakt van de effecten van langdurig laagwater op de belangrijkste rivierecotopen, die hier de 'doelecotopen' worden genoemd (Tabel 4.1). Deze ecotopen zijn een selectie van rivierecotopen uit het Rijkswateren-Ecotopen-Stelsel (RWES) van Rijkswaterstaat, en omvatten de ecotopen die het meest bijdragen aan bescherming en instandhouding van riviergebonden habitattypen en soorten volgens het 'Natura 2000 doelendocument' (LNV, 2006). Op basis van de Natura 2000-habitattypen zijn enkele RWES-ecotopen verder onderverdeeld. Zo is 'hardhoutoobos', op basis van de Natura 2000-habitattypologie onderverdeeld in twee varianten. De inschatting van de laagwatereffecten (Tabel 4.1) zal hieronder per doelecotoop worden toegelicht.



Figuur 4.4 Schematische weergave van de ondergrond, de grondwaterstand bij gemiddelde rivierafvoer (bovenste stippellijn) en de grondwaterstand bij een extreem lage rivierstand (onderste stippellijn) in een doorsnede loodrecht op de Waal ter hoogte van Neerijnen. De geschetste rivier- en grondwaterstanden zijn gebaseerd op de metingen die zijn weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 Rivierwaterstanden in de Waal (dunne blauwe lijn) en grondwaterstanden buitendijs (groene lijn) en binnendijs (rode lijn) ter hoogte van Neerijnen in de periode 1992-1997. Verticale schaal in cm t.o.v. NAP. (Data: Rijkswaterstaat en TNO).

Binnen hardhoutooibos worden twee varianten onderscheiden. Het Essen-Iepenbos (Variant B) komt vooral langs de Waal voor in relatief lage kleiige zones, die te droog zijn voor de ontwikkeling van zachthoutooibos. Binnen de Natura 2000-systematiek worden deze bossen ook wel de 'Vochtige alluviale bossen' genoemd (habitattype H91E0_B). Omdat langdurige droge perioden langs de Waal zullen leiden tot meer mineralisatie van de bovengrond valt kwaliteitsverlies van deze bossen te verwachten, bijvoorbeeld een toenemende ondergroei van brandnetels. Voor de drogere hardhoutooibossen (Variant A, Abelen-Iepenbossen), die echter langs de Waal nauwelijks voorkomen, heeft droogtestress juist positieve effecten. Voor de zachthoutooibossen zullen de effecten van langdurige droogte overwegend negatief zijn, vooral in lagere delen van het landschap. Areaalverlies valt niet te verwachten, kwaliteitsverlies wel, vooral in de vorm van nivellering en sterkere ondergroei van brandnetels. Een uitzondering is er voor de zachthoutooibossen met Zwarte populier op strandjes langs de Waal. Deze typologisch bijzondere zachthoutooibossen zijn juist gebaat bij periodieke droogtestress.

Stroomdalgraslanden zullen overal langs de Waal positieve effecten ondervinden van langdurige droogteperioden. Deze zullen areaaluitbreiding naar lagere zones in de uiterwaard mogelijk maken, mits hier een geschikt zandig substraat aanwezig is. Ook extra rivierduinvorming in droge perioden kan areaaluitbreiding van stroomdalgraslanden faciliteren. Vooral langs de bovenloop van de Waal zijn de omstandigheden voor rivierduinvorming bij langdurig laagwater gunstig. Het doelecootop 'Natuurlijk gras- en hooiland' is onderverdeeld in 'Glanshaverhooiland' (Variant A) en 'Overstromingsgrasland' (Variant B). Het overstromingsgrasland zal weinig negatieve effecten ondervinden: deze associatie komt voor op een kleiig substraat waarin ook in tijden van droogte de vochtvoorziening naar de wortelzone redelijk op peil blijft. Bovendien bevat deze associatie soorten die niet erg veeleisend zijn voor wat betreft de abiotische omstandigheden. Voor het glanshaverhooiland ligt dit anders: bij langdurige droogte zal dit in areaal afnemen ten gunste van stroomdalgrasland dat zich vanaf hoger gelegen zandige ruggen neerwaarts uitbreidt. De glanshaverhooilanden kunnen nauwelijks neerwaarts opschuiven, omdat het substraat in de lagere zones te kleiig is. Voor zover glanshaverhooilanden verschuiven naar kleiiger zones, gaat dit gepaard met verruiging van de vegetatie.

Voor vegetatieontwikkeling in de oeverzone heeft periodieke droogte juist positieve effecten. Het maakt vers substraat beschikbaar wanneer ondiep water droogvalt. Langs de Waal geeft dit mogelijkheden voor de ontwikkeling van slijkgroenvegetaties die snel reageren op droogval van ondiep water. Natte ruigtes zullen naar verwachting schade ondervinden van periodieke langdurige droogte. Dit uit zich vooral in kwaliteitsverlies door het binnendringen van droge soorten ten koste van natte soorten. De soortensamenstelling zal verschuiven in de richting van een eenvormiger vegetatiebeeld. Het areaal zal waarschijnlijk redelijk intact blijven. De mate van uitdroging in deze milieus wordt sterk beïnvloed door de dikte van de kleilaag. Een dik kleiig uiterwaarddek zal bufferend werken en de uitdrogingseffecten afzwakken door capillaire nalevering naar de wortelzone. De ecotoop

'open water (ondiepe, geïsoleerde plassen)' zal sterke effecten van verdroging ondervinden, die voor waterplanten zowel positief als negatief kunnen uitpakken, afhankelijk van de ouderdom van de plas (het successiestadium), het type aquatische vegetatie en of droogval in het voorjaar of in de nazomer of het najaar optreedt (Van Geest et al., 2011).

Tabel 4.1

Inschatting van de effecten van periodiek langdurig laagwater op riviernatuur in uiterwaarden langs de Waal.

Doelecotopen	Habitatype ¹	Boven-Waal	Beneden-Waal
Hardhoutooibos A: Abelen-Iepen	H91F0	+	+
Hardhoutooibos B: Essen-Iepen	H91E0_B	- ²	- ²
Zachthoutooibos	H91E0_A	- ^{2,3}	- ^{2,3}
Stroomdalgrasland	H6120	++ ⁴	++ ⁴
Nat. gras- en hooiland A: Glanshaverhooiland	H6510_A	-	-
Nat. gras- en hooiland B: Overstromingsgrasland	H6510_B	0	0
Oeverzone	H3270	+ ⁵	+ ⁵
Natte ruigte	H6430_A/B	- ²	- ²
Open water (ondiepe, geïsoleerde plassen)	H3150	+/- ⁶	+/- ⁶

++ (donkergroen) = sterk positief effect

+ (lichtgroen) = positief effect

0 (geel) = weinig effect

+/- (geel) = effect kan positief of negatief uitvallen

- (oranje) = negatief effect

-- (donkerrood) = sterk negatief effect

¹ 'Natura 2000 doelendocument' (LNV, 2006).

² Areaal blijft intact, maar kwaliteit van de ecotoop neemt af.

³ Gunstig voor zwarte populier.

⁴ Nieuwvorming of areaaluitbreiding door rivierduinvorming; verschuiving naar lagere delen.

⁵ Tijdelijke toename ten koste van ondiepe bedding.

⁶ Vegetatie-effecten variabel en sterk afhankelijk van het type aquatische vegetatie, het successiestadium en of droogval in het voorjaar of in een andere periode van het jaar plaatsvindt.

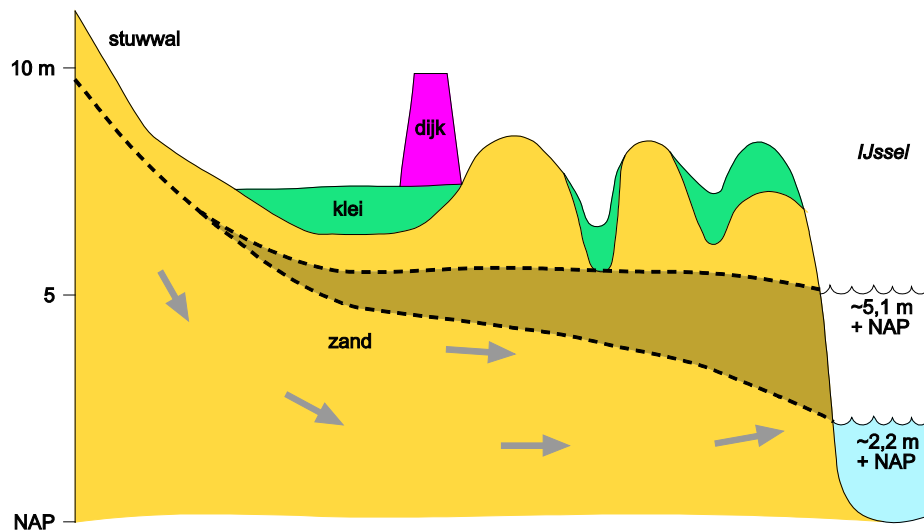
De in Tabel 4.1 gegeven effecteninschattingen voor de boven- en benedenloop van de Waal verschillen nauwelijks van elkaar. Dit komt omdat in de bovenloop de grondwaterstandseffecten bij lage rivierstanden gebufferd worden door de kweldruk, terwijl in de benedenloop de daling van de rivierstanden bij laagwater begrensd wordt door het zeespiegelniveau. Door twee verschillende mechanismen wordt de grondwaterstandsfluctuatie in beide trajecten dus enigszins beperkt. Zeespiegelstijging door klimaatverandering zou de laagwatereffecten in de benedenloop van de Waal verder kunnen beperken, waardoor de verschillen met de bovenloop zouden toenemen. Voor 2050 wordt rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 15 tot 35 cm ten opzichte van de stand in 1990 (Tabel 2.1). De laagwaterstanden in de benedenloop van de Waal kunnen dus enkele decimeters hoger uitvallen dan weergegeven in Figuur 4.4. Verder moet genoemd worden dat in het tussenliggende traject van de Waal, waar kwel- en zeespiegelniveau minder spelen, de laagwatereffecten door een grotere grondwaterstandsdynamiek wellicht wat groter zijn.

4.2.3 Rivier- en grondwaterstandsdynamiek in en langs de IJssel

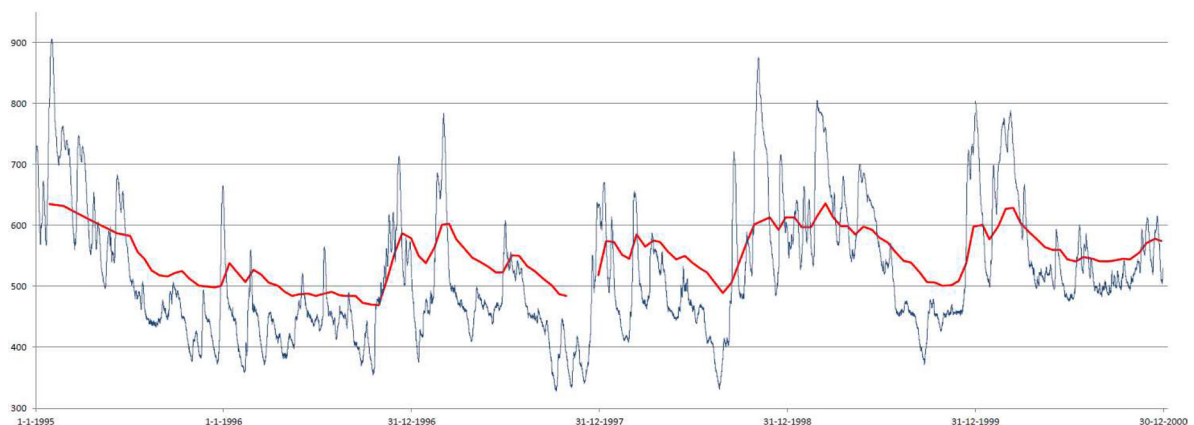
De IJssel is qua grondwaterhydrologie op te delen in twee bereiken: (1) het bereik tussen de IJsselkop en Hattem, waarin de rivier geflankeerd wordt door hogere zandgronden, voornamelijk stuwwallen en oude rivierterrassen, en (2) het bereik stroomafwaarts van Hattem tot de monding in het Ketelmeer, waarin de IJssel door een venige vlakte stroomt. Het grondwaterhydrologische verschil tussen deze twee bereiken is ook beschreven door Maas (1998).

In de bovenloop van de IJssel is de grondwaterhydrologische situatie enigszins te vergelijken met die van de Waal nabij Nijmegen: er is kweldruk in de uiterwaarden vanuit de hogere zandgronden,

waardoor de grondwaterstand in de IJsseluiterwaarden maar ten dele daalt met de rivierstanden. In Figuur 4.6 is te zien hoe bij een lage rivierstand de grondwaterspiegel (onderste stippellijn) op enige afstand van de rivier opbult door toestromend grondwater vanuit de stuwwal (grijze pijlen). Er zijn echter twee belangrijke verschillen met de Waaluitwaarden. Ten eerste zijn de IJsseluiterwaarden relatief reliëfrijk, met veelal een kenmerkend patroon van kronkelwaardruggen en -geulen (Figuur 4.6). Hierdoor is er grote ruimtelijke variatie in de hydrologische situatie. Ten tweede is de ondergrond van de IJsseluiterwaarden relatief zandig met vaak maar een dun kleidek dat op de hogere kronkelwaardruggen ontbreekt (Figuur 4.6). Hierdoor zijn de uiterwaardvegetaties gevoeliger voor verdroging. Vooral natte, moerasachtige vegetaties in kronkelwaardgeulen kunnen sterk verdrogen als de grondwaterspiegel langdurig diep onder de kleiige geulvulling zakt.



Figuur 4.6 Schematische weergave van de ondergrond, de grondwaterstand bij gemiddelde rivierafvoer (bovenste stippellijn) en de grondwaterstand bij een extreem lage rivierstand (onderste stippellijn) in een doorsnede loodrecht op de IJssel ter hoogte van Brummen. De geschetste rivier- en grondwaterstanden zijn gebaseerd op de metingen die zijn weergegeven in Figuur 4.7.

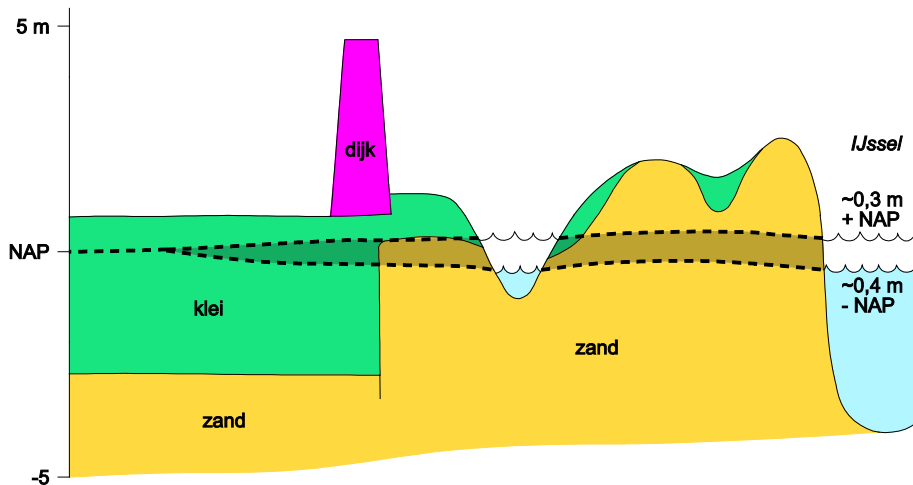


Figuur 4.7 Rivierwaterstanden in de IJssel (dunne blauwe lijn) en grondwaterstanden binnendijks (rode lijn) ter hoogte van Brummen in de periode 1995-2000. Verticale schaal in cm t.o.v. NAP. (Data: Rijkswaterstaat en TNO).

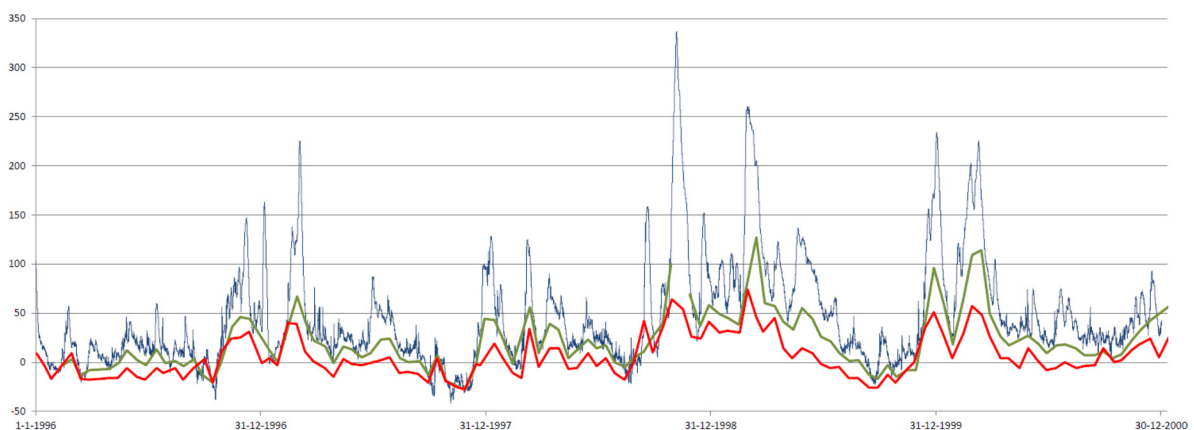
In Figuur 4.7 is te zien dat de binnendijkse grondwaterstandsdynamiek (rode lijn) langs de bovenloop van de IJssel ruim een meter bedraagt. Bij laagwater in de rivier (laagste punten van dunne blauwe lijn) blijft de binnendijkse grondwaterstand wel ca. 1,5 m boven de rivierstand, hetgeen een gevolg is van de bufferende werking van grondwatertoestroming vanuit de hogere zandgronden, zoals ook weergegeven in Figuur 4.6. Bij laagwater zal buitendijks de grondwaterstand tot ruim onder de kleiige opvullingen van de kronkelwaardgeulen zakken (onderste stippellijn in Figuur 4.6), wat tot verdroging

van natte vegetaties kan leiden bij uitdroging van de klei. In de zandige ruggen kan de grondwaterstand dan dalen tot ca. 4 m onder het maaiveld.

Langs de benedenloop van de IJssel is de opbouw van de ondergrond in grote lijnen vergelijkbaar met die langs de benedenloop van de Waal. Ter hoogte van de Vreugderijkerwaard (bij Zwolle) is binnendijs sprake van een 2 tot 3 m dik holoceen klei- en veenpakket op een pleistocene zandondergrond (Figuur 4.8). Buitendijs treffen we vooral zandige geulafzettingen van de IJssel aan. Evenals langs de bovenloop zijn de uiterwaarden hier vrij reliëfrijk: zandige kronkelwaardruggen wisselen zich af met kronkelwaardgeulen met een relatief dunne kleivulling. In Figuur 4.8 is ook de nevengeul die in de Vreugderijkerwaard is aangelegd, weergegeven.



Figuur 4.8 Schematische weergave van de ondergrond, de grondwaterstand bij gemiddelde rivierafvoer (bovenste stippellijn) en de grondwaterstand bij een extreem lage rivierstand (onderste stippellijn) in een doorsnede loodrecht op de IJssel ter hoogte van Zwolle (Vreugderijkerwaard). De geschetste rivier- en grondwaterstanden zijn gebaseerd op de metingen die zijn weergegeven in Figuur 4.9.



Figuur 4.9 Rivierwaterstanden in de IJssel (dunne blauwe lijn) en grondwaterstanden binnendijs (rode lijn) ter hoogte van Zwolle (Vreugderijkerwaard) in de periode 1996-2000. Verticale schaal in cm t.o.v. NAP. (Data: Rijkswaterstaat en TNO).

In Figuur 4.9 is te zien dat: (1) bij laagwater in de benedenloop van de IJssel de rivierstand (dunne blauwe lijn) en de buiten- en binnendijsse grondwaterstanden (respectievelijk de groene en de rode lijn) weinig van elkaar verschillen, en (2) de lage rivierstanden in de benedenloop van de IJssel geen uitschieters naar beneden vertonen. Dit laatste komt omdat de lage rivierstanden hier sterk bepaald worden door het peil in het nabijgelegen Ketelmeer. Op basis van de (grond)waterstanden in Figuur

4.9 zijn grondwaterstandslijnen geschetst in Figuur 4.8 (stippellijnen). Het valt op dat de grondwaterstandsfluctuatie in de uiterwaarden langs de benedenloop van de IJssel beperkt is. Het grondwateroppervlak zakt nooit erg diep onder het maaiveld, nevengeulen blijven het hele jaar watervoerend en vegetaties zullen naar verwachting nauwelijks schade ondervinden van laagwaterperioden.

4.2.4 Effecten van langdurig laagwater in de IJssel op doelecotopen

Op basis van de verschillen in ondergrond en hydrologie is voor de boven- en benedenloop van de IJssel een kwalitatieve inschatting gemaakt van de effecten van langdurig laagwater op de doelecotopen (Tabel 4.2). De selectie en indeling van de doelecotopen komt overeen met die voor de Waal (zie subparagraaf 4.2.2; Tabel 4.1). De doelecotopen omvatten de ecotopen die het meest bijdragen aan bescherming en instandhouding van riviergebonden habitattypen en soorten volgens het 'Ontwerpbesluit Natura 2000-gebied Uiterwaarden IJssel' van het ministerie van LNV.

De inschatting voor de bovenloop van de IJssel (Tabel 4.2) is in grote lijnen hetzelfde als die voor de bovenloop van de Waal (Tabel 4.1). Verschillen zijn er voor natte ruigte en open water die door de zandige ondergrond langs de bovenloop van de IJssel gevoeliger zijn voor verdroging. Langs de benedenloop van de IJssel zijn nauwelijks negatieve effecten te verwachten, omdat de waterstanden maar weinig zullen veranderen. Als door ontstening van de oevers weer verstuijftbaar zand beschikbaar komt, kan overal langs de IJssel onder droge condities weer rivierduinvorming op gaan treden. Stroomdalgraslanden zullen hierdoor op termijn in areaal toe kunnen nemen.

Tabel 4.2

Inschatting van de effecten van periodiek langdurig laagwater op riviernatuur in uiterwaarden langs de Waal.

Doelecotopen	Habitatype ¹	Boven-IJssel	Beneden-IJssel
Hardhoutooibos A: Abelen-Iepen	H91F0	+	0
Hardhoutooibos B: Essen-Iepen	H91E0_B	- ²	0
Zachthoutooibos	H91E0_A	- ²	0
Stroomdalgrasland	H6120	++ ^{3,4}	+ ³
Nat. gras- en hooiland A: Glanshaverhooiland	H6510_A	-	0
Nat. gras- en hooiland B: Overstromingsgrasland	H6510_B	0	0
Oeverzone	H3270	+ ⁵	0
Natte ruigte	H6430_A/B	- ²	0
Open water (ondiepe, geïsoleerde plassen)	H3150	-	0

++ (donkergroen) = sterk positief effect

+ (lichtgroen) = positief effect

0 (geel) = weinig effect

+/- (geel) = effect kan positief of negatief uitvallen

- (oranje) = negatief effect

-- (donkerrood) = sterk negatief effect

¹ 'Natura 2000 doelendocument' (LNV, 2006).

² Areaal blijft intact, maar kwaliteit van de ecotoop neemt af.

³ Nieuwvorming of areaaluitbreiding door rivierduinvorming bij oeverontstening

⁴ Verschuiving naar lagere delen.

⁵ Tijdelijke toename ten koste van ondiepe bedding.

⁶ Vegetatie-effecten variabel en sterk afhankelijk van het type aquatische vegetatie, het successiestadium en of droogval in het voorjaar of in een andere periode van het jaar plaatsvindt.

In de in Tabel 4.2 gegeven inschattingen voor de benedenloop van de IJssel is geen rekening gehouden met een peilverhoging van het IJsselmeer, zoals voorgesteld door de Deltacommissie (2008). Hiervan zouden droge ecotopen, zoals stroomdalgraslanden, schade ondervinden, terwijl natte ecotopen, zoals natte ruigte, zouden profiteren.

4.3 Kwantitatieve analyse van de gevoeligheid van doelecotopen voor droogtestress

Uit de voorgaande analyse blijkt dat grote areaalverliezen van doelecotopen in het buitendijks rivierengebied als gevolg van toenemende droogtestress niet te verwachten zijn. De meeste areaalveranderingen zullen slechts van tijdelijke aard zijn. Een belangrijker probleem lijkt permanent kwaliteitsverlies, door verschuivingen in de soortensamenstelling binnen de doelecotopen. Zo kan het binnendringen van droogtetolerante vreemde soorten leiden tot andere concurrentieverhoudingen binnen de plantengemeenschap met nadelige gevolgen voor de diversiteit en het aandeel van karakteristieke en/of zeldzame soorten. Voor een aantal doelecotopen, waarvoor genoeg data beschikbaar waren is de gevoeligheid van de plantenassociatie voor droogtestress nader onderzocht met behulp van de dataset en methode beschreven in Wamelink et al. (2010). In deze dataset zijn gemeten indicatorwaarden voor de abiotische omstandigheden van een groot aantal plantenassociaties opgenomen. In deze analyse is de gevoeligheid van een aantal doelecotopen voor de indicatoren 'gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand' (GVG) en 'gemiddelde laagste grondwaterstand' (GLG) onderzocht.

In Figuur 4.10 is voor de doelecotopen 'hardhoutooibos; variant B: Essen-Iepen' en 'zachthoutooibos' de kans van voorkomen uitgezet tegen de GLG en GVG. Te zien is dat het optimum voor Essen-Iepenbossen bij lagere grondwaterstanden ligt, dan voor zachthoutooibossen. De smallere piek en het kleinere 90%-bereik (lichtgroene blokjes langs X-as) voor de Essen-Iepenbossen suggereren ook dat deze een grotere gevoeligheid hebben voor veranderingen in de grondwaterstand. Hierbij moet echter in aanmerking genomen worden dat het feit dat Essen-Iepenbossen bij grondwaterstanden buiten het 90%-bereik nauwelijks voorkomen, strikt genomen niet wil zeggen dat ze die grondwaterstanden niet kunnen verdragen. Er kunnen ook andere factoren meespelen die leiden tot de huidige verdeling. Toch is het wel aannemelijk dat een verandering van de grondwaterstand tot buiten het 90%-bereik zal leiden tot verschuivingen in de soortensamenstelling van de associatie, ook al kan de rompgemeenschap wellicht de verandering aan en blijft de associatie als zodanig behouden. De smallere piek voor Essen-Iepenbossen suggereert dus dat deze eerder van kwaliteit zullen veranderen bij verandering van grondwaterstanden dan zachthoutooibossen.

Analoog aan Figuur 4.10 voor de bossen suggereert Figuur 4.11 een grotere tolerantie voor veranderingen in grondwaterstanden voor stroomdalgraslanden dan voor glanshaverhooilanden. Dit sluit aan bij de kwalitatieve analyse in de voorgaande paragrafen, waarin werd verondersteld dat glanshaverhooilanden bij periodiek droge omstandigheden enerzijds terrein zullen verliezen aan de stroomdalgraslanden, en anderzijds niet makkelijk terrein kunnen winnen in lagere zones, omdat die doorgaans te kleiig zijn (zie sub-paragraaf 4.2.2). Opvallend is ook de asymmetrie in de piek van de stroomdalgraslanden. Net buiten het 90%-bereik (lichtgroene blokjes langs X-as) is er een geleidelijke uitloop aan de droge kant die een zekere tolerantie voor lage grondwaterstanden suggereert, in overeenstemming met de aannamen in de kwalitatieve analyse in de voorgaande paragrafen.

Figuur 4.12 suggereert een relatief grote tolerantie van oeverzones (slikkige rivieroeveren) voor veranderingen in de grondwaterstanden, overeenkomstig de verwachtingen voor dergelijke dynamische milieus.

Opvallend in alle GLG- en GVG-diagrammen is de verschuiving van het 90%-bereik (lichtgroene blokjes) ten opzicht van het gemiddelde (donkergroen blokje) richting de 'natte' kant van de piek. Dit kan geïnterpreteerd worden als een wat grotere tolerantie van de associaties voor vernatting dan voor verdroging. Verder is te zien dat voor alle associaties de GVG-piek bij een substantieel ondiepere waterstand ligt dan de GLG-piek. Dit suggereert dat een verschuiving van de GLG richting het voorjaar voor alle vegetaties significante gevolgen kan hebben en kan leiden tot kwaliteitsveranderingen.

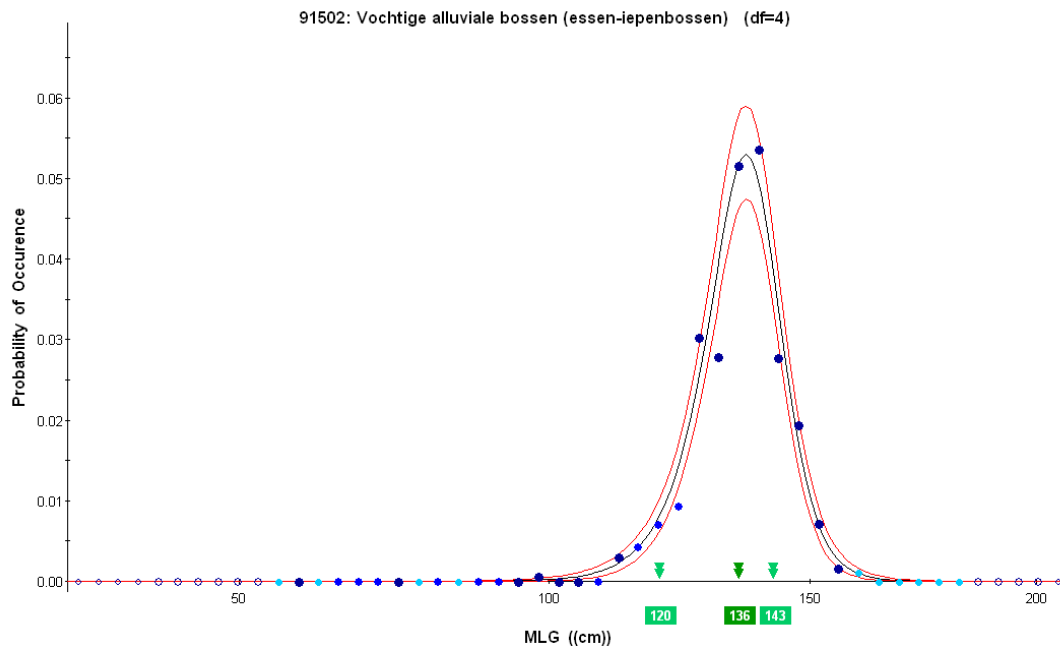
4.4 Conclusies

Uit een ruimtelijke analyse van de grondwaterhydrologische condities in de uiterwaarden bij lage rivierstanden blijkt dat *negatieve effecten* van periodiek langdurig laagwater vooral te verwachten zijn voor de volgende voor Natura 2000 belangrijke rivierecotopen: (1) Essen-Iepenbossen, (2) glanshaverhooilanden, (3) zachthoutooibossen en (4) natte ruigtes. Uit een analyse van de gevoeligheid van ecotopen voor lage grondwaterstanden blijkt bovendien dat Essen-Iepenbossen en glanshaverhooilanden relatief kwetsbaar zijn. Zachthoutooibossen hebben een grotere tolerantie voor lage grondwaterstanden. Voor natte ruigte is de gevoeligheid niet onderzocht.

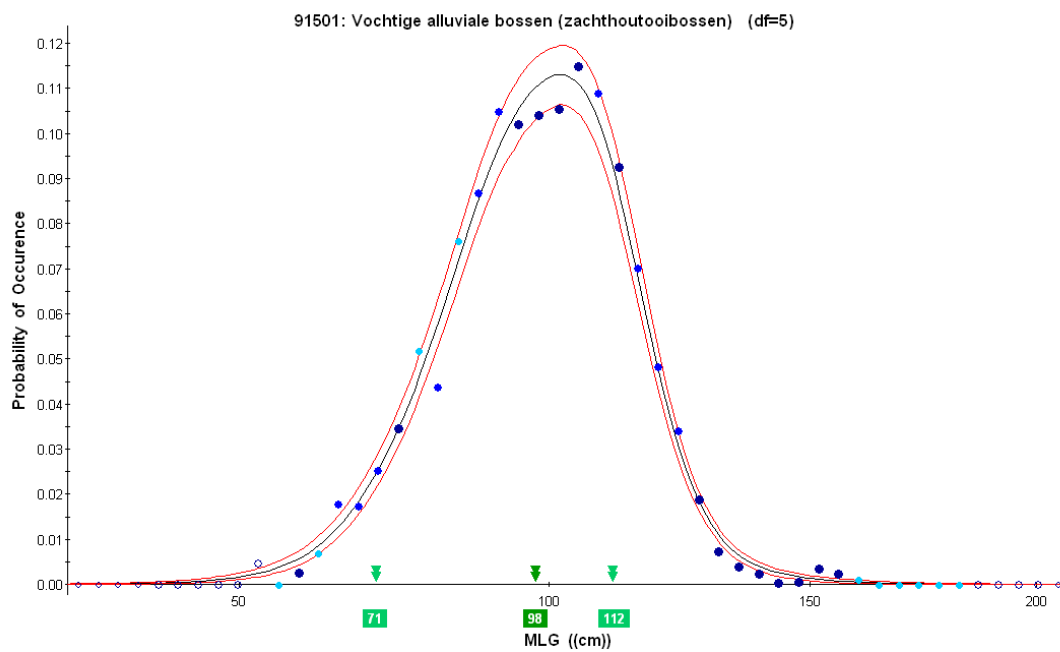
De ruimtelijke grondwaterhydrologische analyse van de condities geeft verder aan dat *positieve effecten* van periodiek langdurig laagwater vooral te verwachten zijn voor: (1) Abelen-Iepenbossen, (2) stroomdalgraslanden en (3) oeverzones. Uit de analyse van de gevoeligheid van ecotopen voor lage grondwaterstanden blijkt dat stroomdalgraslanden en slikkige oevers een relatief grote tolerantie voor lage grondwaterstanden hebben. Voor Abelen-Iepenbossen is de gevoeligheid niet onderzocht.

In het algemeen geldt dat de effecten ruimtelijk sterk zullen verschillen tussen en binnen riviertakken, door verschillen in ondergrond en grondwaterhydrologie. In de bovenloop van de Waal en de IJssel werkt kweldruk vanuit hogere zandgronden matigend op grondwaterstandsverlaging in de uiterwaarden bij lage rivierstanden. In de benedenloop van de Waal en de IJssel wordt de daling van de rivierstanden bij lage afvoeren beperkt door het zeespiegel- en Ketelmeerpeil. Door de zandige ondergrond in de uiterwaarden langs de bovenloop van de IJssel in combinatie met sterke fluctuaties van het rivierpeil kunnen vegetaties hier relatief sterke negatieve effecten ondervinden. Langs de benedenloop van de IJssel, daarentegen, zijn de peilschommelingen, en daarmee de effecten op de ecotopen, uiterst beperkt door de stuwende werking van het Ketelmeerpeil.

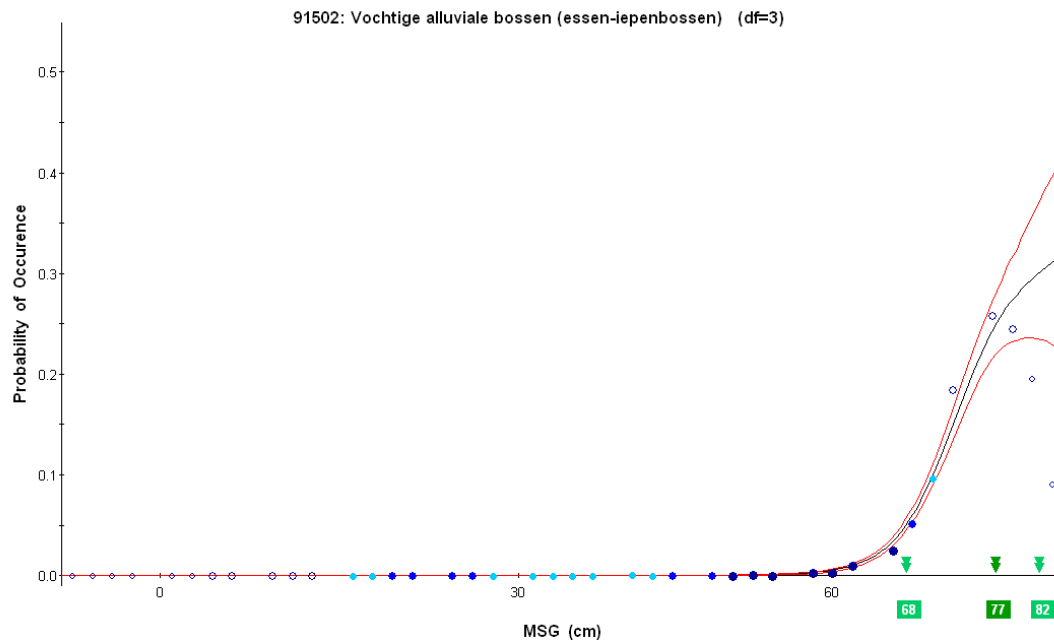
Nadelige effecten zullen zich waarschijnlijk voornamelijk manifesteren in de vorm van kwaliteitsverlies (verschuiving in soortensamenstelling) van ecotopen. Grote areaalveranderingen zijn niet te verwachten. Om de aard van kwaliteitsveranderingen van ecotopen beter in te kunnen schatten is meer inzicht nodig in de drempelwaarden voor droogtestress voor individuele soorten.



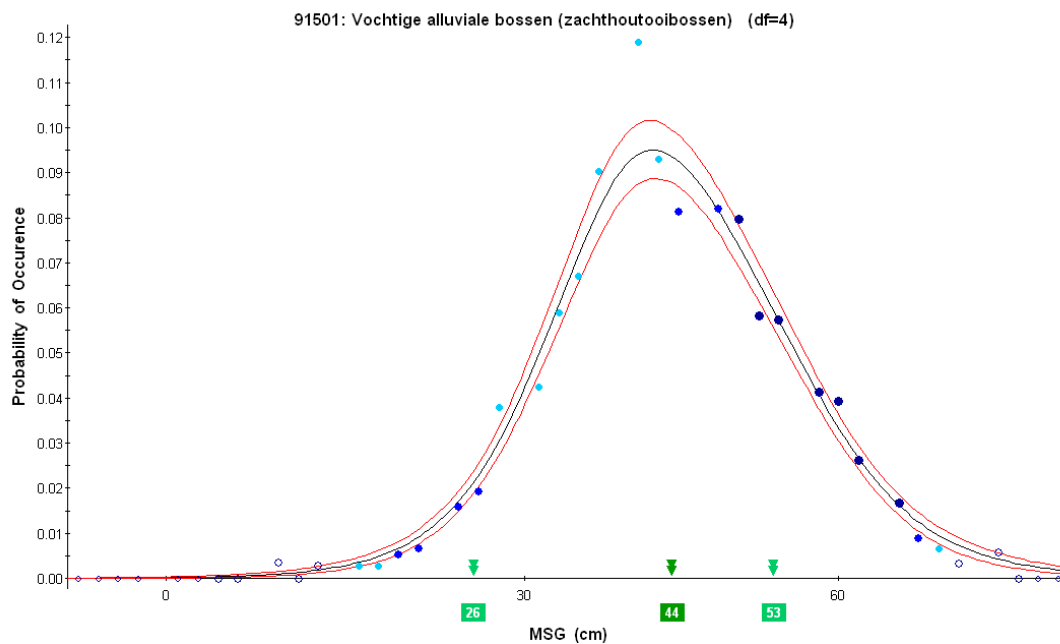
(A)



(B)

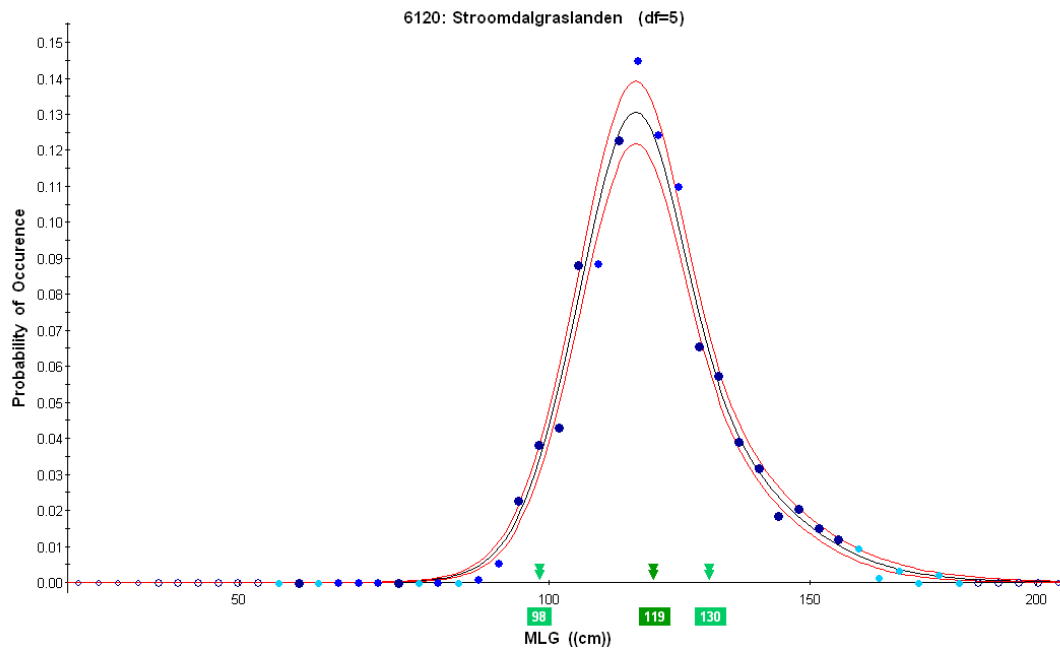


(C)

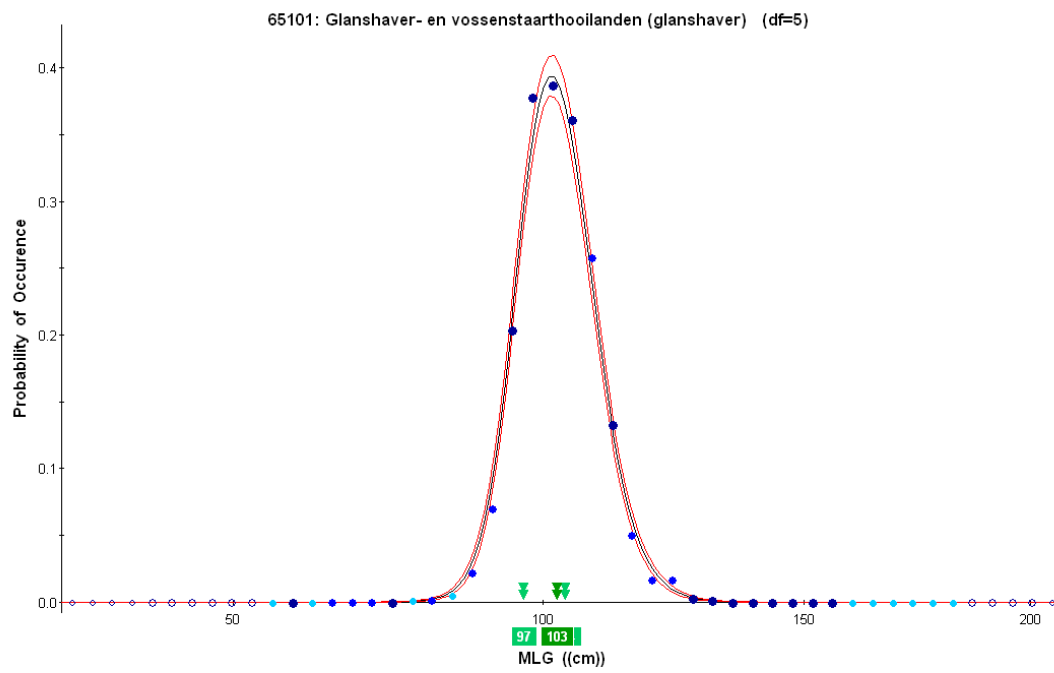


(D)

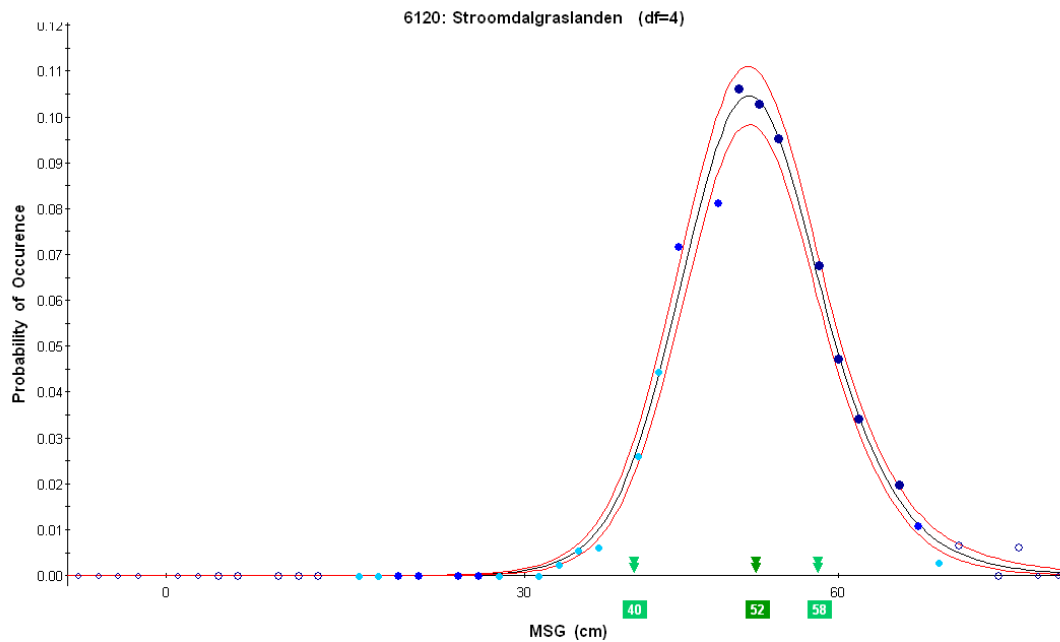
Figuur 4.10 (A) Kans van voorkomen van Essen-Iepenbos uitgezet tegen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De kleuren van de punten weerspiegelen het aantal opnamen dat een punt vertegenwoordigt ($\circ$ = 1–26 opnamen ; $\circ$ = 27–287 opnamen ; $\bullet$ = 288–1044 opnamen ; $\bullet$ = 1045–1372 opnamen ; $\bullet$ = 1372–3993 opnamen). Ieder punt vertegenwoordigt alle opnamen in een bepaalde GLG-klasse. De X-as is arbitrair opgedeeld in 50 gelijke klassen. De kans is berekend als het aandeel Essen-Iepenbos op het totaal aantal vegetatieopnamen. De rode curves markeren de grenzen van het 95%-bereik aan weerszijden van de 'spline'-curve. Op de X-as zijn de 5%- en 95%-percentielen (lichtgroen) van de verdeling gegeven. In donkergroen is het gemiddelde van de verdeling gegeven. (B) Kans van voorkomen van zachthoutoibos uitgezet tegen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). (C) Kans van voorkomen van Essen-Iepenbos uitgezet tegen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). (D) Kans van voorkomen van zachthoutoibos uitgezet tegen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Algemene uitleg over de diagrammen is gegeven bij Figuur 4.10A.



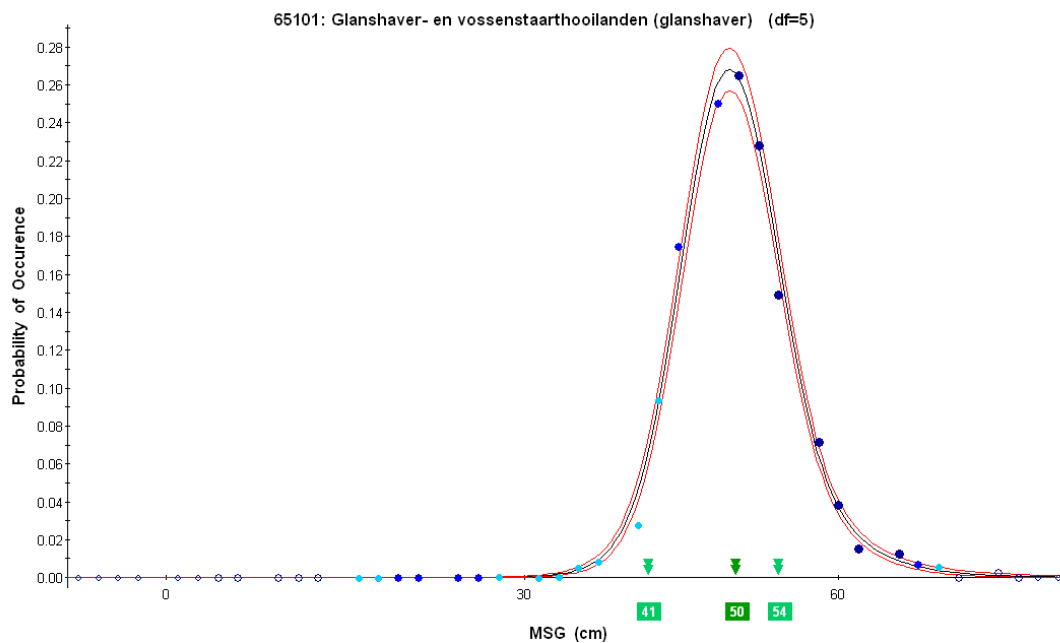
(A)



(B)

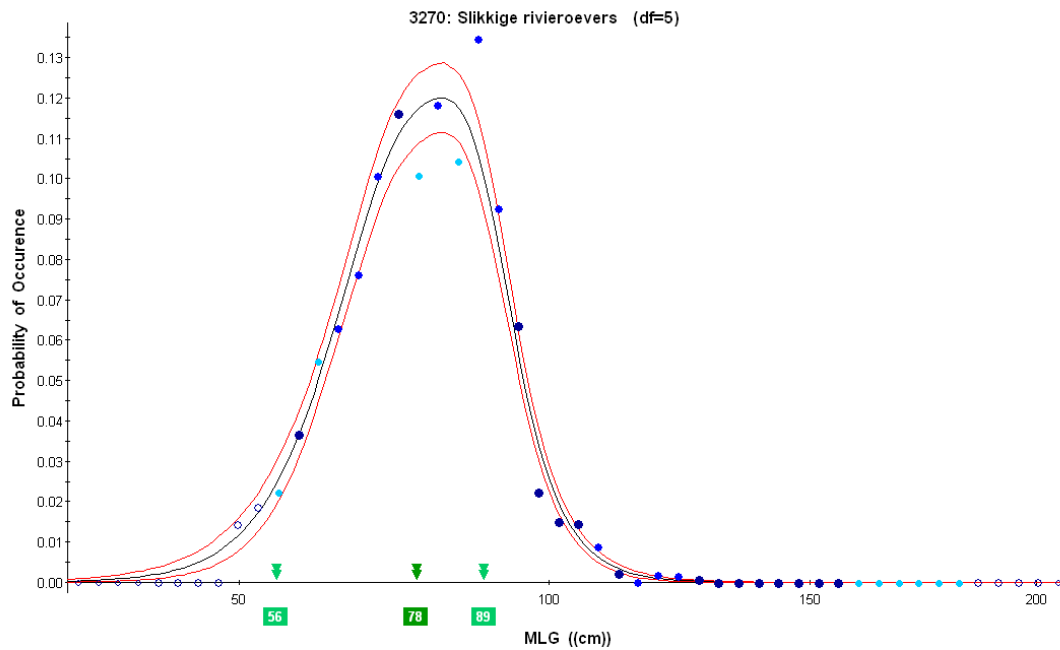


(C)

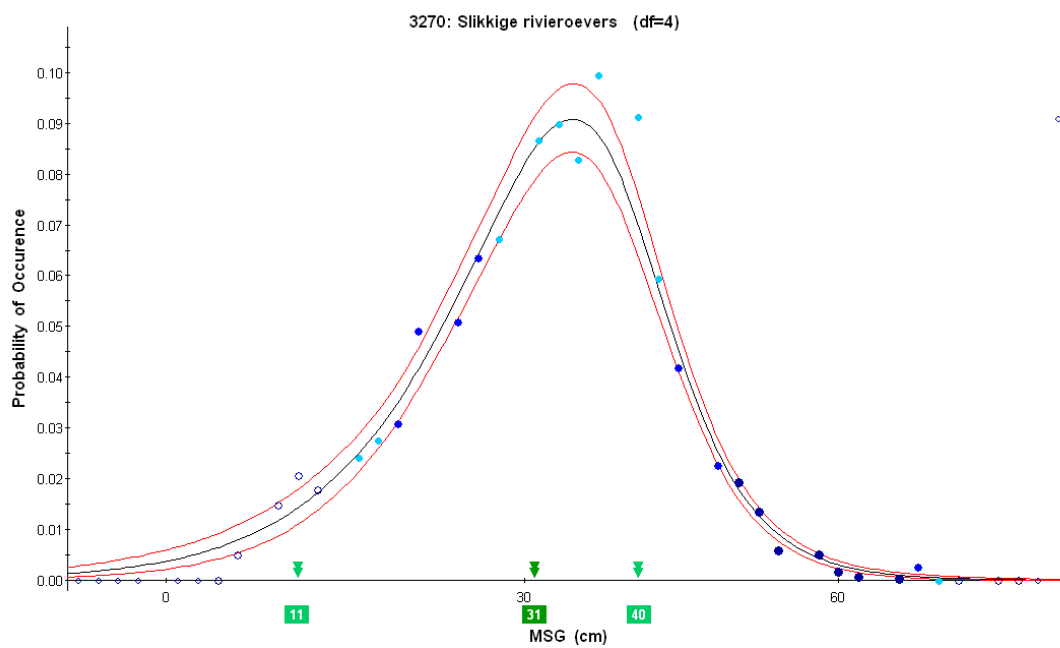


(D)

Figuur 4.11 (A) Kans van voorkomen van stroomdalgrasland uitgezet tegen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). (B) Kans van voorkomen van glanshaverhooiland uitgezet tegen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). (C) Kans van voorkomen van stroomdalgrasland uitgezet tegen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). (D) Kans van voorkomen van glanshaverhooiland uitgezet tegen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Algemene uitleg over de diagrammen is gegeven bij Figuur 4.10A.



(A)



(B)

Figuur 4.12 (A) Kans van voorkomen van oeverzone (slikkige rivieroever) uitgezet tegen de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). (B) Kans van voorkomen van oeverzone (slikkige rivieroever) uitgezet tegen de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG). Algemene uitleg over de diagrammen is gegeven bij Figuur 4.10A.

5 Verkenning van de effecten van toekomstige hoogwateradaptatie maatregelen op riviernatuur

5.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is ingegaan op de effecten op riviernatuur van langdurige droogteperioden met lage rivierstanden, die zich door klimaatverandering in de toekomst vaker voor kunnen gaan doen. Anderzijds omvatten verwachtingen van klimaatverandering ten aanzien van rivieren ook hogere piekafvoeren (Tabel 2.2). Afvoerpieken in de Rijn duren echter relatief kort en doen zich vooral buiten het groeiseizoen voor. De directe effecten van hogere afvoerpieken op riviernatuur zullen daarom gering zijn. Er worden echter wel adaptatiemaatregelen voorbereid om deze hogere afvoerpieken veilig te kunnen accommoderen. Deze maatregelen betekenen veelal grote veranderingen in uiterwaardbeheer of -inrichting en vertegenwoordigen daarmee een belangrijk indirect effect van klimaatverandering op riviernatuur. In dit hoofdstuk zullen de aard en grootte van dit effect worden verkend.

In de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (PKB-RvR) is een groot aantal optionele maatregelen geformuleerd voor de lange termijn (na 2015). Deze rivierkundige maatregelen kunnen worden ingezet om de verwachte verhoging van de maatgevende afvoeren voor 2100 te kunnen accommoderen. Door Silva en Van der Linden (2008) is geïnventariseerd in hoeverre deze maatregelen toereikend zijn om de hoogwaterveiligheid op lange termijn te kunnen waarborgen. Deze studie is uitgevoerd met de Blokkendoos die speciaal voor de PKB RvR (versie 2.00.0010) is ontwikkeld. De Blokkendoos omvat een digitale database waarin informatie over rivierkundige maatregelen is opgenomen. Met de Blokkendoos kunnen de cumulatieve waterstandseffecten van allerlei combinaties van rivierkundige maatregelen snel op een PC in beeld worden gebracht. Verder worden de eigenschappen van de gekozen maatregelen, zoals kosten, ruimtebeslag, areaalverandering natuur, grondverzet, enz., opgesomd. Op deze manier is het mogelijk om maatregelen snel te vergelijken en uiteindelijk een pakket samen te stellen dat zo goed mogelijk voldoet aan de gestelde eisen.

In deze studie is met de Blokkendoos verkend hoe de voor 2100 verwachte maatgevende afvoer van 18.000 m³/s op een veilige manier kan worden afgevoerd, terwijl in de keuze van rivierkundige maatregelen, belangen van natuur en landschap zo goed mogelijk worden meegenomen. Dit heeft geresulteerd in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000'. Dit scenario bestaat uit een maatregelenpakket dat aanzienlijke positieve effecten sorteert op de maatgevend hoogwaterstanden, maar ook op natuurwaarden. Scenario 'Natuur en veiligheid 18000' omvat nagenoeg alle RvR-maatregelen en een groot aantal aanvullende maatregelen. In de keuze van aanvullende maatregelen is ook de haalbaarheid van de maatregelen meegewogen. Dat wil in de praktijk zeggen dat maatregelen met een zeer groot ruimtebeslag, zoals *grote groene rivieren* en *retentiegebieden*, zoveel mogelijk zijn vermeden. Daarnaast werd ook weinig natuurwinst verwacht van dergelijke maatregelen, omdat grote oppervlakten dan in aangepast landbouwkundig gebruik zullen blijven. Wel is, voortbouwend op eerder werk waarin strategieën voor duurzaam deltabeheer zijn verkend (Makaske, 2008), bewust gekozen voor het structureel toevoegen van binnendijs gebied aan het winterbed met *dijkverleggingen*. Dit biedt kansen voor nieuwe natuur en past in het streven naar een bredere, meer natuurlijke overstromingsvlakte. In het verlengde hiervan is op hydraulische knelpunten gekozen voor relatief *kleinschalige groene rivieren*. Verder is selectief gekozen voor *uiterwaardplannen*, zodanig dat bekende geomorfologisch waardevolle terreinen zoveel mogelijk voor vergraving gespaard blijven. *Zomerbedverdieping* is als maatregel zoveel mogelijk vermeden omdat dit ook tot lagere laagwaterstanden leidt en daarmee bijdraagt aan verdroging van riviernatuur, bovenop de reeds verkende mogelijke klimatologische droogte-effecten (Hoofdstuk 4).

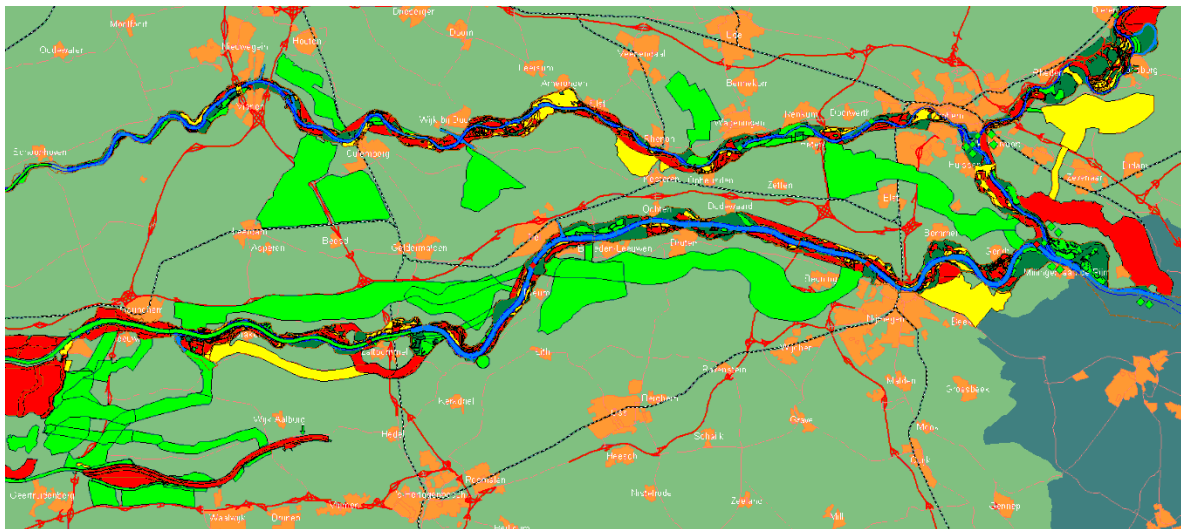
Ten opzichte van de huidige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s moet in de toekomst 3000 m³/s extra door de Rijntakken afgevoerd worden. Deze extra afvoer is in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' als volgt over de Rijntakken verdeeld: Waal +2000 m³/s, Nederrijn-Lek +250 m³/s, IJssel +750 m³/s. Dit houdt in dat een relatief groot deel via de IJssel afgevoerd wordt. Dit kan omdat langs de IJssel veel dijkverleggingen mogelijk zijn, waardoor binnendijkse ruimte toegevoegd kan worden aan het riviersysteem. Hierdoor kan ook een aantal waardevolle uiterwaarden voor vergraving gespaard blijven. Langs de Nederrijn-Lek is veel minder binnendijkse ruimte beschikbaar, als niet gekozen wordt voor grote retentiegebieden. De Waal zal uiteindelijk het grootste deel van de extra afvoer voor haar rekening moeten nemen. Hier is ook echter verreweg de meeste ruimte voor extra afvoer beschikbaar, wanneer de juiste maatregelen worden ingezet (Silva en Van der Linden, 2008). Hieronder wordt per riviertak het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' besproken, voor wat betreft de maatregelen en hun effecten op waterstanden en natuurwaarden. Als referentie geldt daarbij telkens de situatie voor uitvoering van Ruimte voor de Rivier. De benedenrivieren, waar de waterstanden in hoge mate bepaald worden door de zeespiegelstand, worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Voor de benedenrivieren zijn in het scenario wel maatregelen opgenomen, gebaseerd op dezelfde, hierboven gegeven, uitgangspunten.

5.2 Boven-Rijn

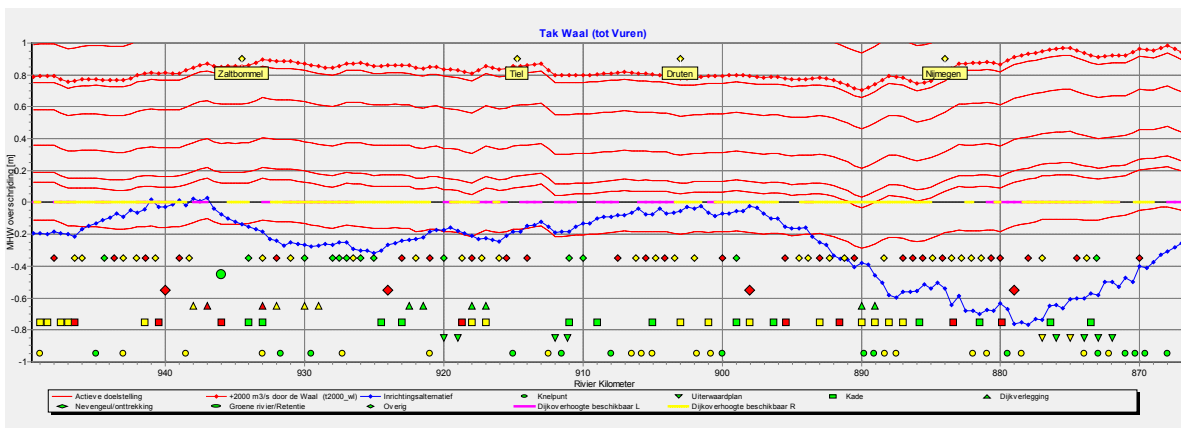
In het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' voor de Rijntakken wordt gerekend met het inzetten van het retentiegebied Rijnstrangen (kleine variant) met natuurontwikkeling in het retentiegebied. Dit leidt tot ruim 26 cm waterstandsdeling bij Maatgevend Hoogwater (MHW) op de Boven-Rijn. Desondanks blijft in de eerste kilometers na de grens met Duitsland de waterstand ruim boven de taakstelling, ook omdat niet gerekend wordt met maatregelen in Duitsland. De waterstand in dit deel van de Boven-Rijn zou nog aanzienlijk verlaagd kunnen worden door te kiezen voor de grote variant van het retentiegebied Rijnstrangen. Deze variant heeft echter een veel grotere landschappelijke impact dan de kleine variant, die in feite neerkomt op het in ere herstellen van een oude Rijnloop en daarom goed aansluit bij de geomorfologie en landschapshistorie. Voorlopig wordt daarom aan deze kleine variant de voorkeur gegeven. De voor ons scenario door de Blokkendoos gegeven natuurwinst langs de Boven-Rijn komt op 1727 ha. Dit betreft natuurlijk grasland in het Rijnstrangengebied. Het is onduidelijk in hoeverre dit echte natuurwinst is, omdat de Rijnstrangen momenteel al grotendeels in beheer zijn als binnendijkse moerasnatuur.

5.3 Waal

Voor de Waal (stroomafwaarts tot Vuren) is in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' een groot aantal uiterwaardplannen opgenomen. Dit zijn veelal vergravingen van de uiterwaard die het natuurlijke reliëf aantasten. Omdat echter langs de Waal bijna alle uiterwaarden al in meer of mindere mate vergraven zijn, is het verlies aan oorspronkelijke natuurwaarden beperkt. Vanuit geomorfologisch oogpunt is verlaging van de, soms hoog opgeslibde, Waal-uiterwaarden te zien als een verjonging van de stroomrug. De meeste uiterwaardplannen sorteren slechts een klein waterstandsverlagend effect. Slechts drie van de 26 in het scenario opgenomen uiterwaardplannen leiden tot meer dan 10 cm waterstandsverlaging (Tabel 5.1). Langs de hele Waal is kribverlaging in het scenario opgenomen; dit sluit aan bij het streven naar een natuurlijker riviersysteem. Verbreding van de uiterwaarden door dijkverleggingen is in het scenario vooral langs de bovenloop (Pannerdensche Kop – Nijmegen) en de middenloop van de Waal (Nijmegen-Tiel) voorzien (Tabel 5.1). Om de waterstanden bij het knelpunt Zaltbommel te verlagen zijn als maatregelen twee kleine groene rivieren en een grootschalige dijkverlegging (Figuur 5.1) verkozen boven zomerbedverlaging in dit traject. Deze maatregelen leiden tot substantiële waterstandsverlaging (Tabel 5.1), waardoor de hoogte van de piek bij Zaltbommel beperkt blijft tot minder dan 5 cm boven het maatgevende (veilige) niveau (Figuur 5.2). Deze overschrijding zou opgelost kunnen worden met een beperkte dijkverhoging, in plaats van ingrijpende maatregelen, zoals het inrichten van grote retentiegebieden (bijvoorbeeld in de Tielerwaard, zie Figuur 5.1).



Figuur 5.1 Kaart van het ruimtebeslag van de maatregelen langs de Boven-Rijn, de Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn en de Lek in scenario 'Natuur en veiligheid 18000'. In rood de geselecteerde maatregelen, in groen en geel de niet-geselecteerde maatregelen.



Figuur 5.2 Verloop van hoogwaterstanden (hoogwater 18.000 m³/s bij Lobith) langs de Waal in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' (blauwe lijn), uitgezet ten opzichte van de maatgevende hoogwaterstand (MHW). MHW is de maximale waterhoogte die veilig is bij de huidige dijkhoogte. De rode lijn geeft de waterstanden voor hetzelfde hoogwater weer voor de uitgangssituatie zonder maatregelen.

Tabel 5.1

Maatregelen langs de Waal in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' met een groot (≥ 10 cm) waterstandsverlagend effect (bron: Blokkendoos voor de Rijn - PKB, versie 2.00.0010).

Maatregel	Waterstandsverlagend effect (cm) ¹
Uiterwaardplan Moespoetsche Waard	11
Uiterwaardplan Heesseltsche Uiterwaarden variant 5	19
Uiterwaardplan (met dijkverlegging)	
Brakelsche Benedenwaarden en Munnikenland	10
Kribverlaging Midden-Waal	12
Grootschalige dijkverlegging Ooij-Nijmegen	21
Grootschalige dijkverlegging Veur-Lent, Plan Brokx	40
Grootschalige dijkverlegging Loenen-Dodewaard	26
Grootschalige dijkverlegging Ewijk-Winssen	29
Grootschalige dijkverlegging Zennewijnen	14
Groene rivier Zaltbommel, natuur	28
Groene rivier Haften, natuur	16

¹ De door de Blokkendoos (in mm/s) gegeven waarden zijn afgerond op hele cm's.

Het maatregelenpakket 'Natuur en veiligheid 18000' leidt langs de Waal tot een aanzienlijke toename van het areaal natuurlijke ecotopen (Tabel 5.2). Het gaat hier voor een groot deel om toename van natuurlijk grasland dat de plaats inneemt van binnendijkse landbouwgrond die door dijkverleggingen en aanleg van groene rivieren wordt toegevoegd aan de uiterwaarden. In totaal wordt 1559 ha buitengedijkt. Uiterwaardvergravingen beslaan een oppervlakte van 1550 ha en gaan ten koste van stroomdalgraslanden, zachthoutoibossen, oevers en rivierduinen. Hier staat tegenover dat nattere ecotopen, zoals ondiep en diep water en moeras, in areaal toenemen door de vergravingen. De verstoringen door vergraving leiden ook tot een toename van dynamische ruigte. Opvallend is de door de Blokkendoos gegeven toename van hardhoutoibos. Dit valt op het eerste gezicht moeilijk te rijmen met de vele in het scenario opgenomen uiterwaardvergravingen die de voor hardhoutoibos geschikte, hogere, delen van de uiterwaarden aantasten. De door de Blokkendoos gegeven toename van hardhoutoibos gaat vooral om Essen-Iepenbos dat langs de Waal voorkomt in relatief lage kleiige zones, die te droog zijn voor de ontwikkeling van zachthoutoibos. Binnen de Natura 2000-systematiek worden deze bossen ook wel de 'Vochtige alluviale bossen' genoemd (habitattypen H91E0_B). In enkele bredere uiterwaarden langs de Waal is ontwikkeling van dit bostype in de wat verder van de rivier gelegen uiterwaardvlakte in de plannen opgenomen.

Tabel 5.2

Areaalveranderingen van ecotopen langs de Waal in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' (bron: Blokkendoos voor de Rijn - PKB, versie 2.00.0010).

Ecotopen	Areaalverandering (ha)
Ondiep water	+430,8
Diep water	+76,0
Hardhoutoibos	+43,5
Zachthoutoibos	72,7
Stroomdalgrasland	-170,0
Rivierduin	-7,9
Dynamische ruigte	+71,5
Natuurlijk grasland	+2212,8
Moeras	+68,0
Oever	-63,1
Netto areaalverandering van natuurlijke ecotopen	+2588,9 ¹

¹ De netto areaalverandering van natuurlijke ecotopen is bepaald door het optellen van de areaalveranderingen van de ecotopen in de tabel, die alle zijn gegeven door de Blokkendoos. Dit getal wijkt om onbekende reden iets af van de door de Blokkendoos gegeven 'netto verandering areaal met natuurwaarde'.

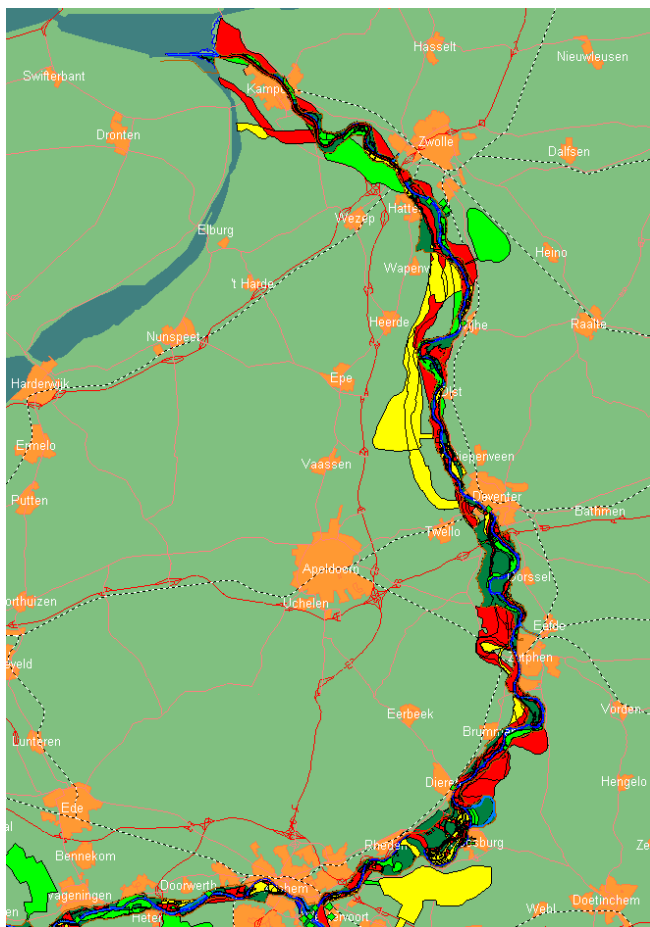
5.4 Pannerdensch Kanaal

Langs het Pannerdensch Kanaal zijn in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' vier maatregelen voorzien: twee grootschalige dijkverleggingen (Sterreschans en Roswaard) en twee uiterwaardplannen (Roswaard en Huissensche waarden). De maatregelen sorteren een relatief groot waterstandsverlagend effect en leiden tot een toename van het areaal natuurlijke ecotopen van 342 ha. Voor een groot deel is dit een toename van natuurlijk grasland, samenhangend met de dijkverleggingen, en toename van ondiep water door uiterwaardvergravingen.

5.5 Nederrijn-Lek

De in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' opgenomen maatregelen voor de Nederrijn-Lek (stroomafwaarts tot Hagestein) omvatten veel uiterwaardplannen (26) en een beperkt aantal grootschalige dijkverleggingen (7). Groene rivieren zijn niet opgenomen. De waterstandsverlagende effecten van de maatregelen zijn in het algemeen minder groot dan van de maatregelen langs de IJssel. Omdat er in het scenario echter minder water extra via de Nederrijn afgevoerd hoeft te worden (+250 m³/s), zijn hier ook minder ingrijpende maatregelen nodig. In totaal wordt 668 ha buitengedijkt en 1514 ha vergraven. Het voorgestelde pakket voldoet nagenoeg qua benodigde

waterstandsverlaging. De effecten op natuur langs de Nederrijn-Lek zijn in lijn met de eerder gesignaleerde effecten langs de andere riviertakken: de netto areaalverandering van natuurlijke ecotopen is +1954 ha, waarvan 88% natuurlijk grasland. Ook moeras en ondiep water nemen significant in areaal toe, vooral ten koste van stroomdalgrasland en zachthoutoobos.

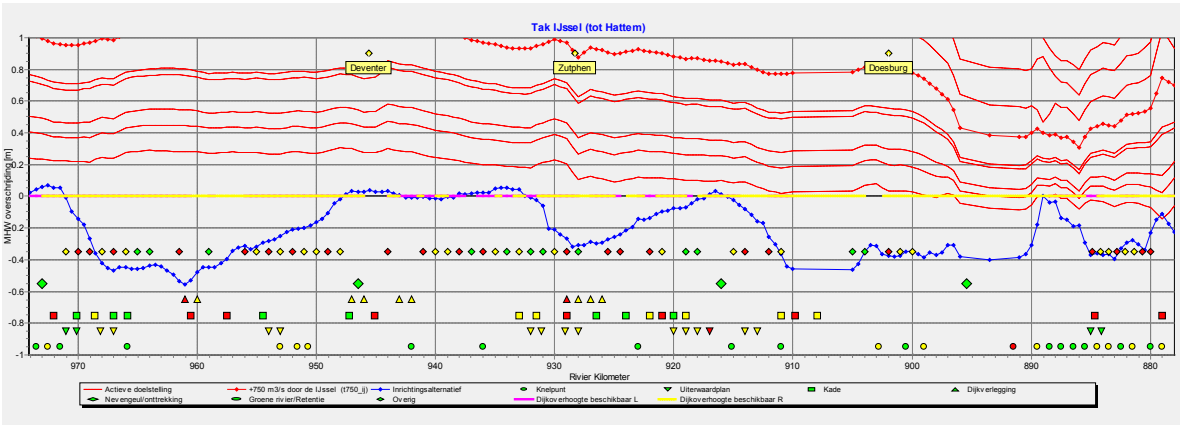


Figuur 5.3 Kaart van het ruimtebeslag van de maatregelen langs de IJssel in scenario 'Natuur en veiligheid 18000'. In rood de geselecteerde maatregelen, in groen en geel de niet-geselecteerde maatregelen.

5.6 IJssel

Net als langs andere riviertakken bestaat het maatregelenpakket voor de IJssel hoofdzakelijk uit een combinatie van een groot aantal uiterwaardplannen (29), een beperkter aantal grootschalige dijkverleggingen (13) en enkele groene rivieren (3). Net als langs de Waal dragen de uiterwaardplannen slechts beperkt bij aan waterstandsvaling: zes van de 29 uiterwaardplannen hebben een waterstandsverlagend effect van meer dan 10 cm (Tabel 5.3). Enkele geomorfologisch waardevolle terreinen (bijvoorbeeld de kronkelwaard van Cortenoever en de riverduinen van de Vreugderijkerwaard) zijn voor vergraving gespaard door voor andere maatregelen te kiezen. In het IJsseldal kan relatief veel binnendijkse ruimte voor rivierwater beschikbaar gemaakt worden door dijkverleggingen en aanleg van groene rivieren met relatief grote waterstandsverlagende effecten. De drie groene rivieren (Figuur 5.3) dragen verreweg het meest bij aan de verlaging van de hoogwaterstanden (Tabel 5.3). Ondanks de vele maatregelen blijven er in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' enkele knelpunten bestaan (Figuur 5.4) die met een beperkte dijkverhoging zouden kunnen worden opgelost. Het gaat hierbij om overschrijdingen van de taakstelling die kleiner zijn dan 5 cm. Rond Kampen is de overschrijding groter, hetgeen te maken heeft met de opstuwende werking van de hoge waterstanden in het Ketelmeer waarmee gerekend wordt. Voor de benedenloop van de IJssel vanaf Zwolle is zomerbedverlaging in het maatregelenpakket opgenomen om de hoge waterstanden bij Kampen enigszins te dempen. In het bovenrivierengebied leidt zomerbedverlaging

tot lagere laagwaterstanden en meer verdroging van uiterwaardnatuur. Daarom is deze maatregel in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' zoveel mogelijk vermeden. Voor de benedenloop van de IJssel is dit verdrogingseffect echter gering omdat de laagwaterstanden hier sterk bepaald worden door het Ketelmeerpeil (zie ook sub-paragraaf 4.2.3).



Figuur 5.4 Verloop van hoogwaterstanden (hoogwater 18.000 m³/s bij Lobith) langs de IJssel in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' (blauwe lijn), uitgezet ten opzichte van de maatgevende hoogwaterstand (MHW). MHW is de maximale waterhoogte die veilig is bij de huidige dijkhoogte. De rode lijn geeft de waterstanden voor hetzelfde hoogwater weer voor de uitgangssituatie zonder maatregelen.

Tabel 5.3
Maatregelen langs de IJssel in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' met een groot (≥ 10 cm) waterstandsverlagend effect (bron: Blokkendoos voor de Rijn - PKB, versie 2.00.0010).

Maatregel	Waterstandsverlagend effect (cm) ¹
Uiterwaardplan Westervoort en IJsseldijkwaard	20
Uiterwaardplan Velperwaarden	22
Uiterwaardplan Koppenwaard	45
Uiterwaardplan Olburgsche waard en Spaensweerd	12
Uiterwaardplan Brummensche waarden	13
Uiterwaardplan Welsumvelder buitenwaarden	13
Grootschalige dijkverlegging Hondsbroekse Pleij / Schans	15
Grootschalige dijkverlegging Lathum	16
Grootschalige dijkverlegging Steenderen	45
Grootschalige dijkverlegging Voorster klei	18
Grootschalige dijkverlegging Bypass Deventer	28
Grootschalige dijkverlegging Welsumer waarden	21
Grootschalige dijkverlegging Herxen	32
Grootschalige dijkverlegging Westenholte	18
Grootschalige dijkverlegging IJsselmuiden (Zenneke hoeve)	11
Grootschalige dijkverlegging Noorddiep	21
Knelpunt verwijderen (bebouwing en weg Doesburg-Ellekom)	39
Zomerbedverlaging Beneden-IJssel (vanaf Zwolle)	24
Groene rivier Bypass Zutphen, natuur	52
Groene rivier Veessen-Wapenveld, natuur	72
Groene rivier Kampen-Vossemeer, natuur	49

¹ De door de Blokkendoos (in mm/s) gegeven waardes zijn afgerond op hele cm's.

In Tabel 5.4 is te zien dat de natuurwinst van 'Natuur en veiligheid 18000' voor het overgrote deel uit natuurlijk grasland bestaat dat ontwikkeld wordt in de gebieden die door dijkverlegging of aanleg van groene rivieren aan de uiterwaarden worden toegevoegd. In totaal wordt 5663 ha buitengedijkt. Evenals langs de Waal nemen natte ecotopen, zoals ondiep en diep water en moeras, significant in areaal toe, waarschijnlijk door uiterwaardvergravingen. Hogere locaties waarop stroomdalgraslanden voorkomen zullen eveneens in areaal afnemen door de uiterwaardvergravingen, die in totaal 2117 ha

aantasten. In een aantal uiterwaardplannen is, net als langs de Waal, ontwikkeling van hardhoutooibos (Essen-Iepenbos) in de kleine uiterwaardvlakte in de plannen opgenomen. Opvallend is de toename van rivierduinen. Natuurlijke rivierduinvorming is momenteel langs de IJssel nagenoeg afwezig. Een verwijdering van de stenen oeververdediging (niet als maatregel opgenomen in scenario 'Natuur en veiligheid 18000') zou nodig zijn om het proces weer op gang te brengen (Kater et al., 2012).

Tabel 5.4

Areaalveranderingen van ecotopen langs de IJssel in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' (bron: Blokkendoos voor de Rijn - PKB, versie 2.00.0010).

Ecotopen	Areaalverandering (ha)
Ondiep water	+283,7
Diep water	+24,4
Hardhoutooibos	+75,3
Zachthoutooibos	-0,4
Stroomdalgrasland	-121,4
Rivierduin	+46,4
Dynamische ruigte	-14,3
Natuurlijk grasland	+6779,8
Moeras	+190,9
Oever	-4,1
Netto areaalverandering van natuurlijke ecotopen	+7260,3 ¹

¹ De netto areaalverandering van natuurlijke ecotopen is bepaald door het optellen van de areaalveranderingen van de ecotopen in de tabel, die alle zijn gegeven door de Blokkendoos. Dit getal wijkt om onbekende reden iets af van de door de Blokkendoos gegeven 'netto verandering areaal met natuurwaarde'.

5.7 Conclusies

De Blokkendoosanalyse van het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' laat zien dat het mogelijk is om een hoogwater van 18000 m³/s af te voeren door een Rijnsysteem met een groot oppervlakte aan natuur. Kleine dijkverhogingen op knelpunten zijn hiervoor wel noodzakelijk. Het scenario voorziet in verschillende accenten (Tabel 5.5), zodat per riviertak natuurlijke kwaliteiten worden versterkt. Zo kan langs de IJssel veel binnendijs gebied aan de uiterwaarden worden toegevoegd vanwege het gunstige natuurlijke reliëf, en sluiten langs de Waal, waar veel minder mogelijkheden voor dijkverleggingen zijn, uiterwaardplannen goed aan bij de grote natuurlijke dynamiek van deze Rijntak. De uitbreiding van het areaal natuur door de maatregelen in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' is groot (Tabel 5.5), dit gaat echter voor het overgrote deel om natuurlijk grasland. Door uiterwaardvergravingen zullen drogere ecotopen, zoals stroomdalgraslanden, substantieel in areaal afnemen. Natte ecotopen, zoals ondiep water en moeras, nemen in areaal toe.

De analyse laat ook zien dat de hydraulische ruimte voor natuurlijke successie van vegetaties over grote oppervlaktes nihil is. Deze bevinding sluit aan bij eerdere berekeningen van het, beperktere, RvR-maatregelenpakket voor de IJssel door Makaske et al. (2011). Om de successie in de grote arealen aan natuurlijke graslanden in de hand te houden is intensief begrazingsbeheer noodzakelijk. Dit zou gecombineerd kunnen worden met natuurvriendelijk agrarisch gebruik. Met hydraulische modellen kan onderzocht worden in hoeverre in stromingsluwe delen van de uiterwaarden nog enige successie mogelijk is. Alleen extra rivierverruimende maatregelen, in aanvulling op die in het geanalyseerde scenario, kunnen de mogelijkheid bieden om op grotere schaal successie toe te staan.

Zoals geïllustreerd door scenario 'Natuur en veiligheid 18000' ontstaan mogelijk grote arealen natuurlijke graslanden bij uitvoering van rivierkundige maatregelen om de toekomst 18000 m³/s af te kunnen voeren. In dat geval is het cruciaal voor het berekenen van maatgevende hoogwaterstanden met hydraulische modellen dat de ruwheid van natuurlijke graslanden juist wordt ingeschat. Vanwege het grote areaal heeft een kleine over- of onderschatting van de hydraulische ruwheid van natuurlijke

graslanden grote gevolgen voor de berekende waterstanden. Querner en Makaske (2012) hebben laten zien dat er aanzienlijke wetenschappelijke onzekerheid is over de werkelijke hydraulische ruwheid van korte uiterwaardvegetaties, waaronder natuurlijke graslanden. Zeker wanneer natuurlijke graslanden in de toekomst een nog veel groter deel van de uiterwaardvegetatie uit gaan maken is nader onderzoek dringend geboden, vanwege de grote gevolgen van afwijkende ruwheden voor maatgevende waterstanden en daarmee voor de keuze van rivierkundige maatregelen.

Ondanks de grote toename van het areaal aan riviernatuur (Tabel 5.5) zijn de Natura 2000- en EHS-doelstellingen in het scenario 'Natuur en veiligheid 18000' niet haalbaar. Hoewel het scenario voorziet in een grote uitbreiding van natuurlijke graslanden en een beperkte uitbreiding van de hoeveelheid moeras en ondiep water, gaat dit gepaard met areaalafname van belangrijke EHS- en Natura 2000-ecotopen als stroomdalgraslanden en zachthoutoobossen.

Vanuit het oogpunt van veerkracht van riviernatuur is de relatief eenzijdige natuur zonder successie met grote oppervlakten natuurlijke graslanden, zoals in scenario 'Natuur en veiligheid 18000', ongewenst. Veerkracht vraagt om heterogeniteit, die bereikt kan worden door ruimtelijke variabiliteit in ecotopen en successiestadia te realiseren. In het volgende hoofdstuk wordt hier verder op ingegaan.

Tabel 5.5

Arealen aan buitengedijkt gebied en vergraven uiterwaarden per riviertak in scenario 'Natuur en veiligheid 18000' (bron: Blokkendoos voor de Rijn - PKB, versie 2.00.0010).

Riviertak	Areaal buitengedijkt (ha)	Areaal vergraven (ha)	Areaal natuurwinst (ha)
Boven-Rijn	2891	0	1727
Waal	1559	1550	2589
Pannerdensch Kanaal	86	240	342
IJssel	5663	2117	7260
Nederrijn-Lek	668	1514	1954
Totaal	10867	5421	13872

6 Strategiegien om riviernatuur klimaatbestendiger te maken

6.1 Inleiding

In de hoofdstukken 3 en 4 zijn effecten van klimaatverandering op riviernatuur beschreven. Een voorlopige algemene conclusie is dat de toename van de abiotische dynamiek die gepaard gaat met klimaatverandering waarschijnlijk positieve effecten op de riviernatuur zal hebben, omdat riviernatuur goed aangepast is aan deze dynamiek die zal leiden tot grotere diversiteit en veerkracht van riviernatuur. Voor de belangrijke rivierecotopen worden geen grote areaalveranderingen door klimaatverandering verwacht, maar kleine areaalverschuivingen en kwaliteitsverlies van bepaalde ecotopen kunnen wel optreden. Verder kunnen bepaalde soorten binnen de riviernatuur wel degelijk nadelige effecten ondervinden, al lijkt de biodiversiteit toe te nemen. In hoofdstuk 5 is vervolgens geïllustreerd hoe hoogwateradaptatiemaatregelen in respons op klimaatverandering wel kunnen leiden tot belangrijke areaalveranderingen van rivierecotopen.

De vraag is hoe nadelige effecten voor riviernatuur zo veel mogelijk kunnen worden beperkt en of gerichte maatregelen zouden kunnen leiden tot versterking van riviernatuur in tijden van klimaatverandering. Belangrijk hierbij is dat riviernatuur bij uitstek een verbindende functie heeft, die soorten in staat stelt te migreren naar nieuwe leefgebieden die door klimaatverandering beschikbaar komen. Met andere woorden: versterking van riviernatuur ondersteunt ook klimaatadaptatie van andere met het riviereengebied verbonden ecosystemen. Studies van klimaatadaptatiestrategieën voor natuur leggen een sterke nadruk op de nationale en internationale functie van riviernatuur. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de klimaatadaptatiemogelijkheden voor riviernatuur.

6.2 Nationale en internationale klimaatadaptatiestrategieën voor riviernatuur

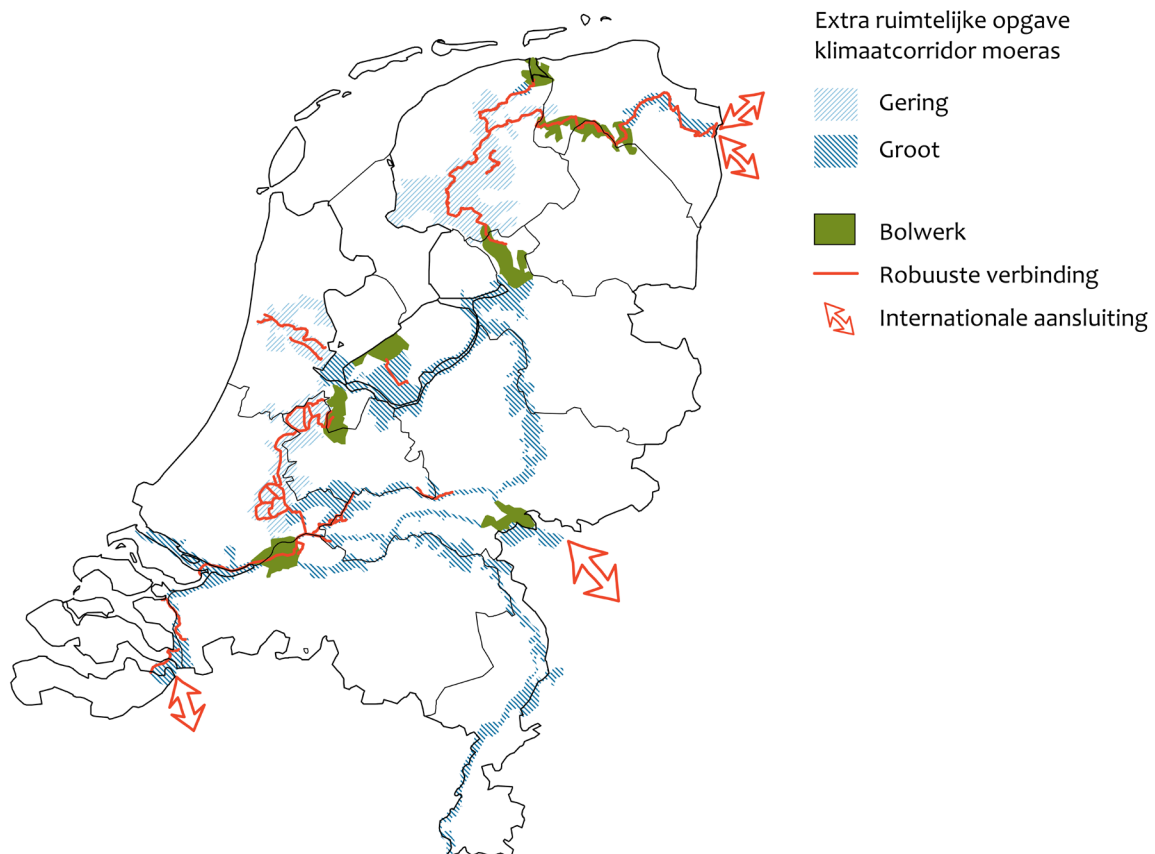
Een belangrijk uitgangspunt in klimaatadaptatiestudies voor natuur is dat grote ecosystemen met een hoge biodiversiteit, een grote mate van interne heterogeniteit en een goede ruimtelijke samenhang, in het algemeen veerkrachtig en goed bestand zijn tegen externe verstoringen, zoals klimaatverandering (Vos et al., 2007). Op basis hiervan kunnen onderstaande algemene richtlijnen gegeven worden voor maatregelen die ecosystemen veerkrachtiger maken met betrekking tot klimaatverandering.

1. De achteruitgang van koudeminnende soorten kan vertraagd of gestopt worden door andere drukfactoren op het ecosysteem, zoals verdroging, te verminderen.
2. Het migreren van soorten van huidige naar toekomstige habitats kan mogelijk gemaakt worden door het ecosysteem te verbinden aan ecologische netwerken.
3. Door het vergroten van natuurgebieden met een grote mate van interne heterogeniteit kunnen extreme omstandigheden beter door de soorten worden opgevangen.

Verder pleitten Vos et al. (2007) voor integrale gebiedsgerichte adaptatiemaatregelen, waarbij naast natuur ook aandacht wordt besteed aan landbouw en waterbeheer.

Vos et al. (2010) hebben voor natte natuur een klimaatadaptatiestrategie uitgewerkt waarin een belangrijke rol voor riviernatuur is weggelegd. Zij hebben een zogenoemde klimaatadaptatiezone voor wetlandecosystemen afgebakend (Figuur 6.1), waarin adaptatiemaatregelen zich zouden moeten concentreren. Bestaande grote wetlandgebieden (bolwerken) vormen de kern van deze zone, die onder andere via de riviertakken met elkaar verbonden zijn. Naast de riviertakken vormt 'de natte as',

een robuuste natuurverbinding tussen de Zeeuwse wateren en het Lauwersmeer, een belangrijk onderdeel van de klimaatadaptatiezone.



Figuur 6.1 De klimaatadaptatiezone voor wetlandecosystemen (Vos et al., 2010), een onderdeel van de internationale klimaatcorridor moeras (uit: Vonk et al., 2010).

In de optiek van Vos et al. (2010) zijn langs de riviertakken relatief veel adaptatiemaatregelen nodig. Het gaat hierbij om het creëren van ecologische verbindingen, het vergroten van eenheden en het vergroten van de interne heterogeniteit binnen eenheden. Voor het laatste is het van belang dat natuurlijke landschapsvormende processen gestimuleerd worden. In het rivierengebied betekent dit ruimte geven aan natuurlijke hydrodynamiek en morfodynamiek.

Het internationale belang van de klimaatadaptatiezone voor wetlandecosystemen werd beschreven door Vonk et al. (2010). Akkerman (2010) beschreef de Nederlandse Rijntakken als onderdeel van de internationale West European Climate corridor, waarin natuurrijke gebieden waterschaarste kunnen tegengaan en vele functies kunnen verbeteren.

Bovenstaande aanpak richt zich sterk op systeemherstel, hetgeen vraagt om een daarop toegesneden beleidskader. Gezien de toenemende onvoorspelbaarheid van de exacte samenstelling van ecosystemen in het licht van klimaatverandering lijkt het sturen op soorten en einddoelen niet langer effectief. Het beleid zou zich moeten richten op procesherstel en het creëren van de juiste abiotische condities om zodoende het functioneren van ecosystemen te verbeteren (Vos et al., 2007).

6.3 Adaptatiemaatregelen in het rivierengebied

Hoe kunnen bovenstaande algemene richtlijnen en adaptatiestrategieën vertaald worden in concrete maatregelen die in het rivierengebied voor verbetering van de veerkracht van riviernatuur genomen kunnen worden? Het antwoord op deze vraag is driedelig.

1. Vergroten

Grote natuurgebieden zijn veerkrachtiger en minder kwetsbaar dan kleine gebieden. In het rivierengebied vraagt het creëren van grote gebieden een riviertakgerichte benadering, waarbij versnipperde uiterwaardgebieden met ieder een eigen beheerder en beheerstype aaneengeregen worden tot grote eenheden, waarbinnen natuurdoelen en bijbehorend beheer optimaal op elkaar worden afgestemd. Maatregelen die hierbij passen zijn ingrepen die het bestaande uiterwaardgebied vergroten, zoals dijkverleggingen en het aanleggen van retentiegebieden en groene rivieren. Echter, ook binnen het bestaande uiterwaardgebied kunnen beheersveranderingen (van overwegend agrarisch naar meer natuurgericht) bijdragen aan het creëren van grotere eenheden. Tot slot is ook het inrichten van natuurgebieden in het aangrenzende binnendijkse gebied een vorm van areaalvergroting, al zijn dergelijke gebieden niet optimaal verbonden met het uiterwaardgebied.

2. Verbinden

Het verbinden van riviernatuurgebieden faciliteert migratie van soorten naar gebieden met optimale leefomstandigheden en draagt als zodanig bij aan hun overlevingskansen als hun habitats veranderen door klimaatverandering. In het rivierengebied hebben verbindingen twee dimensies: (1) in de longitudinale zin kunnen uiterwaardecosystemen stroomopwaarts en stroomafwaarts verbonden worden met min of meer gelijksoortige ecosystemen, (2) in de laterale zin kunnen uiterwaardecosystemen verbonden worden met deels andersoortige (binnendijkse) ecosystemen. Longitudinale verbindingen zijn vooral van belang voor de nationale en internationale functie van de rivierecosystemen en bijbehorende grootschalige migratie van soorten. Laterale verbindingen hebben een meer regionale functie en kunnen bij uitstek soorten de gelegenheid bieden zich aan te passen aan veranderende dynamiek in het riviersysteem. Maatregelen die hierbij horen zijn het herstel van natuurlijke gradiënten vanuit de uiterwaard naar hogere gebieden, zoals stuwwallen (bijvoorbeeld door het verwijderen of passeerbaar maken van wegen) en het verbinden van beekdalen met uiterwaarden en van beken met rivieren.

3. Vergroten van heterogeniteit

Een grote interne heterogeniteit van het uiterwaardecosysteem vergroot de biodiversiteit en de overlevingskansen van soorten bij externe verstoringen. De heterogeniteit van het uiterwaardecosysteem wordt in hoge mate bepaald door de natuurlijke morfodynamische rivierprocessen die voortdurend zorgen voor een rijke diversiteit aan terreinvormen en substraten (Figuur 6.2). Voor een deel is deze landschapsdiversiteit ontstaan door processen uit het verleden die nu in het door mensen beheerste riviersysteem niet meer voorkomen. Dit is een reden om zeer bewust om te gaan met de producten van deze processen. Voor een ander deel is de huidige landschapsdiversiteit in evenwicht met de huidige rivierprocessen en is dus nieuwvorming mogelijk van vormen en substraten. Dit betekent dat morfodynamische processen gebruikt kunnen worden als motor om de heterogeniteit van het uiterwaardecosysteem te vergroten. Maatregelen die de morfodynamiek in de uiterwaarden vergroten zijn onder meer het verwijderen van zomerkades, het verwijderen van oeververdediging en het aanleggen van nevengeulen [zie Kater et al., (2012) voor een compleet overzicht]. Een andere manier om de heterogeniteit van uiterwaardecosystemen te vergroten is het creëren van ruimtelijke variabiliteit in successiestadia door een hierop gericht beheer. Hierbij valt te denken aan vormen van cyclisch beheer, waarbij periodiek in delen van het gebied de successie wordt teruggezet terwijl andere delen ongemoeid gelaten worden. Ook een variabele begrazingsdruk kan leiden tot ruimtelijke patronen met verschillende successiestadia in grote beheersgebieden. In het algemeen kan gesteld worden dat ruimte voor spontane successie nodig is om te komen tot voldoende heterogeniteit van uiterwaardecosystemen. Maatregelen als dijkverhoging, dijkverplaatsing of uiterwaardverlaging kunnen meer ruimte voor successie bieden, zonder dat de hoogwaterveiligheid gevaar loopt. Bij uiterwaardvergravingen is het van belang dat natuurlijk uiterwaardreliëf dat zich onder de huidige omstandigheden niet opnieuw kan vormen ontzien wordt.

Verder moet de maatregel zodanig worden uitgevoerd dat geen grote oppervlakten met uniform substraat ontstaan.



Figuur 6.2 Kronkelwaarde reliëf in de uiterwaard van Cortenoever langs de IJssel. De door rivierprocessen gevormde afwisseling van zandige ruggen en kleiige laagtes vormt hier de basis voor een grote heterogeniteit van het uiterwaardecosysteem.

6.4 Riviertakspecifieke strategieën

Hoewel de in de voorgaande paragrafen gegeven richtlijnen en maatregelen in grote lijnen voor alle Rijntakken gelden, is het aan te bevelen riviertakspecifieke adaptatiestrategieën te ontwikkelen die aansluiten bij de natuurlijke kwaliteiten en mogelijkheden van de verschillende Rijntakken. Hieronder worden voor de drie Rijntakken de belangrijkste elementen voor een klimaatadaptatiestrategie voor riviernatuur beschreven.

Waal

Als belangrijkste riviertak met de grootste afvoer heeft de Waal ook de grootste morfodynamiek. Deze biedt kansen om riviernatuur met grote heterogeniteit te creëren. Langs de Waal zijn veel mogelijkheden voor relatief grote maatregelen die de morfodynamiek vergroten, zoals het graven van nevengeulen en het verlagen van uiterwaarden, omdat in de Waal uiterwaarden nog maar weinig oorspronkelijk reliëf aanwezig is dat beschermd zou moeten worden. Er zijn langs de Waal maar beperkte mogelijkheden om riviernatuurgebieden lateraal uit te breiden door bijvoorbeeld dijkverleggingen (zie ook hoofdstuk 5). Het accent bij het leggen van verbindingen zou moeten liggen op de longitudinale dimensie: een goede aansluiting van de riviernatuur met getijdennatuur kan eigenlijk alleen via de Waal gerealiseerd worden.

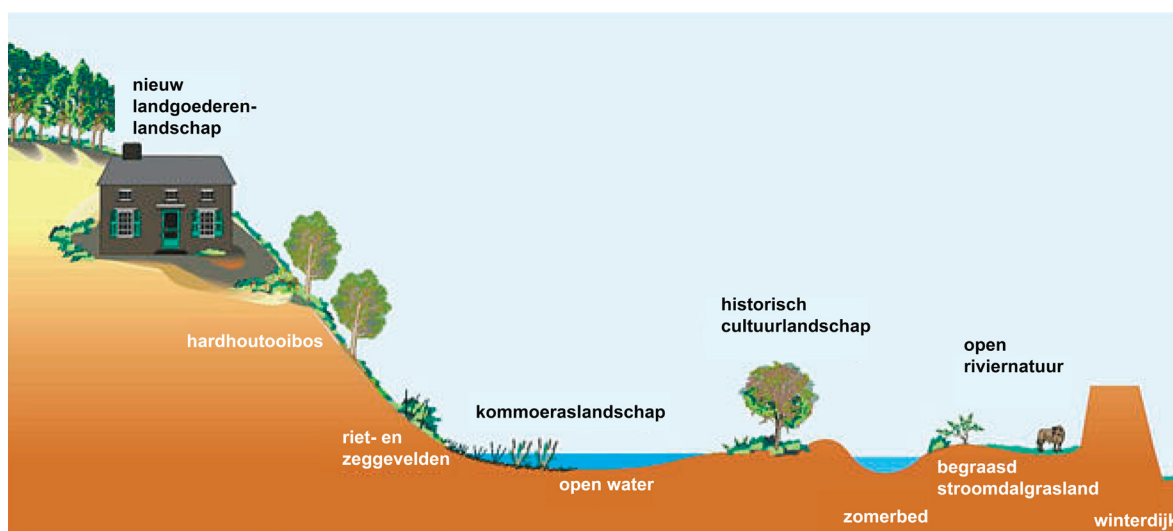
Nederrijn-Lek

Doordat de Nederrijn-Lek gestuwd is, is de dynamiek langs deze riviertak beperkt. Er zijn wel maatregelen te nemen die lokaal de morfodynamiek zullen vergroten (zie Kater et al., 2012). In de uiterwaardnatuur van de Nederrijn-Lek is aanzienlijke heterogeniteit aanwezig door de aanwezigheid van relatief gaaf uiterwaarde reliëf in oude kronkelwaarden. Langs de Nederrijn liggen uitstekende mogelijkheden om laterale verbindingen te creëren met drogere ecosystemen op de stuwwal en natte

ecosystemen in beekdalen. De mogelijkheden voor het realiseren van grotere eenheden natuur moeten ook in deze richting gezocht worden. De mogelijkheden voor het realiseren van een longitudinale verbinding met het getijdengebied zijn zeer beperkt, omdat stroomafwaarts grote stedelijke gebieden voorkomen en nauwelijks uiterwaarden aanwezig zijn.

IJssel

De IJssel vormt een cruciale schakel in een klimaatadaptatiestrategie voor Nederlandse riviernatuur. Door de oriëntatie van de IJssel biedt zij als enige riviertak soorten de mogelijkheid om noordwaarts te migreren, naar natte gebieden in Noord-Nederland. Bovendien bestaan langs de IJssel veel mogelijkheden om grotere eenheden riviernatuur te realiseren door binnendijkse gebieden toe te voegen aan de uiterwaarden. Het IJsseldal is op veel plaatsen relatief dunbevolkt en wordt geflankeerd door hogere gronden, zoals stuwwallen en oude rivierterrassen. De zone tussen de huidige uiterwaarden en de hogere gronden biedt grote mogelijkheden voor waterberging, het realiseren van extra afvoercapaciteit en het leggen van robuuste laterale verbindingen met aangrenzende droge en natte ecosystemen (Figuur 6.3; Bulthuis, 2008; De Lange et al., 2013). De morfodynamiek langs de IJssel is beperkter dan langs de Waal, maar door het nemen van gerichte maatregelen, zoals ontstening van de oevers, kunnen morfodynamische processen, en daarmee vergroting van ecosysteemheterogeniteit, gestimuleerd worden. Langs de IJssel is verder nog veel waardevol uiterwaardreliëf aanwezig (Figuur 6.2) dat borg staat voor ecosysteemheterogeniteit. Een knelpunt voor natte natuur is mogelijk verdroging langs de bovenloop tijdens langdurige droogteperioden (zie sub-paragraaf 4.2.4). Binnendijkse kwelgebieden langs hogere gronden kunnen mogelijk benut worden als buffers om de ernstigste effecten van langdurig laagwater op te vangen.



Figuur 6.3 Schematische doorsnede door het IJssellandschap waarin binnendijks gebied tussen de stuwwal en de rivier is toegevoegd aan het overstromingsgebied (uit: Bulthuis, 2008).

6.5 Conclusies

De Nederlandse riviernatuur is van groot nationaal en internationaal belang. Nationaal spelen de uiterwaardecosystemen een belangrijke verbindende rol in een netwerk van natte natuurgebieden waarvan ook de Zeeuwse getijdenwateren, de randmeren en de venige plassengebieden in West- en Noord-Nederland deel uitmaken (de zogenoemde natte as). Internationaal zijn de Nederlandse Rijntakken onderdeel van een noord-zuid-corridor van natte natuur in het stroomgebied van de Rijn, waarlangs soorten migreren naar optimale leefgebieden in respons op veranderingen in abiotische omstandigheden. Een klimaatadaptatiestrategie die uitgaat van de principes van ecologische netwerken doet recht aan de belangrijke positie die de Nederlandse riviernatuur inneemt.

Een ander belangrijk uitgangspunt voor een klimaatadaptatiestrategie voor riviernatuur is dat *systeemherstel* de voorkeur moet krijgen boven het beschermen van individuele soorten. Gezien de

onvoorspelbaarheid van de exacte samenstelling van ecosystemen in een veranderend klimaat is sturen op soorten niet langer een geschikte aanpak. Het beleid zou zich moeten richten op het functioneren van ecosystemen door het creëren van de juiste abiotische condities.

Om de veerkracht van de rivierecosystemen te vergroten, en daarmee de kwetsbaarheid voor klimaatverandering te verminderen, moeten maatregelen gericht worden op drie dimensies: (1) het *vergroten van natuureenheden*, (2) het *verbinden van natuureenheden*, longitudinaal en lateraal, en (3) het *vergroten van de heterogeniteit* binnen natuureenheden.

Het bovenstaande houdt in dat de voltooiing van de EHS en uitbreiding van Natura 2000-gebieden in het rivierengebied prioriteit moeten krijgen. De rivierkundige maatregelen die genomen gaan worden om het riviersysteem geschikt te maken voor een afvoer van 18000 m³/s bieden kansen om meer riviernatuur te ontwikkelen. Belangrijk is dat niet alleen natuureenheden vergroot en op elkaar aangesloten worden, maar dat ook het beheer van de verschillende gebieden op elkaar afgestemd wordt. Het vergroten van de heterogeniteit vraagt om ruimte voor *morfodynamische processen* en bescherming van uiterwaardreliëf dat zich onder de huidige omstandigheden niet opnieuw kan vormen. Ook ruimte voor *vegetatiesuccessie* is een voorwaarde voor het creëren van heterogeniteit.

Omdat de Nederlandse riviertakken verschillende kwaliteiten en mogelijkheden hebben voor de aspecten vergroten, verbinden en vergroten van heterogeniteit, moeten *riviertakspecifieke adaptatiestrategieën* voor riviernatuur ontwikkeld worden. Door haar noord-zuidoriëntatie, de natuurlijke geomorfologische gesteldheid met belangrijke ecosysteemgradiënten en de ruimte voor grote oppervlakten natuur, vormt het IJsseldal een cruciale schakel in een nationale klimaatadaptatiestrategie voor riviernatuur.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In de studie die in dit rapport wordt beschreven is geprobeerd een beeld te geven van hoe de Nederlandse riviernatuur zich op de middellange termijn (de periode 2015-2050) zal gaan ontwikkelen onder invloed van de verwachte klimaatverandering. Geconstateerd is dat er sprake is van een sterke verwevenheid van enerzijds de min of meer directe effecten van klimaatverandering die, vooral via veranderingen in hydrodynamiek en morfodynamiek de kwaliteit van de riviernatuur beïnvloeden, en anderzijds de effecten van klimaatadaptatiemaatregelen, zoals veranderingen in uiterwaardbeheer of –inrichting, die mogelijk groter zijn dan de hiervoor genoemde directe effecten van klimaatverandering op riviernatuur. In deze studie is daarom aandacht besteed aan beide soorten effecten van klimaatverandering.

Uit een literatuurstudie kan geconcludeerd worden dat de *hydrodynamiek* van het riviersysteem aanzienlijk zal gaan veranderen onder invloed van klimaatverandering. Voorspeld wordt dat de gemiddelde winterafvoer toe zal nemen, dat piekafvoeren hoger zullen worden, en dat de gemiddelde zomerafvoer af zal nemen of gelijk zal blijven. De veranderingen in hydrodynamiek zouden kunnen leiden tot veranderingen in morfodynamiek. Verwacht wordt echter dat deze effecten van klimaatverandering gecompenseerd of overschaduwd zullen worden door andere langetermijnontwikkelingen in het riviersysteem, zodat de *morfodynamiek* uiteindelijk niet sterk zal veranderen. Een toename van rivierduinvorming in de oeverzone, door meer en langduriger perioden van laagwater, is wel waarschijnlijk.

Op theoretische gronden wordt verwacht dat de riviernatuur baat kan hebben bij de verwachte grotere dynamiek, die zal leiden tot meer heterogeniteit en diversiteit, en daarmee tot grotere veerkracht. Voor een aantal ecotopen/habitats lijkt echter een afname van areaal en/of kwaliteitsverlies mogelijk, vooral door de effecten van langdurige droogte en laagwater.

Uit een nadere analyse van de effecten van periodieke droogte en langdurig laagwater op het grondwatersysteem en op voor Natura 2000 belangrijke doelecotopen blijkt dat er waarschijnlijk geen belangrijk areaalverlies op zal treden, maar dat kwaliteitsverlies waarschijnlijk is voor: (1) Essen-Iepenbossen, (2) glanshaverhooilanden, (3) zachthoutooibossen en (4) natte ruigtes. Anderzijds geeft de analyse aan dat positieve effecten waarschijnlijk zijn voor: (1) Abelen-Iepenbossen, (2) stroomdalgraslanden en (3) oeverzones. Uit de grondwaterhydrologische analyse kan geconcludeerd worden dat er belangrijke verschillen bestaan tussen bovenlopen en benedenlopen van de riviertakken, voor wat betreft de risico's van verdroging van uiterwaardnatuur. In bovenlopen kan kweldruk bufferend werken op grondwaterstands daling tijdens laagwaterperioden, terwijl in benedenlopen de waterstands daling in het zomerbed wordt begrensd door de stuwende werking van de zeespiegel of het Ketelmeerpeil. Een afzonderlijke analyse van de kwetsbaarheid van enkele ecotopen voor langdurig lage grondwaterstanden in het groeiseizoen geeft aan dat Essen-Iepenbossen en glanshaverhooilanden relatief kwetsbaar zijn, terwijl zachthoutooibossen, stroomdalgraslanden en slikkige oevers een relatief grote tolerantie voor lage grondwaterstanden hebben.

Van de voorspelde toename van de piekafvoeren in de Rijn worden geen directe effecten op riviernatuur verwacht. Echter, de adaptatiemaatregelen die zullen worden genomen om deze toename op te kunnen vangen zullen wel grote effecten op de riviernatuur hebben. Met de Blokkendoos (een instrument om gecombineerde hydraulische effecten van rivierkundige maatregelen te evalueren) is onderzocht of het mogelijk is om hoogwateradaptatiemaatregelen in het Rijnsysteem te combineren met een groot areaal aan riviernatuur. De Blokkendoosanalyse van het ontwikkelde riviernatuurvriendelijke scenario 'Natuur en veiligheid 18000' laat zien dat het mogelijk is om een hoogwater van 18000 m³/s af te voeren door een Rijnsysteem met een groot oppervlakte aan natuur. Een belangrijk nadeel is echter dat de winst aan riviernatuur in scenario 'Natuur en veiligheid 18000'

voor het overgrote deel uit natuurlijke graslanden bestaat en dat er zeer weinig ruimte voor spontane successie is. Dit houdt in dat de huidige Natura 2000- en EHS-ambities vragen om extra maatregelen, in aanvulling op de rivierkundige klimaatadaptatiemaatregelen die nodig zijn om het Rijnsysteem geschikt te maken voor de hogere piekafvoeren, om ruimte te scheppen voor gevarieerde natuur en de daarmee geassocieerde vegetatiesuccessie.

De Nederlandse riviernatuur is van groot nationaal en internationaal belang, enerzijds als robuust bolwerk van natte natuur die een niche kan bieden voor bedreigde soorten, en anderszijds als (klimaat)corridor en 'stepping stone' voor migrerende soorten die op zoek zijn naar nieuwe leefgebieden. Gezien de hierboven beschreven mogelijke klimaatgestuurde veranderingen in het riviersysteem lijkt het nodig om specifiek voor riviernatuur een klimaatadaptatiestrategie te ontwikkelen die de nationale en internationale functie in de toekomst waarborgt.

7.2 Aanbevelingen

Om het areaal, de kwaliteit en de functie van riviernatuur in de toekomst op peil te houden, of uit te breiden en te verbeteren, is het allereerst van belang om vroegtijdig riviernatuurbelangen te integreren in planning van ruimtelijke ontwikkelingen, die bijvoorbeeld plaatsvinden in het kader van hoogwateradaptatiemaatregelen. Een duidelijke strategie voor riviernatuur is hiervoor een noodzakelijke voorwaarde.

De onderstaande aanbevelingen weerspiegelen de belangrijkste uitgangspunten voor een klimaatadaptatiestrategie voor Nederlandse riviernatuur.

1. Geef systeemherstel de voorkeur boven het beschermen van individuele soorten. Gezien de onvoorspelbaarheid van de exacte samenstelling van ecosystemen in een veranderend klimaat is sturen op soorten niet langer een geschikte aanpak. Het beleid moet zich gaan richten op het beter laten functioneren van ecosystemen door het creëren van de juiste abiotische condities.
2. Richt de aanpak op het vergroten van de veerkracht van de rivierecosystemen, om daarmee de kwetsbaarheid voor klimaatverandering te verminderen. Dit houdt het volgende in: (1) het vergroten van natuureenheden, (2) het verbinden van natuureenheden, en (3) het vergroten van de heterogeniteit binnen natuureenheden. De eerste twee punten betekenen dat de voltooiing van de EHS en uitbreiding van Natura 2000-gebieden in het rivierengebied, in functionele relatie met de toekomstige hoogwateradaptatiemaatregelen, de prioriteit moeten krijgen. Dit houdt ook het creëren van grote beheerseenheden in. Het derde punt, het vergroten van de heterogeniteit, vraagt om ruimte voor morfodynamische processen en vegetatiesuccessie. Cyclisch beheer, mits goed uitgevoerd, kan vergroting van de heterogeniteit ondersteunen. In bepaalde gevallen zal ook bescherming van in het verleden ontstane aardkundige diversiteit in de uiterwaarden nodig zijn om heterogeniteit te waarborgen.
3. Ontwikkel riviertakspecifieke adaptatiestrategieën voor riviernatuur. De Nederlandse riviertakken hebben verschillende kwaliteiten en mogelijkheden voor de aspecten: vergroten, verbinden en vergroten van heterogeniteit (Tabel 7.1). In riviertakspecifieke adaptatiestrategieën kan hier optimaal gebruik van gemaakt worden, en is synergie van natuur en veiligheid het beste te realiseren.

Tabel 7.1

De mogelijkheden en beperkingen voor het vergroten van de veerkracht van rivierecosystemen, door het vergroten en verbinden van riviernatuureenheden en het vergroten van de heterogeniteit binnen riviernatuureenheden.

Riviertak	Vergroten en verbinden	Heterogeniteit vergroten
Waal	Laterale mogelijkheden beperkt Laag-dynamische natte natuur eventueel binnendijks realiseren Stroomafwaartse verbinding met getijdengebied van belang	De relatief grote morfodynamiek biedt kansen voor creëren van hoogdynamische natuur Bestaande geomorfologische kwaliteiten zijn gering
Nederrijn-Lek	Langs de stuwwal laterale mogelijkheden voor vergroting en verbinding met beekdalen en drogere bosccosystemen Stroomafwaartse verbinding met getijdennatuur is moeilijk	Dynamiek langs deze grotendeels gestuwde riviertak is beperkt. Kansen voor laagdynamische natte natuur in kwelzones langs de stuwwal Bestaande geomorfologische kwaliteiten bieden kansen voor ontwikkelen van interessante ecologische gradiënten
IJssel	Grote laterale mogelijkheden om gebieden te vergroten door het toevoegen van binnendijks gebied aan de uiterwaarden Mogelijkheden voor laterale verbindingen met beekdalen en drogere bosccosystemen op stuwwallen en oude rivierterrassen Stroomafwaartse verbinding met natte zoetwatergebieden in Noord-Nederland, echter verbinding met getijdennatuur is moeilijk	Aanzienlijke hydrodynamiek met vooral langs de bovenloop risico van verdroging tijdens lange laagwaterperiodes Morfodynamiek kan bevorderd worden door ontstening van de oevers Bestaande geomorfologische kwaliteiten bieden kansen voor ontwikkelen van interessante ecologische gradiënten

Literatuur

- Akkerman, G.J., 2010. West European Climate Corridor; een strategie voor klimaatadaptatie in het stroomgebied van de Rijn. Rapport Royal Haskoning, Nijmegen, 36 p.
- Asselman, N.E.M., 1997. Suspended sediment in the river Rhine; the impact of climate change on erosion, transport and deposition. Nederlandse Geografische Studies 234, Koninklijk Nederlands Geografisch Genootschap/ Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht, 257 p.
- Asselman, N.E.M., H. Middelkoop en P.M. van Dijk, 2003. The impact of changes in climate and land use on soil erosion, transport and deposition of suspended sediment in the River Rhine. *Hydrological Processes* 17, pp. 3225–3244.
- Asselt, M.B.A van, H. Middelkoop, S. van 't Klooster, W.P.A. van Deursen, M. Haasnoot, J.C.J. Kwadijk, H. Buiteveld, G.P. Können, J. Rotmans, N. van Gemert en P. Valkering, 2001. Integrating water management strategies for the Rhine and Meuse basin in a changing environment. Final report of the NRP project O/958273/01, ICIS, Maastricht/Utrecht.
- Beersma, J., J. Kwadijk en R. Lammersen, 2008. Gevolgen van klimaatverandering op de Rijnafvoeren. In: P. Vellinga, C.A. Katsman, A. Sterl en J.J. Beersma (eds.), *Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland: een internationale wetenschappelijke beoordeling*. Rapport KNMI en Wageningen UR, De Bilt/Wageningen, pp. 121-139.
- Besse-Lototskaya, A.A., P.F.M. Verdonchot en R.C.M. Verdonchot, 2008a. Effecten van 'ruimte voor water' op natuur in inundatiegebieden; fase 1: aanpak en ontwikkeling van het paleo-instrument. *Alterra-rapport 1650*, Alterra, Wageningen, 77 p.
- Besse-Lototskaya, A.A., R. Hall, en P.F.M. Verdonchot, 2008b. Effecten van 'ruimte voor water' op natuur in inundatiegebieden; fase 2: validatie van het paleo-instrument en resultaten. *Alterra-rapport 1659*, Alterra, Wageningen, 41 p.
- Brinke, W. ten, 2005. The Dutch Rhine; a restrained river. *Veen Magazines*, Diemen, 228 p.
- Bulthuis, J., 2008. De IJsselvallei als klimaatbuffer? Scenariostudie naar mogelijk ruimtelijke consequenties van klimaatadaptatie. Rapport 500127002, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven, 44 p.
- Deltacommissie, 2008. Samen werken met water; een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. *Deltacommissie*, 134 p.
- Demon, A. en F. Alberts, 2005. De langetermijnvisie PKB Ruimte voor de Rivier; deel 1, toekomstbeeld en maatregelenpakket voor de lange termijn. *RIZA-rapport 2005.009*, RIZA, Lelystad, 93 p.
- Geest, G. van, A. de Niet en S. Teurlincx, 2011. Waterplanten langs de Nederlandse Rijntakken; huidige waarden, aanbevelingen voor inrichting, KRW-tool. Rapport Deltares, Delft/Utrecht, 62 p.
- Gouw, M.J.P. en G. Erkens, 2007. Architecture of the Holocene Rhine-Meuse delta (the Netherlands); a result of changing external controls. *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw* 86, pp. 23-54.
- Haasnoot, M., M. Ververs en H. Duel, 2002. Effecten van klimaatsverandering op ecotopen van rijkswateren. Rapport Q3258.00, WL Delft Hydraulics, Delft.
- Hobo, N., B. Makaske, H. Middelkoop en J. Wallinga, 2010. Reconstruction of floodplain sedimentation rates: a combination of methods to optimize estimates. *Earth Surface Processes and Landforms* 35 (13), pp. 1499-1515.
- Hurk, B. van den, A. Klein Tank, G. Lenderink, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger, S. Drijfhout en A. van Ulden, 2006. Climate change scenarios 2006 for the Netherlands. Scientific report; WR 2006-01, KNMI, De Bilt, 82 p.
- Kater, E., B. Makaske en G. Maas, 2012. Morfodynamiek langs de grote rivieren; inventarisatie van processen en evaluatie van maatregelen. Rapport 2012/OBN154-RI, Ministerie van EL&I, Den Haag/Bosch, Driebergen, 98 p.
- Katsman, C., J. Church, R. Kopp, D. Kroon, M. Oppenheimer, H.P. Plag, S. Rahmstorf, J. Ridley, H. von Storch, D. Vaughan en R. van de Wal, 2008. Bovengrensprojectie voor lokale zeespiegelstijging

- aan de Nederlandse kust voor 2100 en 2200. In: P. Vellinga, C.A. Katsman, A. Sterl en J.J. Beersma (eds.), *Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland: een internationale wetenschappelijke beoordeling*. Rapport KNMI en Wageningen UR, De Bilt/Wageningen, pp. 20-100.
- KNMI, 2006. *Klimaat in de 21e eeuw; vier scenario's voor Nederland*. KNMI, De Bilt, 16 p.
- KNMI, 2009. *Klimaatverandering in Nederland; aanvullingen op de KNMI' 06 scenario's*. KNMI, De Bilt, 32 p.
- Lange, H.J. de, G.J. Maas, B. Makaske, M. Nijssen, J. Noordijk, S. van Rooij en C.C. Vos, 2013. *Fauna in het rivierengebied; knelpunten en mogelijkheden voor herstel van terrestrische en amfibische fauna*. Rapport 2013/OBN175-RI, Ministerie van EZ, Den Haag/Bosch, Driebergen, 130 p.
- LVN, 2006. *Natura 2000 doelendocument; duidelijkheid bieden, richting geven en ruimte laten*. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 228 p.
- Maas, G.J., 1998. *Historisch-geomorfologische ontwikkeling van enkele riviertrajecten langs de IJssel*. Rapport 620, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 35 p.
- Makaske, B., 2008. *De kwetsbaarheid van delta's; zeven plagen in een geologisch perspectief*. *Geografie* 17 (9), pp. 50-55.
- Makaske, B., G.J. Maas, C. van den Brink en H.P. Wolfert, 2011. The influence of floodplain vegetation succession on hydraulic roughness: Is ecosystem rehabilitation in Dutch embanked floodplains compatible with flood safety standards? *AMBIO* 40 (4), pp. 370-376.
- Middelkoop, H., 1997. *Embanked floodplains in the Netherlands; geomorphological evolution over various time scales*. *Nederlandse Geografische Studies* 224, Koninklijk Nederlands Geografisch Genootschap/ Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht, 341 p.
- Peters, B., 2008. *Preadvies rivierengebied; trends, knelpunten en kennisvragen uit het rivierengebied*. Rapport DK nr. 2008/dk093-O, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede, 174 p.
- Pfister, L., J. Kwadijk, A. Musy, A. Bronstert en L. Hoffmann, 2004. Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine-Meuse basins. *River Research and Applications* 20, pp. 229-241.
- Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2007. *Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (deel 4) – Nota van toelichting*. Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, Den Haag, 128 p.
- Querner, E.P., E. Bergsma, H.A.J. van Lanen en C. Kwakernaak, 2011. *Lagere Rijnaafvoer bij veranderingen in klimaat en landgebruik*. *H2O* 44 (25/26), pp. 31-34.
- Querner, E.P. en B. Makaske, 2012. *Verkenning van stromingsweerstand; de hydraulische ruwheid van enkele natuurlijke uiterwaardvegetaties*. *Alterra-rapport 2355*, Alterra, Wageningen, 38 p.
- Rademakers, J.G.M. en H.P. Wolfert, 1994. *Het rivieren-ecotopen-stelsel: een indeling van ecologisch relevante ruimtelijke eenheden ten behoeve van ontwerp- en beleidsstudies in het buitendijks rivierengebied*. RIZA, Lelystad, 77 p.
- Schaminee J.H.J., J.C.H.P. Dirks en J.A.M. Janssen, 2010. *Grenzeloze Natuur; de internationale betekenis van Nederland voor soorten, ecosystemen en landschappen*. KNNV uitgeverij, Zeist, 144 p.
- Sieben, J., 2009. *Sediment management in the Dutch Rhine Branches*. *International Journal of River Basin Management* 7, pp. 43-53.
- Silva, W. en T. van der Linden, 2008. *Van Lobith en Eijsden naar zee; aanspraak op ruimte op de lange termijn voor veiligheid tegen overstroming*. Rapport RWS Waterdienst 2008.015, Rijkswaterstaat, Lelystad, 32 p.
- Thonon, I., 2006. *Deposition of sediment and associated heavy metals on floodplains*. *Nederlandse Geografische Studies* 337, Koninklijk Nederlands Geografisch Genootschap/ Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht, 174 p.
- Vonk, M., C.C. Vos en D.C.J. van der Hoek, 2010. *Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur*. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven, 109 p.
- Vos, C.C., B.S.J. Nijhof, M. van der Veen, P.F.M. Opdam en J. Verboom, 2007. *Risicoanalyse kwetsbaarheid natuur voor klimaatverandering*. *Alterra-rapport 1551*, Alterra, Wageningen, 76 p.
- Vos, C.C., D.C.J. van der Hoek en M. Vonk, 2010. *Spatial planning of a climate adaptation zone for wetland ecosystems*. *Landscape Ecology* 25, pp. 1465-1477.
- Wamelink, G.W.W., M. van Adrichem en H.F. van Dobben, 2010. *Een verkennende studie naar de bodemkwaliteit van Gelderse habitatgebieden*. *De Levende Natuur* 111 (4), pp. 160-165.

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2484
ISSN 1566-7197



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

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2484
ISSN 1566-7197

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

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

