



# Opties voor een klimaat- bestendige zoetwatervoorziening in Laag-Nederland

Tussentijds integratierapport, mei 2012

KvK thema Climate Proof Fresh Water Supply (CPFWS)





Copyright ©  
2012

Dit is een Nederlandstalig tussenrapport van het onderzoek in thema 2. Het rapport krijgt in de zomer van 2012 een formele uitwerking in het (Engelstalige) 'midterm review' rapport.

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

#### Aansprakelijkheid

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

# Opties voor een klimaatbestendige zoetwatervoorziening in Laag- Nederland

## Auteurs

Ad Jeuken, Marco Hoogvliet, Eelco van Beek, Esther van Baaren (Deltares)

Met bijdragen van:

Rianne van Duinen (Deltares/UT), Anne van der Veen (UT) – project 1.1

Aline te Linde (Deltares) – project 1.2.

Joost Delsman (Deltares/VU), Pieter Pauw (Deltares/WUR), Gualbert Oude Essink (Deltares) – project 2.1 en 2.2.

Sjoerd van der Zee (WUR), Sija Stofberg (WUR) – project 3.1 en 3.3

Koen Zuurbier en Pieter Stuyfzand (KWR/VU) – project 4.1

Wilfred Appelman, Raymond Creusen (TNO), Marcel Paalman (KWR) – project 4.2 en 6.3

Diana Katschnig, Jelte Rozema (VU) - project 3.2

Marjolein Mens (Deltares/UT) – project 5.1

Jan Kwakkel en Wil Thissen (TUD) – project 5.3

Jeroen Veraart – project 6.1



(

KvK rapportnummer

KvK55/2012

ISBN

Dit onderzoeksproject wordt uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat ([www.kennisvoorklimaat.nl](http://www.kennisvoorklimaat.nl)). Dit onderzoeksprogramma wordt medefinancierd door het Ministeries van Infrastructuur en Milieu, Energie en van Landbouw en Innovatie, STOWA, provincies Zuid-Holland en Zeeland., Rijkswaterstaat Zuid-Holland, de gemeente Rotterdam, de waterschappen Rijnland, Delfland, Schieland & de Krimpenerwaard en Scheldestromen.



## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	ix
1 Inleiding .....	1
1.1 Aanleiding, probleembeschrijving en context .....	1
1.2 Doelstellingen CPFWS.....	2
1.3 Leeswijzer .....	5
2 De randvoorwaarden voor het zoetwaterbeheer in Laag-Nederland .....	7
2.1 Inleiding .....	7
2.1 Ontwikkeling van klimaat en rivierafvoer .....	8
2.1.1 Rivierafvoeren in de Deltascenario's.....	8
2.1.2 Ontwikkeling van de Rijnafvoer: Rheinblick2050 .....	9
2.1.3 Ontwikkeling van de Maasafvoer: AMICE .....	12
2.2 Ontwikkeling van klimaat en verzilting.....	13
2.2.1 Ontwikkeling externe verzilting in de Rijn-Maasmonding.....	13
2.2.2 Ontwikkeling interne verzilting .....	15
2.3 Landbouw ontwikkelingen in Nederland.....	18
2.4 CPFWS onderzoek - Impact van bovenstroomse internationale ontwikkelingen op Nederland (WP1.2).....	19
2.4.1 Huidige waterbalans.....	19
2.4.2 EU SCENES scenario's voor watergebruik.....	21
2.5 CPFWS onderzoek - Economische impacts van droogte en verzilting (WP1.1) .....	22
2.6 Gerelateerd ander KvK onderzoek naar randvoorwaarden .....	24

3	Van knelpunten naar oplossingsrichtingen .....	26
3.1	Inleiding .....	26
3.2	Strategievorming in het Deltaprogramma.....	26
3.2.1	Mogelijke strategieën in het Deltaprogramma .....	26
3.2.2	Omgaan met onzekerheden in het Deltaprogramma .....	28
3.3	CPFWS onderzoek naar zoetwater strategieën .....	33
3.3.1	De zoekrichtingen binnen CPFWS .....	33
3.3.2	Robuuste droogterisicosystemen (WP5).....	34
3.3.3	CPFWS onderzoek - Droogteacceptatie (WP1.1).....	37
3.4	Aanverwant KvK onderzoek.....	40
4	Adaptatie mogelijkheden in waterbeheer, landbouw en natuur .....	41
4.1	Inleiding .....	41
4.2	Lokale tot regionale maatregelen voor zoetwatervoorziening .....	42
4.3	Adaptatie van zoetwatervoorziening en buffercapaciteit van het gekoppeld grondwater - oppervlaktewater systeem (WP2) .....	43
4.3.1	WP2.1 Ontwikkeling van een kwantitatief raamwerk om adaptatie strategieën te optimaliseren voor droogte en verzilting in grond- en oppervlaktewater t.g.v. klimaatverandering.....	43
4.3.2	WP2.2 Vergroten van de robuustheid en flexibiliteit van zoetwaterlenzen in zoute kwelgebieden onder druk van klimaatverandering. ....	46
4.4	Adaptatie aan beperkte zoetwatervoorziening (WP3) .....	48
4.4.1	WP3.1 Ontwikkeling van klimaatbestendige Dutch Salt Tolerance Response Functions.....	49
4.4.2	WP3.2 Adaptatie aan droge en brakke condities door gebruik van brak water en besparing van zoet water.....	52
4.4.3	WP3.3 Voorspellen van effecten van veranderende saliniteit op natuurlijke systemen aan de landzijde van de Nederlandse kustvlakte .....	55



4.5	Aansluitend KvK onderzoek .....	57
5	Regionale zelfvoorziening en Cases .....	59
5.1	Inleiding .....	59
5.2	Casestudie Groene Ruggengraat (WP6.1) .....	59
5.2.1	Deelcasus: Rotte en Rottemeren: meebewegen met verzilting? .....	59
5.2.2	Deelcasus Rijnland .....	61
5.3	Waterberging en -technologie als gereedschap voor regionale zelfvoorzienendheid voor de glastuinbouw (WP4, WP6.2) .....	62
5.3.1	WP4.2 Watertechnologie voor een zelfstandige regionale watervoorziening .....	63
5.3.2	WP4.1 Ondergrondse waterberging voor een zelfstandige regionale watervoorziening .....	64
5.4	Casestudie Zuidwestelijke Delta (WP 6.3): 'zoete eilanden in zoute wateren' .....	69
5.4.1	Beschrijving .....	69
5.4.2	Deelcasus: Water Optimalisatie Plannen voor een duurzame watervoorziening van de fruitteelt .....	70
6	Conclusies, aanbevelingen en kennishiaten .....	73
6.1	Conclusies .....	73
6.2	Kennishiaten en aanbevelingen .....	76
	Literatuur .....	77
	Bijlage A: Omschrijving van werkpakket en producten .....	83







## Samenvatting

Dit rapport geeft een tussentijds overzicht van 'state of the art' kennis uit lopend onderzoek van het consortium 'Climate Proof Fresh Water Supply' (CPFWS) dat in het kader van het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat wordt uitgevoerd. De focus van dit onderzoek naar een klimaatbestendige zoetwatervoorziening ligt op lokale en regionale oplossingen in Laag Nederland voor land- en tuinbouw en natuur. De zoetwatervoorziening van dit gebied wordt naast droogte vooral bedreigd door verzilting van grond- en oppervlaktewater. In zes samenhangende werkpakketten wordt geanalyseerd hoe dit gebied meer zelfvoorzienend kan worden én hoe aanpassingen in het (hoofd)watersysteem kunnen bijdragen aan de watervoorziening van het gebied. Centraal in de aanpak zijn een 3-tal casestudies in de Hotspots Haaglanden, Rotterdam Regio en Zuidwestelijke delta.

De onzekerheid in de voor de zoetwatervoorziening relevante klimaatontwikkeling is nog groot en hiermee ook de hydrologische consequenties voor de stroom gebieden van de Rijn en de Maas. Twee van de vier KNMI scenario's wijzen op de mogelijkheid van fors drogere zomers als gevolg van veranderende circulatiepatronen. Een recente studie voor de Rijn laat zien dat dit weliswaar tot lagere Rijnafvoeren zal leiden maar niet noodzakelijkerwijs tot zulke lage afvoeren als worden gehanteerd in de Deltascenario's. De invloed van toekomstig bovenstrooms watergebruik blijkt nog onzeker.

Oplossingen moeten dus worden beschouwd onder een grote range van onzekerheden en qua robuustheid, veerkracht en flexibiliteit op deze onzekerheid kunnen inspelen. Drie hoofdoplossingsrichtingen worden beschouwd voor Laag Nederland: gebaseerd op waterbeheer, landgebruik (landbouw en natuur) en technologie.

*Verzilting van watergangen* kan worden bestreden door het beter sturen van inlaat (inclusief doorspoeling) en de verdere verdeling van inlaatwater binnen het watersysteem in de tijd en in de ruimte. Ook de flexibiliteit en robuustheid van *regenwaterlenzen* in door verzilting bedreigde gebieden is op een klein tot middelgroot schaalniveau te verbeteren. Op een groot schaalniveau is de reactie van zoetwaterlenzen op kustuitbouw nog een voorname onderzoeksvraag. Scherper gestelde *zoutnormen voor gewassen* kunnen flinke hoeveelheden spoelwater schelen, alsmede reducties van schadeloosstelling betekenen. Het leidt mogelijk tot een betere basis om regionale verschillen in rekening te brengen en zorgt waarschijnlijk voor verhoogde acceptatie bij stakeholders. Irrigatie van *zouttolerante gewassen* met brak en zout water leidt tot besparing van zoetwater en biedt de mogelijkheid om gebieden (opnieuw) in gebruik te nemen die nu al te zout zijn om bepaalde gewassen te telen. Het onderzoek richt zich op mogelijkheden om zoutgevoelige gewassen in een verre toekomst zouttolerant te maken. De studie naar effecten van veranderende *saliniteit op natuurlijke systemen* is recentelijk gestart. Al wel lijkt het op basis van literatuurstudie zo dat zoutschade voor natuur weliswaar als belangrijk aspect wordt gezien, maar dat dit voor terrestrische natuur gebrekkelijk lijkt te zijn onderbouwd. Hoewel bijvoorbeeld normatieve zoutconcentraties als 200 of 300 mg/L

worden genoemd, is voor terrestrische natuur niet duidelijk welk risico boven deze concentraties zou kunnen optreden. Voor de hotspot Haaglanden is een kwantitatief *model* opgezet dat de *watervraag* per maand beschrijft van het gehele glastuinbouwbedrijvenpark. De matching tussen watervraag en -aanbod is nog niet uitgevoerd. Daardoor is het lastig om de risico's in te schatten voor de dimensionering van de oplossing onder de verschillende toekomstscenario's. Als adaptatie zich bijvoorbeeld richt op het meest kritieke model, dan zijn er risico's op overdimensionering en overinvestering. Tevens is nog niet bekend hoe welke alternatieve bronnen kunnen worden ingezet in de perioden van tekort. Zo is bijvoorbeeld de *berging* van kwalitatief goed water in de ondergrond voor tuinbouw gecompliceerd. Toepassing van Aquifer Storage and Recovery (ASR) kent vele hydrochemische uitdagingen. Er is grote ruimtelijk variatie in de verwachte terugwinrendementen bij ASR, maar de prijs per m<sup>3</sup> is in ieder geval concurrerend met alternatieve gietwatervoorziening in gebieden met een geschikte geohydrologie.

Naast het bieden van een overzicht van resultaten tot nu toe is het doel van het rapport ook om waar mogelijk het Deltaprogramma, het lopende beleidsmatige programma voor de lange termijn zoetwatervoorziening in Nederland, tussentijds van bruikbare inzichten bij de strategievorming te voorzien.

De resultaten tot nu toe geven aan waar, met een grote slag om de arm, potentie zit om met inzet van beperkte publieke middelen de kwetsbaarheid voor klimaatverandering van de zoetwatervoorziening in Laag-Nederland te verkleinen. Oplossingen zitten daarmee in de hoek van strategieën van het Deltaprogramma met meer private inbreng en een kleinere afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem. Wat de maatschappelijke kosten en baten zullen zijn is (nog) onduidelijk. Het is natuurlijk ook de vraag of we er door middel van optimalisatie van het huidige beheer, acceptatie van grotere chlorideranges en enkele kleine aanpassingen van het landgebruik er voor de langere termijn komen. Onder de droge klimaatscenario kunnen de waterinlaten bij Gouda voor 2050 en de Bernisse na 2050 langdurig gaan verzilten. Vergroten van de robuustheid veerkracht van het regionale systeem door grotere ranges in peil, doorspoelvolumes, zoutgehaltes te tolereren zorgt er in ieder geval voor dat grotere infrastructurele maatregelen of echte transities in landgebruik kunnen worden uitgesteld en dat we beter overweg kunnen met de variabiliteit in het huidige klimaat.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding, probleembeschrijving en context

Het doorgaands natte Nederland worstelt af en toe met zijn zoetwatervoorziening. In 2011 zijn er weer periodes van droogte en lage rivierwaterstanden geweest. Eens in de zoveel jaar moeten inkomsten voor zoetwater wegens verzilting voor meerdere dagen gestaakt en worden watergebruikers gekort in hun watergebruik om de meest belangrijke functies nog van zoetwater te kunnen voorzien. Hoe groot de optredende schade is weten we eigenlijk niet zo goed. De vraag is of dit geaccepteerde praktijk is voor het waterbeheer en de watergebruikers of een risico dat we in de toekomst steeds vaker willen vermijden?

Het KNMI wijst in zijn klimaatscenario's op een mogelijkheid van veel drogere zomers dan we gewend zijn. Daarnaast zet autonome bodemdaling in laag Nederland verder door. Ook de maatschappelijke percepties en acceptatie van risico's zijn aan verandering onderhevig. De onzekerheden in deze verwachte trends zijn echter groot, de consequenties mogelijk nog groter.

In het Deltaprogramma wordt nagedacht hoe de zoetwatervoorziening voor de lange termijn in Nederland het beste kan worden geregeld. Welke opties voor adaptatie zijn aantrekkelijk is daarbij een belangrijke vraag. Daarbij wordt zowel naar het Nederlandse hoofdwatersysteem als de regionale watersystemen gekeken. Sinds de zomer van 2010 werkt een Kennis voor Klimaat onderzoeksconsortium aan een 4-jarig onderzoeksprogramma getiteld "Climate Proof Fresh Water Supply"<sup>1</sup> (CPFWS) waarin aan de hand van praktijkprojecten en promotieonderzoeken zowel de aard en omvang van de problematiek maar vooral ook opties voor adaptatie worden onderzocht. Het voorliggende rapport geeft de huidige stand van kennis en resultaten uit het onderzoek weer en kan worden gezien als een tussenrapport op weg naar eindconclusies in 2014.

Het CPFWS onderzoek naar de zoetwatervoorziening van Nederland is sterk kennis gericht en relatief beperkt van omvang. In ander kader vindt gerelateerd

---

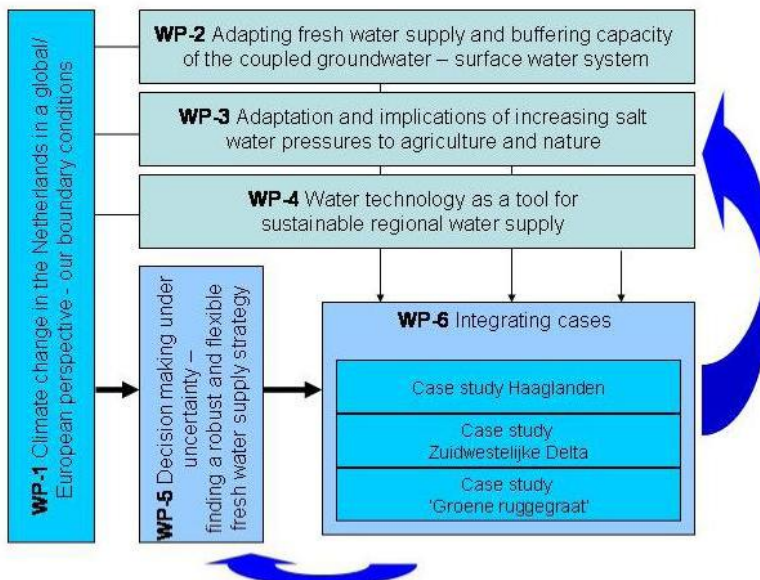
<sup>1</sup> Gezien het onderzoeks karakter van het KvK programma (PhD's, internationale contacten, etc) is Engels de hoofdtal van het programma. Dit verklaart de Engelse titel van het programma. De praktische resultaten van het onderzoek en de communicatie met de doelgroep zullen (tevens) in het Nederlands geschreven worden.

onderzoek plaats. Dit rapport geeft tevens een kort overzicht van het meest relevante gerelateerde onderzoek waardoor het CPFWS in context geplaatst wordt en tevens aanknopingspunten geïdentificeerd kunnen worden voor afstemming en samenwerking. Dat geldt onder andere voor het onderzoek dat door of in het kader van het Deelprogramma Zoetwatervoorziening uitgevoerd wordt en het onderzoek van STOWA in het kader van Deltaproof. Daarnaast wordt een link gelegd met het onderzoek dat in andere thema's en tranches van het KvK programma uitgevoerd wordt.

## 1.2 Doelstellingen CPFWS

De centrale vraag van het project CPFWS is: wat zijn de kansen en adaptatiestrategieën voor zoetwatervoorziening, gegeven veranderingen in verdamping, neerslag, rivierafvoer, zeespiegelniveau en zoutindringing?

De focus van het onderzoek ligt op lokale en regionale oplossingen in Laag Nederland voor land- en tuinbouw en natuur. De zoetwatervoorziening van dit gebied wordt naast droogte vooral bedreigd door verzilting van grond- en oppervlaktewater. In zes samenhangende werkpakketten wordt geanalyseerd hoe dit gebied meer zelfvoorzienend kan worden én hoe aanpassingen in het (hoofd)watersysteem kunnen bijdragen aan de watervoorziening van het gebied. Het onderzoek wordt uitgevoerd in zes samenhangende werkpakketten als geïllustreerd in Figuur 1. De specifieke doelstellingen van de verschillende werkpakketten worden in de navolgende hoofdstukken benoemd.



Figuur 1 Samenhang werkpakketten in CPFWS

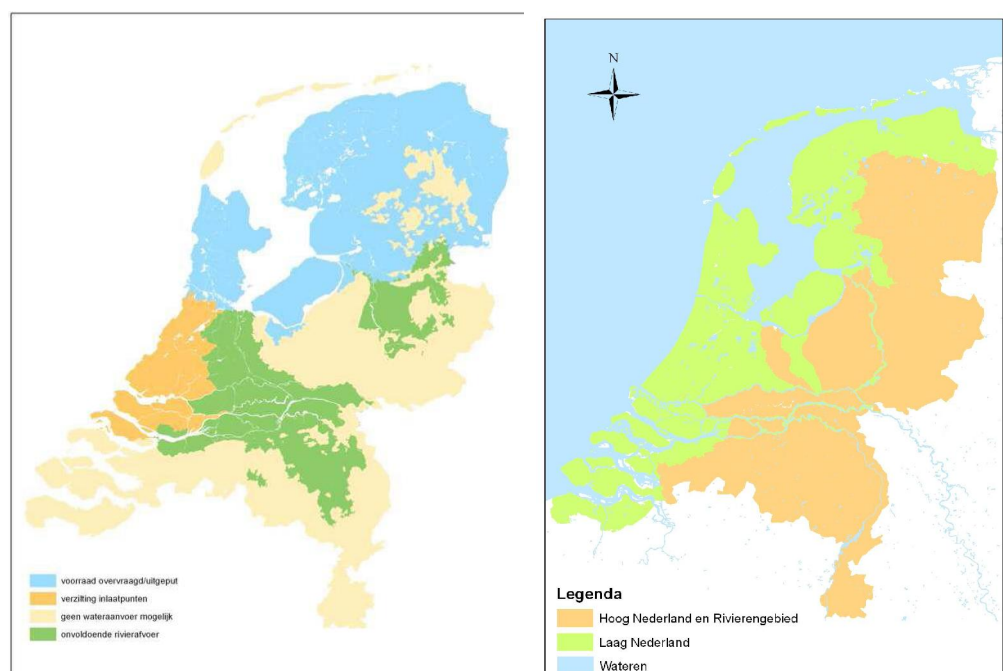


## Opschalen naar landelijk beeld

De proeftuinen voor het onderzoek zijn 3 casestudiegebieden te weten:

- De Zuidwestelijke Delta
- De Groene Ruggengraat
- Haaglanden

Hierbinnen vindt het daadwerkelijke onderzoek plaats in deelgebieden zoals polders, veenweidegebieden, duinen en kreekruggen in Zeeland. Ook komen verschillende sectoren aan bod zoals de laag- en hoogproductieve landbouw, de glastuinbouw en natuur met uitlopers in de stad Rotterdam. De kennis die uit de onderzoeken in deze gebieden en sectoren volgt kan vooral worden opgeschaald naar vergelijkbare gebieden in Laag NL die eveneens afhankelijk zijn van directe zoetwateraanvoer vanuit de Rijn. In mindere mate kunnen resultaten worden vertaald naar andere gebieden in Laag NL of vergelijkbare Delta's in de wereld waarvoor verzilting, bodemdaling en afhankelijkheid van zoetwateraanvoer van belang zijn (zie Figuur 2).



Figuur 2: Oorzaken van watertekorten, vanuit het perspectief van wateraanvoer links (bron: DP Zoetwater, Deltares) en afbakening 'laag-Nederland' rechts.

## Doel van dit rapport

Dit rapport geeft een integraal overzicht van de "state of the art" van het onderzoek m.b.t. opties om de mismatch tussen watervraag en –aanbod op regionale, maar ook landelijke schaal, te verkleinen. Het gaat daarbij om voorlopige

resultaten van het project CPFWS (die qua karakter tot begin 2012 vooral heeft bestaan uit inceptie en probleemverkenning) en plaatst het in de context van resultaten van verwante (internationale) studies die door het uitvoerend consortium bruikbaar zijn geacht als basisinformatie voor het project. Daarnaast worden:

- gesignaleerde kennishiaten aangeduid; en
- adaptatie opties vergeleken in het licht van de adaptatiestrategieën die in lopende onderzoeksprogramma's zijn gedefinieerd.

Een tweede doelstelling van dit rapport is het borgen van aansluiting bij, en doeltreffend gebruik van resultaten in andere onderzoeksprogramma's zoals het Deltaprogramma en het kennisprogramma Deltaproof van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Uitkomsten zijn voor het Deltaprogramma mogelijk bruikbaar bij de evaluatie en invulling van strategieën. In Deltaproof zullen uitkomsten onder andere gebruikt kunnen worden bij de invulling van de Deltafacts: het kennisstelsel van STOWA dat waterbeheerders ondersteunt bij het maken van keuzes voor het nemen van maatregelen m.b.t. zoetwatervoorziening en waterveiligheid ([www.deltafacts.nl](http://www.deltafacts.nl)).

Samenvattend probeert dit rapport bij te dragen aan drie niveaus van integratie:

- Integratie binnen het eigen thema (CPFWS); feitelijk betreft dit een versterking van de geïntegreerde aanpak als verwoord in het voorstel van CPFWS;
- Integratie met relevante andere onderdelen van KvK programma, zowel de andere thema's van tranch 2 als onderzoek uitgevoerd in tranch 1 en tranch 3; en
- integratie met gerelateerd onderzoek buiten KvK, vooral onderzoek uitgevoerd in het kader van het deelprogramma Zoetwatervoorziening en Deltaproof.

Deze 'integratie' pretendeert niet een volledig beeld te scheppen. Daarvoor is gewoon te veel onderzoek gaande op dit vlak. Het accent zal liggen op de voor CPFWS meest relevante ontwikkelingen.

In de eerste helft van 2014 zal een volgend integratierapport verschijnen. In dat rapport zal de focus liggen op de opschaling van de in CPFWS vergaarde kennis naar een landelijk niveau. De potentie van zelfvoorzienendheid wordt dan regionaal en landelijk in beeld gebracht, onder een range van mogelijke toekomstscenario's. Het moet helder worden welke strategieën het beste rekening houden met onzekerheden in het fysieke systeem, sociaal economische ontwikke-



lingen en klimaatontwikkelingen<sup>2</sup>. In voorliggend rapport wordt hiernaartoe een opstap gemaakt.

### 1.3 Leeswijzer

In dit rapport wordt achtereenvolgens ingegaan op relevante toekomstige sociaaleconomische en klimaatontwikkelingen, de impacts hiervan en tenslotte mogelijke oplossingsrichtingen. De ontwikkelingen en impacts worden beschreven in hoofdstuk 2. Allereerst wordt hier ingegaan op de momenteel voorziene ontwikkelingen van het klimaat, rivierafvoeren en in de landbouw (§2.1 en §2.3). Vervolgens worden impacts van internationale ontwikkelingen (§2.3) en economische impacts (§2.4) beschreven. §2.5 gaat in op hoe wordt omgegaan met onzekerheden. Het opstellen van verschillende strategieën behoort daar ook toe. Hoofdstuk 3 is hieraan gewijd. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe momenteel binnen verschillende programma's wordt gewerkt aan het opstellen van strategieën voor zoetwatervoorziening en waarin deze strategieën overeenkomen of verschillen. Ten slotte wordt in hoofdstuk 4 het onderzoek beschreven dat in CPFWS wordt gedaan naar oplossingen: doelstellingen, voornamelijk literatuurreferenties, tussenresultaten, kennishiaten en de plek van de oplossingen in het spectrum van strategieën. Hoofdstuk 5 vat de belangrijkste conclusies samen en geeft aanbevelingen.

Bijlage A beschrijft samenvattend wat de werkpakketten van CPFWS onderzoeken en tot welke deliverables dit leidt.

---

<sup>2</sup> In deze fase zal afstemming plaatsvinden met de totstandkoming van de voorkeursstrategie van het Deltaprogramma



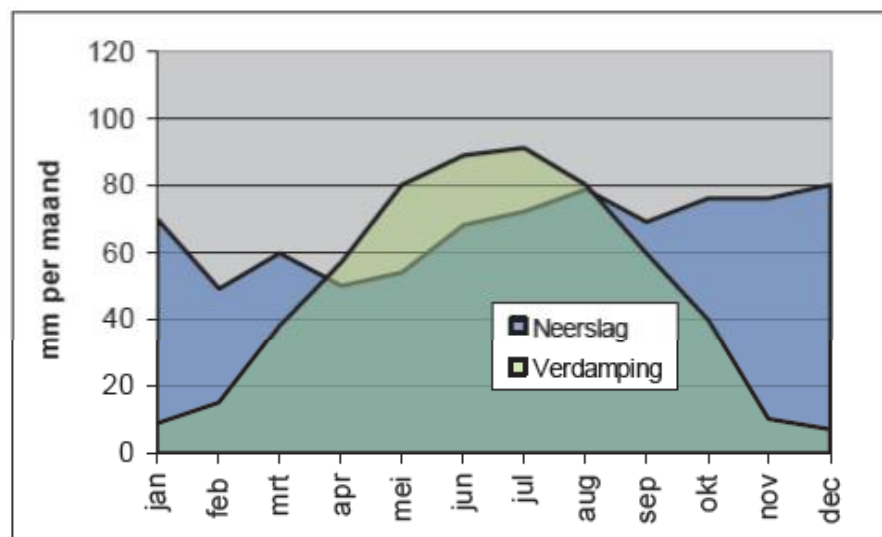




## 2 De randvoorwaarden voor het zoetwaterbeheer in Laag-Nederland

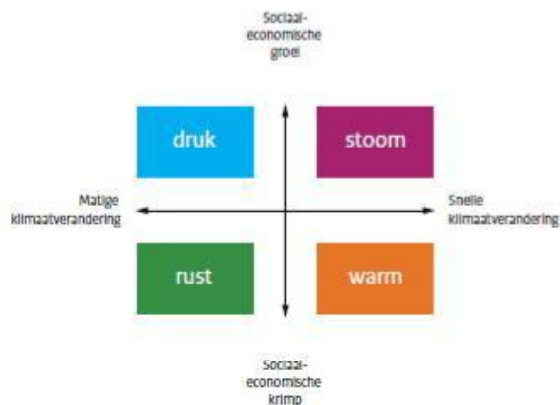
### 2.1 Inleiding

Een toenemend neerslag tekort in de zomer en mogelijke beperkingen in de zoetwateraanvoer als gevolg van externe verzilting, en een toename van de zoetwatervraag als gevolg van extra verdamping en bestrijding van interne verzilting vormen de belangrijkste toekomstige fysische ontwikkeling voor de zoetwatervoorziening. Klimaatverandering heeft hier een duidelijke invloed op. Daarnaast spelen ook sociaal economische ontwikkelingen een belangrijke rol als het gaat om de ontwikkeling van de zoetwatervraag en de eisen die eraan gesteld worden.



Figuur 3 Neerslagtekort in Nederland onder het Huidige klimaat. Het cumulatieve neerslag tekort loopt maximaal op tot iets meer dan 100 mm in augustus. Onder klimaatverandering neemt dit cumulatieve tekort gemiddeld toe tot 110 mm voor het W scenario en 200 mm voor het W+ scenario in 2050.

Dit hoofdstuk gaat dieper in op deze voor zoetwatervoorziening relevante ontwikkelingen die randvoorwaarden stellen waarbinnen de verschillende werkpakketten in CPFWS aan oplossingsrichtingen werken. Achtereenvolgens komen aan bod: de Klimatologische ontwikkelingen in de stroomgebieden van Rijn en Maas en consequenties voor de afvoerstatistiek., een doorvertaling naar verzilting van het hoofdwatersysteem in de Rijn-Maasmonding (externe verzilting), ontwikkeling van de verzilting vanuit het grondwater in West Nederland (interne verzilting) en ontwikkelingen in de watervraag vanuit de landbouw.



Figuur 4 Plaats van de vier Deltascenario's in het spectrum van klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen (Bruggeman et al., 2011).

Om grip te krijgen op onzekere toekomstontwikkelingen worden deze dikwijls gevat in scenario's, die vervolgens worden gebruikt in effectstudies. In Nederland worden voor nationale klimaatstudies momenteel vooral de scenario's uitgegeven door het Delta programma de zogenaamde Deltascenarios gebruikt. Deze scenario's zijn gebaseerd op de klimaatscenario's van het KNMI (die uitgaan van hetzelfde bronmateriaal als het 4e IPCC-rapport) en de WLO-scenario's van de samenwerkende planbureaus, beide uit 2006. Er zijn vier scenario's onderscheiden: Druk, Stoom, Rust en Warm. De Deltascenario's geven een indicatie van de mogelijke veranderingen in de fysische omgeving, zoals rivierafvoeren, zeespiegelstijging, bodemdaling en verzilting, en voor sociaaleconomische factoren, zoals groei of krimp van de bevolking en de economie en de mogelijke consequenties voor het gebruik van ruimte, land en water in Nederland op een termijn van 50 tot 100 jaar. Voor die zeer lange termijn zijn modelberekeningen op basis van de KNMI'06 scenario's gecombineerd met indicaties van het ruimtegebruik in de tweede helft van de eeuw op basis van mogelijke sociaal-economische ontwikkelingen.

## 2.1 Ontwikkeling van klimaat en rivierafvoer

### 2.1.1 Rivierafvoeren in de Deltascenario's

Voor de droogte- en verziltingproblematiek in Nederland zijn de afvoeren van de Maas en Rijn van belang. Binnen de huidige Deltascenario's zijn hiertoe tijdreeksen met afvoergegevens van de Rijn bij Lobith en de Maas bij Monsin gegenereerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de tijdreeksen voor neerslag en temperatuur, die geleverd zijn door het KNMI en bepaald voor de 4 KNMI'06 scenario's (G, G+, W en W+).



Deze aanpak heeft echter twee beperkingen. Allereerst is er in de KNMI'06 scenario's geen rekening gehouden met het feit dat de klimaatverandering in het bovenstroomse deel van Rijn andere effecten heeft op temperatuur en neerslag, en daarmee de afvoer, dan in het benedenstroomse deel van de Rijn. Aangenomen mag worden dat de KNMI'06 scenario's wel goed zijn voor de gebieden relatief dichtbij Nederland. In het bijzonder in de Alpen lijkt het regionale klimaat anders te reageren op mondiale temperatuurstijging dan in Nederland. En juist de afvoer in de zomer vanuit de Alpen door sneeuwmelt is belangrijk voor de basisafvoer van de Rijn. Een tweede beperking is dat (nog) geen rekening is gehouden met de sociaaleconomische ontwikkeling in het bovenstroomse deel (Duitsland, Zwitserland, enz). Dit is opgepakt in CPFWS (zie paragraaf 2.4).

De KNMI scenario's zijn scenario's voor gebruik in Nederland en zijn nog niet afgestemd met scenario's die binnen de stroomgebieden in Duitsland, België en Frankrijk worden gebruikt. In twee recente initiatieven binnen het Rijn- en Maasstroomgebied (respectievelijk Rheinblick2050 en AMICE) is en wordt getracht tot afgestemde stroomgebiedscenario's te komen voor klimaatverandering en afgeleide afvoeren.

### 2.1.2 Ontwikkeling van de Rijnafvoer: Rheinblick2050

De centrale onderzoeksvraag van het RheinBlick2050 project is: wat zijn de effecten van klimaatverandering op de afvoer van de Rijn en haar belangrijkste zijrivieren ([www.chr-khr.org/projects/rheinblick2050](http://www.chr-khr.org/projects/rheinblick2050))? In het kader van Rheinblick2050 [Görgen et.al., 2010], en op basis van de projecten die aan Rheinblick2050 ten grondslag liggen, zijn voor representatieve meetpunten in de Rijn afvoerprojecties opgesteld en geëvalueerd. Hierbij is een methode toegepast die internationaal is afgestemd tussen de deelnemende partners.

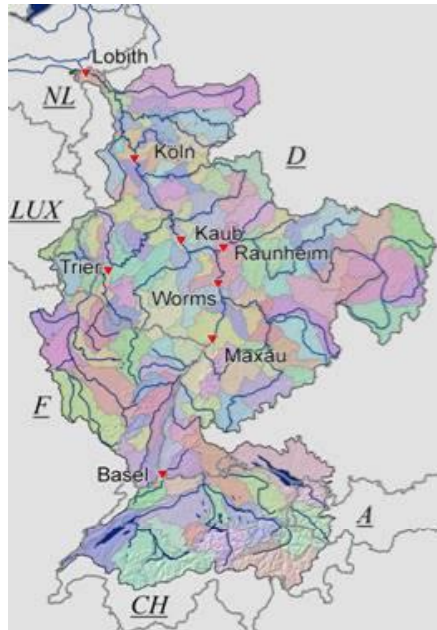


Figure 5 Onderzoeksgebied RheinBlick2050. De meetpunten waarvoor afvoerprojecties zijn opgesteld, zijn aangegeven met rode driehoekjes

De resultaten van de verschillende hydrologische instituten in het Rijnstroomgebied zijn in Rheinblick2050 met elkaar geïntegreerd. Het effect van klimaatverandering op de afvoer van de Rijn en haar zijrivieren op een macro-schaal is succesvol in beeld gebracht. Uitkomsten zijn t.b.v. besluitvorming over adaptatiemaatregelen ingebracht bij de Internationale Commissie ter bescherming van de Rijn. De uitkomsten zijn 'state of the art' (zomer 2010), gebaseerd op actuele data en op de huidige inzichten m.b.t. klimaatsysteem en hydrologie. Voor Nederland zijn daarom ook de resultaten vergeleken met de Deltascenario's.

Figuur 6 toont deze vergelijking. Het is lastig om deze vergelijking goed te maken omdat de vorm waarin de hydrologische uitkomsten worden gepresenteerd verschillend zijn. Binnen Rheinblick is op het ensemble van uitkomsten (van verschillende klimaat en hydrologische modellen gevoed door een range aan klimaatrandvoorwaarden) statistiek toegepast. De Deltascenario's zijn in feite een pragmatische clustering (in 4 clusters) van ensemble uitkomsten (van verschillende klimaatmodellen) met een doorvertaling naar de hydrologie. Het ene cluster is daarbij niet waarschijnlijker dan het andere. De vergelijking moet daarom vooral globaal worden gedaan.

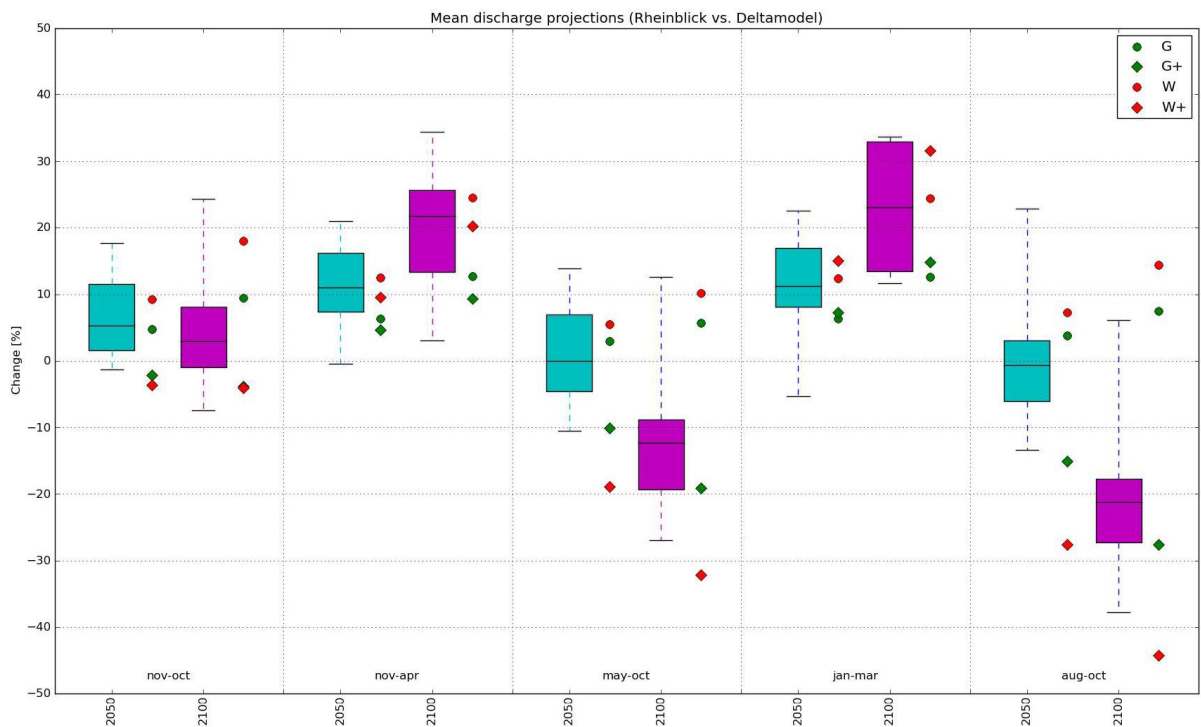
De belangrijkste resultaten uit deze vergelijking:

- In het algemeen zijn de overeenkomsten goed te noemen. De 4 Deltascenario's vallen voor de meeste beschouwde periodes goed binnen de range



- Belangrijke uitzondering zijn de zomer en het vroege najaar, de periode die voor droogte en verzilting het meest relevant is. Hiervoor zien we dat met name het W+ scenario buiten de range valt en een stuk lagere afvoeren voorspelt dan Rheinblick. In mindere mate geldt dit ook voor het G+ scenario. De verschillen zijn voor 2050 groter dan voor 2100. Voor 2100, vallen ook het G en W scenario buiten de Rheinblick range voor de periode augustus tot oktober. In dit geval geven de Deltascenario's een te hoge afvoer.

De verschillen kunnen worden verklaard door de eerder genoemde tekortkoming van de Deltascenario's voor het gehele Rijnstroomgebied. In feite wordt in Rheinblick een gedetailleerdere en gebiedsspecifiekere koppeling gelegd tussen klimaat en hydrologie.



Figuur 6 Vergelijk tussen modeluitkomsten voor gemiddelde Rijnafvoer uit project Rheinblick2050 (blauwe en paarse whisker diagrammen met daarin 5, 25, 50, 75 en 95 percentiel aangegeven) en uit het de Delta scenario's (rode en groene punten en ruiten), voor verschillende perioden in het jaar voor 2050 en 2100..

Dit betekent voor het gebruik van de Deltascenario's voor studies naar droogte en verzilting in Nederland (zie ook De Keizer, 2012):

- dat de aanleiding om de klimaatbestendigheid van de zoetwatervoorziening te onderzoeken ondersteund wordt (de trends zijn vergelijkbaar, zeker voor 2100);

- dat het W+ scenario mogelijk te extreem lage afvoeren voorspelt en het G+ scenario mogelijk een betere indicatie geeft voor de onderkant van de range; en
- dat er aanleiding is om de hydrologie van het Rijnstroomgebied onder klimaatverandering verder te onderzoeken en scenario's voor Nederland te actualiseren.

### 2.1.3 Ontwikkeling van de Maasafvoer: AMICE

In het project AMICE (Adaptation of the Meuse to the Impacts of Climate Evolutions) wordt de ontwikkeling van de afvoer van de Maas onderzocht, met speciale aandacht voor hoge en lage afvoeren ([www.amice-project.eu](http://www.amice-project.eu)). Het project loopt van 2009 tot 2012. Partners in AMICE zijn onder andere Rijkswaterstaat, Deltares en de waterschappen Aa en Maas en Brabantse Delta. De doelstellingen van AMICE zijn onder andere:.

- Versterken en verbreden van de samenwerking tussen belanghebbenden in het Maasdal, het uitwisselen van kennis en ervaringen op het gebied van preventie, overstromings- en droogteschade en risico's.
- Ervoor zorgen dat de plaatselijke bevolking en belanghebbenden een beter begrip hebben van wat overstroming en droogte kunnen betekenen en het ontwikkelen van een 'Maasgevoel'.

De beoogde resultaten zijn onder meer:

- Internationale overeenstemming over klimaatveranderingen en afvoerscenario's.
- Een internationale adaptatiestrategie voor klimaatverandering in het Maasbekken.

De klimaatscenario's die voor AMICE worden gebruikt zijn de eerste internationaal gedeelde scenario's voor het Maasstroomgebied. Ze vormen een combinatie van nationale klimaatscenario's, die volgens verschillende methoden zijn geconstrueerd en zijn gebaseerd op verschillende nationale klimaat datasets. Een vergelijk tussen modeluitkomsten op basis van AMICE scenario's en nationale scenario's, zoals voor Rheinblick is gemaakt, is voor de Maas (nog) niet beschikbaar.



## 2.2 Ontwikkeling van klimaat en verzilting

### 2.2.1 Ontwikkeling externe verzilting in de Rijn-Maasmonding

De combinatie van een stijgende zeespiegel en afnemende afvoeren in zomer en najaar kunnen zorgen voor een toename van zoutindringing vanaf zee in de Rijn-Maasmonding. Voor een kwantitatieve verkenning hiervan heeft het Deltaprogramma een modellering uitgevoerd voor de optredende chlorideconcentraties in het Noordelijk deltabekken [van Oostrom et al., 2011. Klijn et al. 2012]. Er is gebruik gemaakt van het 1-dimensionale hydrodynamische waterkwaliteitsmodel SOBEM. Hiermee kunnen waterstromingen en zoutconcentraties uitgerekend worden. Er is gerekend met 3 standaardjaren die elk staan voor een andere representatieve terugkeertijden voor verzilting (gemiddeld, droog (1/10) en extreem droog jaar (1/25)).

Klimaat en ruimtelijke ontwikkelingen zijn meegenomen door het veranderen van de weersomstandigheden, afvoer, getijden en grondgebruik volgens de scenario's G in combinatie met het Global Economy WLO scenario (afgekort G GE) en W+ in combinatie met het Regional Communities WLO scenario (afgekort W+ RC). De standaardjaren zijn voor de toekomst aangepast zodat zij een verwachte gelijke herhalingsfrequentie hebben onder het toekomstige klimaat. De sociaal-economische scenario's zijn gebruikt om het watergebruik van de regio's te bepalen en hiermee de grootte van de onttrekking op de innamepunten. De verschillen in het watergebruik tussen de scenario's zijn overigens gering wat op zich een belangrijke conclusie is.

Met het model is uitgerekend welke chlorideconcentratie er bij de inlaten van hoofdwater naar regionaal water zal heersen en hoe lang de inlaat dan gesloten zal moeten blijven om te voorkomen dat te zout water in het achterliggende regionaal systeem terecht komt. Hierbij is uitgegaan van de huidige criteria voor het sluiten van een inlaat: bij inlaatpunt Bernisse 150 mg Cl/l en bij de inlaat Gouda 250 mg Cl/l. Tabel 1 geeft voor deze inlaatpunten en Krimpen aan de IJssel het aantal overschrijdingen van normconcentraties weer per (zomerhalf)jaar voor verschillende jaren, bij de huidige waterbeheerpraktijk en zonder maatregelen.

Locatie (normconcentratie)	Overschrijding Soort jaar	huidig			G (2050)			W+ (2050)		
		7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur	7 uur	24 uur	48 uur
Bernisse (150 mg/l, hele jaar)	Gemiddeld	1	0	0	1	0	0	4	0	0
	Droog	1	0	0	1	0	0	2	0	0
	Extreem droog	17	14	14	16	13	11	20	18	14
Krimpen a/d IJssel (250 mg/l, zomer)	Gemiddeld	2	1	0	0	0	0	24	17	8
	Droog	0	0	0	0	0	0	24	18	13
	Extreem droog	32	24	19	34	27	22	86	79	77
Gouda (250 mg/l, zomer)	Gemiddeld	0	0	0	0	0	0	16	16	16
	Droog	0	0	0	0	0	0	24	24	24
	Extreem droog	42	42	42	46	46	46	87	87	87

Tabel 1 Duur (dagen) dat 'zoutgrenzen' voor een drietal locaties langer worden overschreden dan 7, 24 of 48 uur in respectievelijk het huidige klimaat en in 2050 bij scenario G en W+. Voor Krimpen a/d Lek en Gouda gaat het om het zomerhalfjaar en voor Bernisse om het hele jaar (uit Klijn et al. 2012).

Bij inlaatpunt Bernisse treden in een gemiddeld en droog jaar hoogstens tijdelijke inlaatbeperkingen van minder dan 7 uur op. Dit speelt vooral in het voor- en najaar (van Oostrom et al., 2011) bij stormopzet vanuit zee. Zulke korte stremmingen zijn vanwege de buffer in het Brielse meer waarschijnlijk goed te overkomen. In een extreem droog jaar worden de beperkingen van de inlaat langer en serieuzer waarbij klimaatverandering tot 2050 hier niet veel aan toe lijkt te voegen. Voor Gouda gelden in een gemiddeld of droog jaar nauwelijks beperkingen in de huidige situatie. Echter met klimaatverandering zullen ook in gemiddelde jaren het aantal langdurigere stremmingen fors toenemen. Dit effect is sterk afhankelijk van het klimaatscenario G of W+. Omdat Gouda aan een doodlopende riviertak ligt kent het enkel langdurende overschrijdingen van het inlaatcriterium: als het zout eenmaal in de Hollandsche IJssel zit wordt het pas weer verdund als de laagwaterperiode voorbij is.

In Klijn et al. (2012) is tevens onderzocht hoe hoog de zoutconcentraties worden bij Gouda. Hieruit blijkt dat voor de huidige omstandigheden een verhoging van het inlaatcriterium naar 600 mg/l het aantal sluitingen in een extreem droog jaar zou reduceren tot nagenoeg 0. Onder een W+ scenario voor 2050 zou een reductie van 30-40% van het aantal sluitingen bereikt kunnen worden. Waar de verzilting bij Gouda wordt gedomineerd door de lage rivier afvoeren wordt de verzilting bij de Bernisse bepaald door de zeestand (zie ook Geerse et al., 2012). Dit betekent ook dat als het oppervlakte water verzilt de concentraties meteen tot meer dan 1000 mg/l oplopen. We hebben hier dus te maken met een aan of uit situatie. Bovenstaande uitkomsten zijn het resultaat van zowel modellering als het gebruik van meetseries uit het verleden. Opgemerkt dient wel te worden dat de 1D-modellering met grote onzekerheden zijn omgeven.

Voor de Zuidwestelijke Delta hebben we ook te maken met een 'aan of uit' situatie voor externe verzilting zij het dat dit per deelgebied verschilt. Of er is wel

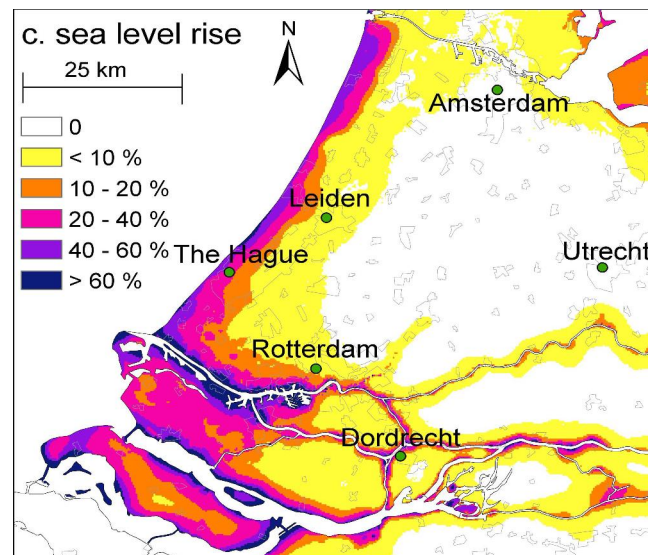




zoet water voor aanvoer beschikbaar vanuit Haringvliet en Volkerak-Zoommeer voor de hieraan grenzende gebieden of niet zoals bijv. op Schouwen-Duiveland dat door zout water is omgeven. Klimaatverandering brengt hier geen verandering in. Vooral keuzes in beheer in verleden en toekomst zijn hier bepalend.

## 2.2.2 Ontwikkeling interne verzilting

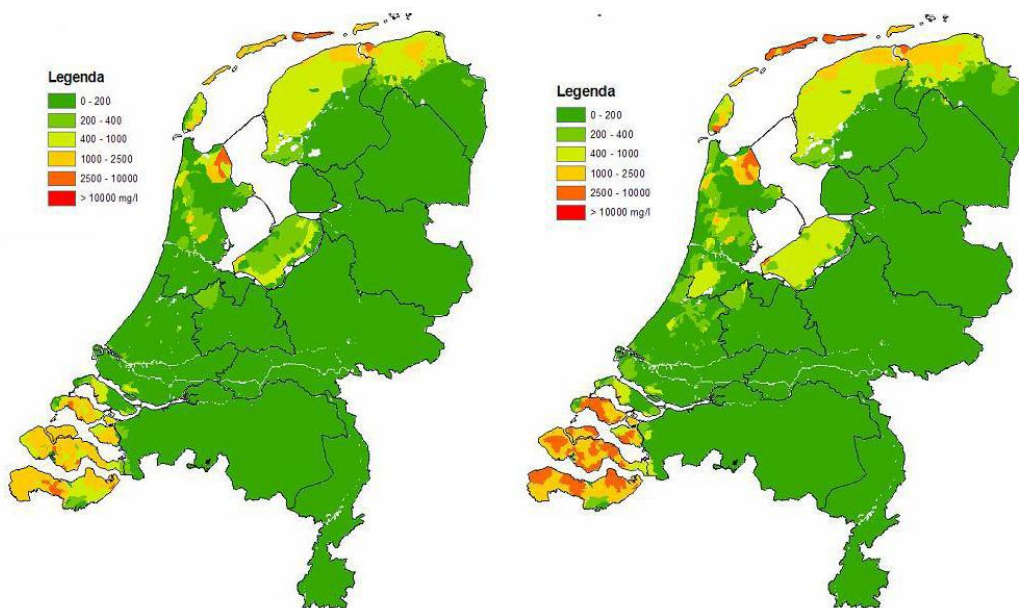
Aanpassing (verlaging) van het waterpeilbeheer in het verleden bij inpoldering en om de voortschrijdende bodemdaling bij te houden heeft geleid tot drukverschillen tussen het 'buitenwater' (boezemwater) en het grondwater in polders. Wanneer door klimaatverandering grondwaterstanden dalen, neemt die druk nog wat toe. En een hogere zeespiegel vergroot die druk nabij de kust nog eens extra (zie Figuur 7). Dit alles leidt tot een toename van de kwelflux.



Figuur 7 Reikwijdte zeespiegelstijging op de stijghoogte van het grondwater

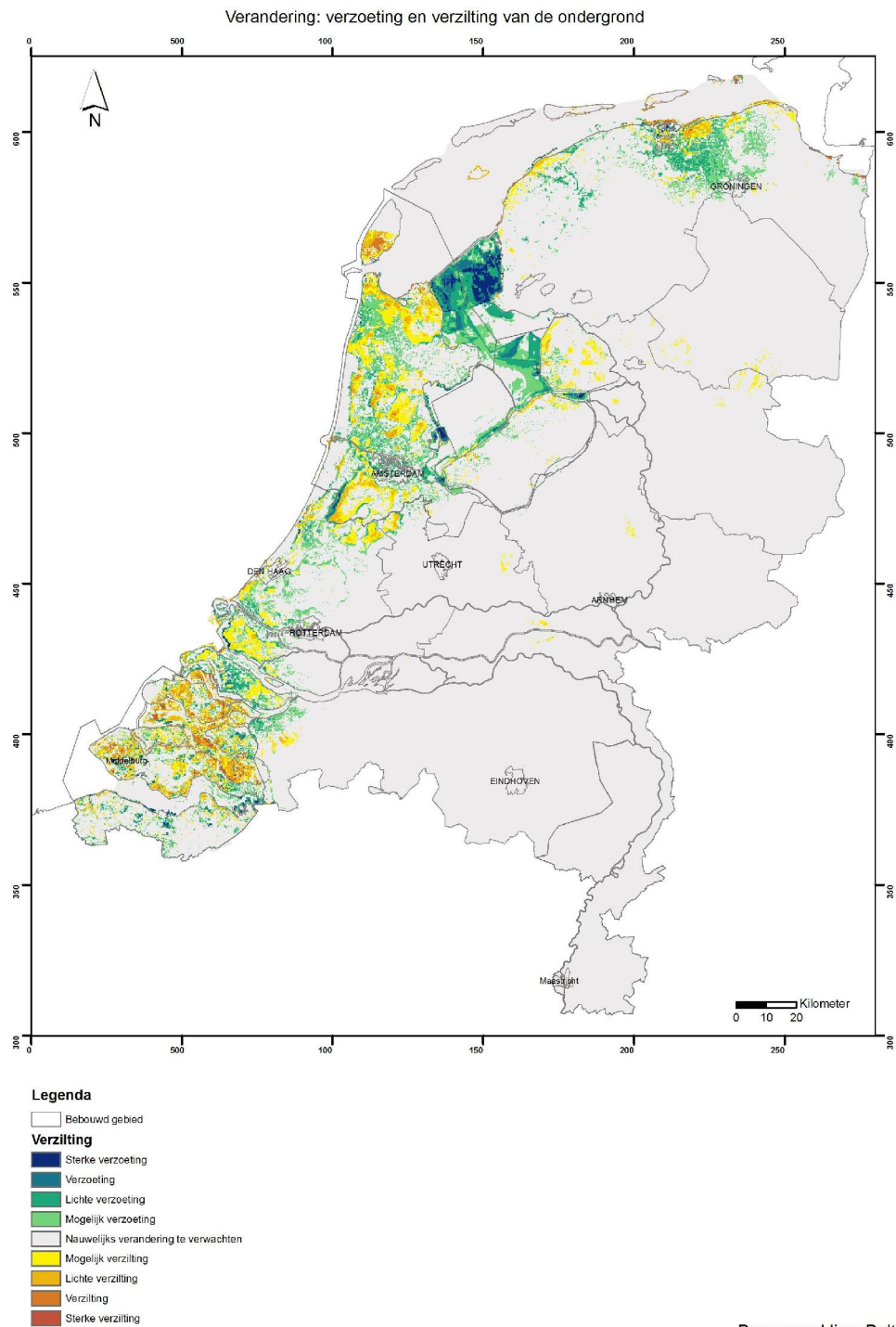
Door de grotere kwelflux komt de zoutgrens (de grens tussen het onderliggende zoute grondwater en de erop liggende zoetwaterbel en -lenzen) in West en Noord-Nederland omhoog. Waar de kwel brak of zout is en het de saliniteit van oppervlaktewater beïnvloedt, wordt dat interne verzilting genoemd. Een maat voor deze interne verzilting is de zoutbelasting – de zoutflux die sloten en het ondiepe grondwater 'belast'. Verdunning door neerslag en doorspoeling met extern aangevoerd water zorgen ervoor dat ondanks deze zoutbelasting de zoutgehalten beperkt blijven (zie hoofdstuk 4 WP2.1). Er wordt verwacht dat de zoutbelasting (en hiermee de zoutgehalten) in de toekomst toeneemt. Overigens zal plaatselijk ook sprake zijn van verzoeting. Figuur 9 geeft weer in welke gebieden de ondergrond onder invloed komt te staan van verzoeting of verzilting.

De zoute kwel beïnvloedt het bodemvocht in percelen waar zoetwaterlenzen uitgeput raken, maar stroomt bij voorkeur en dus voor het grootste deel naar de sloten. Zo worden ondiep grondwater en polderwater zouter. In droge periodes neemt het zoutgehalte in polderwateren toe doordat er meer zoute kwel is en ook het inlaatwater hogere zoutconcentraties kent. In het zomerhalfjaar is er zelfs sprake van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de sloten nog verder toeneemt. Dit alles leidt tot zouter grond- en oppervlaktewater en een toenemende behoefte aan doorspoelen. In Klijn et al. (2012) is aangegeven dat het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium momenteel nog niet in staat is om de zoutverandering in de sloten juist te voorspellen. Figuur 8 geeft evenwel een beeld van wat verwacht kan worden.



Figuur 8 Zoutgehalte (mg Cl-/l) in de sloten in een droog jaar in het huidige klimaat en bij scenario W+ RC in 2050 [Van Beek et al., 2008]

De figuur toont dat voor een gemiddeld jaar in 2050 bij W+ de sloten op de Zeeuwse (schier)eilanden sterk verzilten, en die in Friesland-Groningen, de Flevoolders en de droogmakerijen van de beide Hollanden licht brak worden. Deze waterkwaliteitsproblemen worden normaliter bestreden door de sloten en grotere watergangen door te spoelen. Het rendement daarvan is echter discutabel. Effectieve regionale maatregelen die interne verzilting voorkomen zijn lastig te vinden. In CPFWS worden daarom het proces van interne verzilting (WP2) en alternatieve oplossingsrichtingen op lokaal en regionaal niveau (WP2 en WP3) onderzocht. Met name de resultaten van het Deltaprogramma geven aan waar in Nederland deze oplossingsrichtingen kunnen worden ingezet.



Figuur 9 Ruimtelijke verdeling van gebieden die onder invloed staan van verzoeting of verzilting (bron: Oude Essink et al., 2011)

## 2.3 Landbouw ontwikkelingen in Nederland

De Landbouw is een adaptieve sector die gewend is zich aan te passen aan veranderende natuurlijke en economische omstandigheden. Het is daarom lastig om los van veranderingen in het wateraanbod toekomstige landbouwontwikkelingen te schetsen.

Landbouw is de grootste zoetwatervrager in Nederland. Zicht op de ontwikkeling van de landbouw is dus van belang voor het krijgen van gevoel voor de ontwikkeling van de watervraag. Landbouwontwikkelingen zijn een integraal onderdeel van de Deltascenario's

Tot 2050 neemt het totale landbouwareaal in alle vier de Deltascenario's af. Op het eerste gezicht is hiermee te verwachten dat de opgave op nationale schaal minder groot wordt. Dit heeft te maken met een vermindering van de vraag naar aanvoer van zoetwater en een kleiner areaal dat vraagt het constant houden van het waterpeil, zodat de gewassen optimaal groeien. Dit behoeft echter wel enige nuancering. Lokaal kunnen er namelijk wel grote opgaven ontstaan. Hierbij is ook het type gewas dat verbouwd wordt van belang.

In de scenario's *Druk* en *Stoom* stijgt niet alleen de productiviteit, maar groeit ook het oppervlak aan landbouwgrond na 2050 en is er dus sprake van een trendbreuk. De reden voor deze trendbreuk is de transitie naar een bio-based economie onder invloed van hoge prijzen en schaarste aan brandstoffen, voedsel en andere grondstoffen. Het loont in deze scenario's om op grote schaal biobrandstoffen en biomassa als grondstof te produceren. Daarvoor wordt massaal landbouwgrond ingezet. Als gevolg hiervan zou de vraag naar zoet water juist weer toe kunnen nemen. Ook hier zijn nuanceringen te maken, namelijk dat dit niet lokaal hoeft te gelden en dat wederom het type gewas en vooral de wijze van bewatering van invloed is.

In de scenario's *Rust* en *Warm* (zie Figuur 4) neemt de landbouw juist nog verder af in de periode na 2050. Daarbovenop schakelt de landbouw over op extensiever teelten en weidegrond die beter tegen verschillende waterpeilen kan. In deze scenario's neemt naar verwachting de opgave voor de zoetwatervoorziening op nationale schaal af (Bruggeman et al., 2011).

Op dit moment wordt gewerkt aan een update van de Deltascenario's. In deze nieuwe generatie scenario's zullen landbouwkundige ontwikkelingen in meer detail zijn uitgewerkt. Eerste resultaten daarvan worden medio 2012 verwacht.



## 2.4 CPFWS onderzoek - Impact van bovenstroomse internationale ontwikkelingen op Nederland (WP1.2)

*Doel van werkpakket 1 'Klimaatverandering in Nederland in een wereldwijd en Europees perspectief' is het inzicht te vergroten in effecten van klimaatverandering op de beschikbaarheid van water en de daaruit voortvloeiende effecten van droogte op de Nederlandse economie. Werkpakket 1.2 heeft als doel verschillende scenario's af te leiden voor de effecten van klimaatverandering en bovenstroomse ontwikkelingen op de laagwateraanvoer bij de Nederlandse grens.*

Tijdens droge perioden is de zoetwatervoorziening in Nederland voor een groot deel afhankelijk van de afvoer van de grote grensoverschrijdende rivieren, de Rijn en de Maas. Wanneer heel Noordwest Europa kampt met droogte, zijn ook de afvoeren van de Rijn en de Maas laag. De afvoer van de Rijn bestaat tijdens droge perioden in de zomer voornamelijk uit smeltwater uit de Alpen. In de huidige situatie wordt bovenstrooms van Nederland het water van de Rijn en de Maas gebruikt voor drinkwater, irrigatie, industrie en koelwater.

Om te voorspellen in hoeverre de frequentie en duur van laagwater perioden toeneemt, zijn twee factoren van belang: 1) het effect van klimaatverandering op neerslag, temperatuur en daardoor afvoerregime, en 2) het effect van veranderingen in watergebruik, bovenstrooms van Nederland.

Het effect van klimaatverandering op de afvoer is in verschillende studies onderzocht (zie ook 2.1). Op dit moment is echter niet bekend in hoeverre in tijden van droogte en laag water Duitsland en België meer water gaan gebruiken, en maatregelen nemen die het wateraanbod in Nederland kunnen verlagen.

Om dit te onderzoeken wordt in deze paragraaf eerst de huidige waterbalans uitgewerkt voor de Rijn en de Maas. Vervolgens worden bestaande sociaal-economische scenario's (uit het EU project SCENES) gebruikt om veranderingen in watergebruik per sector en per stroomgebied te schatten. Samen met bestaande ramingen van het effect van klimaatverandering op laag water, geeft dit een eerste schatting van het beschikbare watervolume van de Rijn en de Maas, in 2050.

### 2.4.1 Huidige waterbalans

Figure 10 en Figure 11 tonen grove schattingen van de huidige waterbalans van de Rijn en de Maas. De opgenomen getallen zijn grove schattingen gebaseerd op een veelvoud aan bronnen, zoals milieurapporten en wikipedia [Te Linde en Woelders, 2011]. Omtrent de betrouwbaarheid daarvan moet voorzichtigheid worden betracht. Een groot deel van het water dat verdwijnt (de rode pijlen naar boven) is het gevolg van natuurlijke verdamping. De extra verdamping door landbouw beslaat een zeer klein volume. Verder valt op dat de wateronttrekking voor huishoudens en industrie, net als het koelwater, (na zuivering)

weer terug komt in het systeem, de zogenaamde 'return flow'. Al met al wordt in het stroomgebied van de Rijn (exclusief Nederland) circa 0.7 km<sup>3</sup>/jaar daadwerkelijk gebruikt. Omgerekend is dat gemiddeld een uitstroom van 22 m<sup>3</sup>/s.

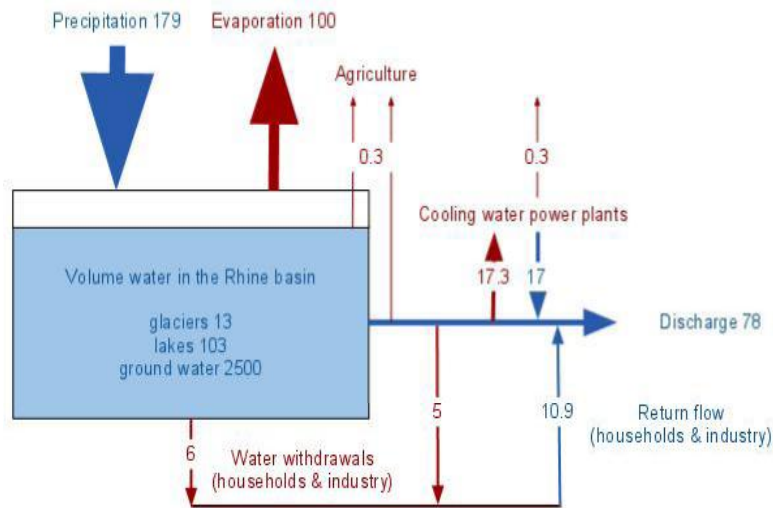


Figure 10 Jaargemiddelde waterbalans van de Rijn exclusief Nederland (km<sup>3</sup>/jaar)

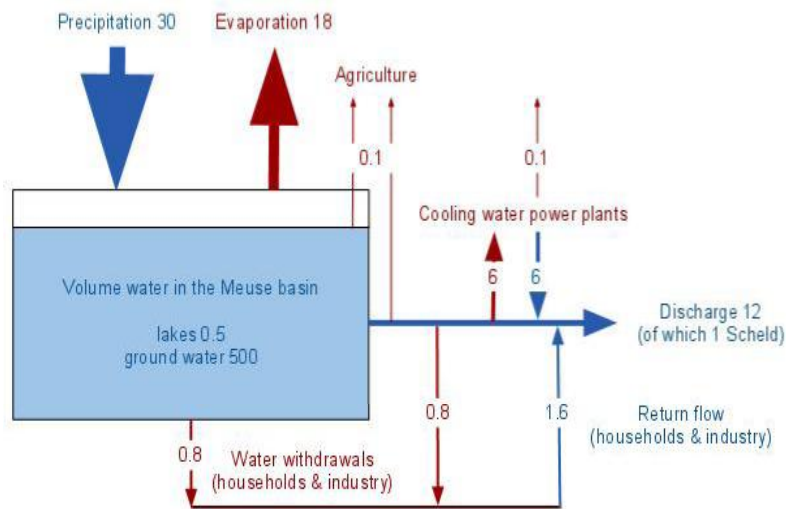


Figure 11 Jaargemiddelde waterbalans van de Maas exclusief Nederland (km<sup>3</sup>/jaar)

In het Maasstroomgebied wordt slechts 0.2 km<sup>3</sup>/jaar gebruikt. Omgerekend is dat gemiddeld een uitstroom van 6 m<sup>3</sup>/s



#### 2.4.2 EU SCENES scenario's voor watergebruik

SCENES is een Europees project dat is afgerond in 2011. Het project had tot doel het ontwikkelen van scenario's voor waterkwantiteit en -kwaliteit in Pan-Europa. De scenario's zijn ontwikkeld op basis van een 'Storyline and Simulation (SAS)' benadering, waarin kwalitatieve gegevens gebaseerd op expert panels vertaald worden naar kwantitatieve gegevens per stroomgebied, met behulp van een hydrologisch model (WaterGAP). De vier scenario's die zijn uitgewerkt heten: Economy First (EcF), Fortress Europe (FoE), Policy Rules (PoR) en Sustainability Eventually (SuE). Deze scenario's zijn volledig los van de Delta-scenario's (WLO) ontwikkeld maar de denklijnen zijn herkenbaar: EcF lijkt bijop Global Economy en SuE op Regional communities. De vier scenario's bevatten gegevens over bevolkingsgroei, BBP, energievoorziening en landgebruiksverandering. Daarnaast zijn gegevens voor wateronttrekking en watergebruik (= wateronttrekking – return flow) beschikbaar, zowel per jaar als per seizoen (3 maanden). Voor een uitgebreidere beschrijving van de scenario's, zie Te Linde en Woelders [2011], en de bronnen die in dat rapport genoemd worden.

Figure 12 en Figure 13 tonen het watergebruik voor de referentieperiode en in 2050, respectievelijk voor de Rijn en de Maas. De SCENES data bevatten een onderverdeling in 3 sectoren ('domestic, agriculture, industry' gevisualiseerd in Te Linde en Woelders, 2011). Twee scenario's tonen een toename in watergebruik (FoE en EcF), en twee tonen een daling in watergebruik (PoR en SuE).

Het watergebruik in de referentiesituatie is in deze figuren veel groter dan in Figure 10 is bepaald, ook als wordt gecorrigeerd voor jaarlijks watergebruik versus zomers watergebruik (ongeveer een factor 2). Dit kan betekenen dat in Figure 10 en Figure 11 het watergebruik onderschat is, of dat de SCENES uitkomsten te hoog zijn. In de eerste helft van 2012 zal daarom met de onderzoekers van de Universiteit van Kassel (Duitsland), die deze getallen hebben berekend meer informatie worden verworven over de herkomst en de onzekerheden van SCENES data.

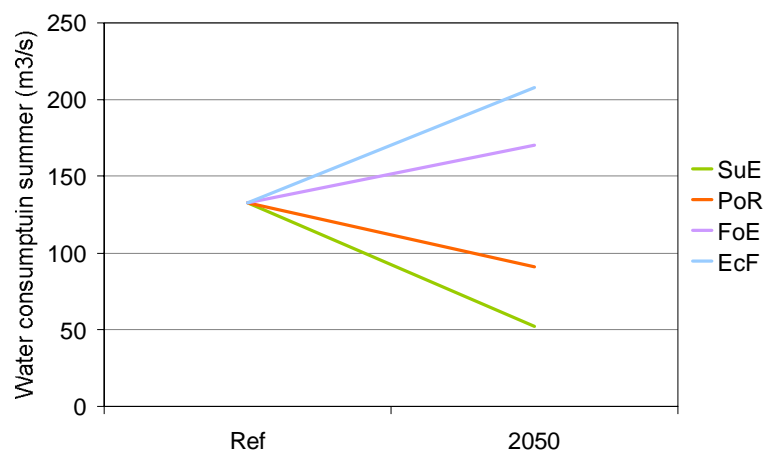


Figure 12 Gemiddeld watergebruik in het Rijnstroomgebied in de zomer

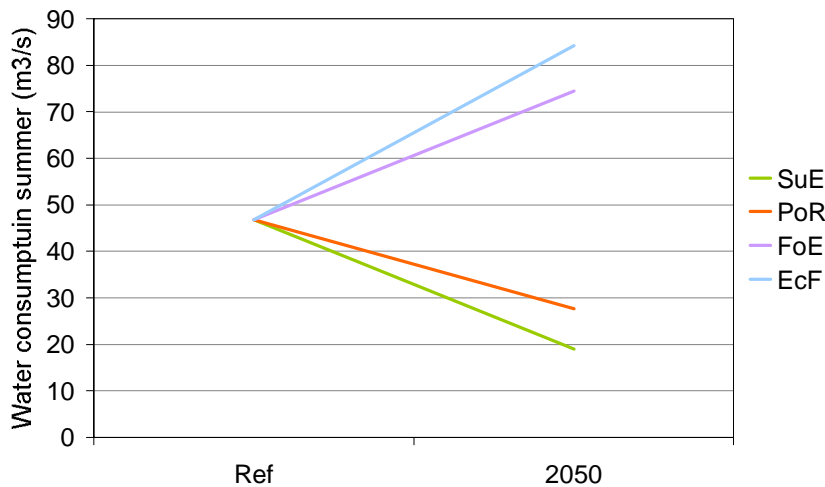


Figure 13 Gemiddeld watergebruik in het Maasstroomgebied in de zomer

Indien voor het zomerseizoen de effecten van klimaatverandering en verandering in watergebruik gecombineerd worden, ontstaat een brede waaier aan mogelijke gemiddelde zomerafvoeren.

Op basis van de uitkomsten van SCENES uitkomsten lijkt de afvoer van de Maas gevoeliger voor een verandering in watergebruik door sociaaleconomische ontwikkelingen en maatregelen, dan het stroomgebied van de Rijn. Over de absolute waarden kunnen we op basis van de huidige resultaten nog niet veel zeggen gezien de grote verschillen tussen de 2 gebruikte bronnen.

In het vervolg van dit werkpakket zal worden gecontroleerd in hoeverre de gegevens van SCENES correct zijn. Daarnaast zijn extreme situaties relevanter voor het waterbeheer in Nederland dan de gemiddelde situatie. Er zal daarom meer informatie worden verworven over extremen, bijvoorbeeld door te zoeken naar watergebruikgegevens en geïmplementeerde maatregelen in Duitsland en België tijdens recente laagwater perioden.

## 2.5 CPFWS onderzoek - Economische impacts van droogte en verzilting (WP1.1)

Verscheiden sectoren van de Nederlandse economie zijn afhankelijk van water. Deze afhankelijkheid maakt de nationale economie kwetsbaar voor droogte. Sectoren waarvan verwacht wordt dat droogte hen in de toekomst negatief zal beïnvloeden zijn onder andere landbouw, scheepvaart, elektriciteitsproducenten, industrie, recreatie en visserij [Deltaprogramma, Deelprogramma Zoetwater, 2011]. Behalve dat water een productiefactor is voor veel goederen en diensten vervult het ook andere functies, het voorziet ons in drinkwater, is een voorwaarde voor het bestaan van veel natuurtypen en het heeft een belangrijke functie in het garanderen van stabiliteit van waterkeringen en funderingen.





Economische schade is een veelgebruikte maatstaf om de maatschappelijke kwetsbaarheid voor natuurrampen te kwantificeren. Het meten van economische droogteschade is complex door een aantal redenen [van Duinen, 2011]:

1. De effecten zijn divers: droogte treft meerdere economische sectoren
2. De frequentie, duur en hevigheid van droogte zijn onzeker en lastig te voorspellen
3. De geografische impact is divers: de mate van droogte en de gevoeligheid voor droogte is verschillend per regio in het getroffen gebied
4. Droogte treft regio's en sectoren langzaam zonder specifiek begin of eind en de effecten kunnen een langere tijdsperiode betreffen dan de droogte zelf.

Bij het bepalen van economische schade kan onderscheid worden gemaakt tussen verschillende schaalniveaus. De keuze van het schaalniveau heeft consequenties voor de effecten die worden meegenomen in de schadebepaling. De effecten van droogte kunnen bepaald worden op micro-, meso- en macroniveau. Deze schaalniveaus zijn nauw met elkaar verbonden. Bij het bepalen van economische schade op microniveau wordt gekeken naar de effecten van droogte op het welzijn van individuele producenten of consumenten. Veranderingen in het individuele welzijn vormen een prikkel voor individuele productie- en consumptiebeslissingen. Deze beslissingen leiden tot veranderingen van vraag en aanbod van goederen en diensten op de markt, en daardoor tot veranderingen in prijzen. Deze goederen en diensten worden vervolgens geconsumeerd of gebruikt als input in de verwerkende industrie binnen dezelfde of andere sectoren. De prijzen vormen een belangrijk signaal waarop consumenten en producenten reageren, zij zullen vervolgens hun productie of consumptie aanpassen. Via deze spin-off verspreidt het effect van droogte zich door de verschillende markten voor goederen en diensten binnen de sector (dit zijn de effecten op mesoniveau), maar ook buiten de sector. Het effect op macroniveau is uiteindelijk afhankelijk van hoe alle verbonden markten en sectoren reageren op droogte.

Tot nu toe is er nauwelijks onderzoek gedaan naar de economische effecten van droogte in Nederland op macroniveau. In het Deltaprogramma worden de effecten van droogte onderzocht op mesoniveau. Schattingen van droogteschade voor de agrarische sector laten zien dat deze in een droog jaar (herhalingsjaar 1/10 jaar) op kan lopen van iets meer dan €500 miljoen tot €1500 miljoen voor Deltascenario 'Stoom' in 2050. [Klijn et al., 2012]. De bijdrage van Laag-Nederland aan deze schade is ruwweg 50%. Omdat de absolute schade getallen als onzeker worden ingeschat (want er wordt bijvoorbeeld niet met prijselasticiteit gekeken) is er ook gekeken naar de relatieve schade ten opzichte van de potentiële opbrengst als een meer robuuste indicator (zie tabel 2). Hieruit blijkt dat de gemiddelde opbrengstderving kan als gevolg van klimaatverandering toenemen met 10% in 2050.

	Huidig	G/GE	W+/RC
gemiddeld jaar	6	7	16
droog jaar	10	11	22
extreem droog jaar	24	27	37

Tabel 2 De berekende totale relatieve droogteschade (in % van de potentiële opbrengst) voor geheel Nederland in verschillende karakteristieke jaren in het huidige klimaat en scenario's G/GE en W+/RC in 2050 [Klijn et al. 2012]

## 2.6 Gerelateerd ander KvK onderzoek naar randvoorwaarden

Binnen KvK wordt in thema 6 (Hoge kwaliteit klimaatprojecties voor adaptatie) verder onderzoek gedaan naar veranderende randvoorwaarden vanuit klimaat, hydrologie maar ook grondgebruik. Resultaten hiervan zullen een plek krijgen in de update van de Deltascenario's in 2013. Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar coïncidentie en naar extremen van bepalende klimatologische randvoorwaarden. Tot nu toe echter alleen voor het thema hoogwater. Voor verzilting en droogte is coïncidentie van lage rivierafvoeren en lokale neerslagtekorten van belang en de vraag in hoeverre deze processen zijn gecorreleerd. Naast de Deltascenarios zijn ook voorbeelden van extreme gebeurtenissen van belang voor het toetsen van de robuustheid van strategieën. In het vervolg zal daarom vanuit CPFWS verder aansluiting worden gezocht bij het onderzoek in thema 6.

In het KvK thema 8 "Beleidsondersteunende instrumenten" workpackage 5 wordt onderzocht hoe internationale watermarkten werken in tijden van droogte. Daarvoor wordt een hydro-economisch macromodel ontwikkeld waarvan onder andere Nederland deel uitmaakt. Dit zal op termijn voor CPFWS inzicht bieden in de economische randvoorwaarden waarbinnen de zoetwatervoorziening in Nederland opereert.

Binnen thema 3 (CARE) is gekozen om niet de scenario's van het Deltaprogramma te gebruiken maar internationale scenario's. Socio-economische scenario's worden binnen dit thema zelf ontwikkeld. Door het kwantificeren van ecosysteemdiensten worden bijvoorbeeld rivierafvoeren bepaald. De randvoorwaarden worden vooral binnen onderzoek in thema 3 ontwikkeld. Nadruk ligt hierbij meer op ruimteclaims: natuur vs landbouw en hoge vs lage grondwaterstanden.

Binnen het AgriAdapt project (Wolf et al, 2012 concept) zijn methodieken ontwikkeld die het mogelijk maken om (a) de effecten, risico's en veerkracht te bepalen van landbouwsystemen die bloot staan aan veranderingen in klimaatomstandigheden en ook aan veranderingen in andere factoren (bv markten, technologie en beleid) en (b) adaptatiestrategieën op bedrijfs- en regionaal niveau te evalueren. De methodieken zijn toegepast op akkerbouwsystemen over Europa en verder uitgewerkt voor Flevoland. In deze studie worden toe-



komstige bedrijfssystemen geanalyseerd. De gevolgen van klimaatverandering zullen een positief effect hebben op de akkerbouw in Flevoland. Andere belangrijke sturende factoren zijn de te verwachten prijsveranderingen van landbouwproducten en de mate van innovatie t.b.v. gewasproductiviteit. De boodschap: landbouw is mondiaal dus neem ook de mondiale markt mee in de uitgangspunten en randvoorwaarden.

## 3 Van knelpunten naar oplossingsrichtingen

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe momenteel binnen verschillende programma's wordt gewerkt aan het opstellen van strategieën voor zoetwatervoorziening. In feite gaat het om de beleidsanalytische aanpak: Hoe kom je vanuit gesignaleerde knelpunten tot oplossingen passend binnen mogelijke externe sociaaleconomische- en klimatologische ontwikkelingen. De externe ontwikkelingen en tot welke mogelijke knelpunten deze leiden zijn beschreven in hoofdstuk 2. Dit hoofdstuk zal zich richten op welke oplossingen zijn mogelijk op welke schaalniveaus, vanuit welke denklijnen en gidsprincipes kunnen strategieën worden ontwikkeld en hoe houd je bij strategieontwikkeling rekening met onzekerheid?

In § 3.2 komen aan bod: de gidsprincipes en mogelijke strategieën, het gebruik van knikpunten en adaptatiepaden en de vergelijkingssystematiek in het Deltaprogramma . Daarna wordt stil gestaan bij het gerelateerd CPFWS onderzoek onderzoek naar systeemrobustheid (§3.3.2) en acceptatie (§ 3.3). Systeemrobustheid kan daarbij worden gezien als een toets- of ontwerpcriterium voor te ontwikkelen strategieën. In het onderzoek naar acceptatie gaat het zowel om perceptie van droogterisico's als om het investeringsgedrag (in feite de autonome adaptatie) dat hieruit voortvloeit bij agrarische ondernemers. Inzichten hierin kunnen worden gebruikt om risicocommunicatie te verbeteren, draagvlak voor maatregelen te toetsen en implementatie van maatregelen te vergemakkelijken.

### 3.2 Strategievorming in het Deltaprogramma

#### 3.2.1 Mogelijke strategieën in het Deltaprogramma

Bij het onderscheiden van zoekrichtingen voor de zoetwatervoorziening wordt over het algemeen gewerkt met gidsprincipes. Met gidsprincipes kan objectief de zoekruimte voor oplossingen worden gedefinieerd. Er zijn verschillende gidsprincipes denkbaar. In de praktijk blijken ze vaak te bundelen tot twee hoofdgroepen:

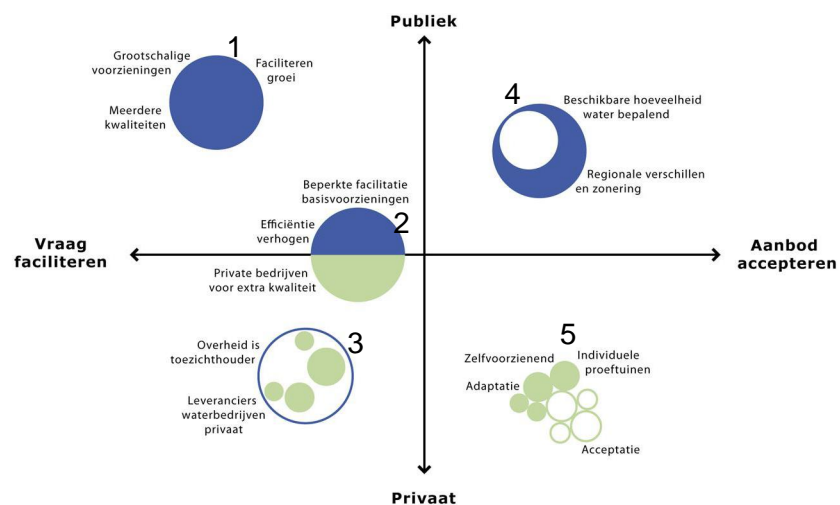
- Functie stuurt/water volgt/vraag faciliteren versus water stuurt/functie volgt/aanbod accepteren. Dit vertaalt zich naar het inzetten op aanbodver-



groting om een (groeïende) watervraag te faciliteren versus een streven naar vraagbeperking zodat een kleiner aanbod voldoende is.

- Zoetwatervoorziening als publieke voorziening versus privatisering van de zoetwatervoorziening. Ook een publiek-private mix is denkbaar.

Door de gidsprincipes op assen tegen elkaar uit te zetten ontstaat de ruimte waarbinnen naar oplossingen kan worden gezocht. Figuur 14 toont de oplossingsruimte en geeft voorbeelden van oplossingen binnen de verschillende kwadranten.



Figuur 14 Denkmodel strategievorming en voorbeelden van oplossingen (bron: Deltaprogramma, DP Zoetwater)

Het *Deelprogramma Zoetwater* van het Deltaprogramma werkt toe naar een strategie voor een duurzame en economisch doelmatige zoetwatervoorziening in Nederland.

Momenteel worden mogelijke strategieën opgesteld, die samen de bandbreedte van de oplossingsruimte in beeld brengen. Vervolgens worden kansrijke strategieën ontwikkeld en wordt (in 2014) een voorkeursstrategie uitgewerkt. De mogelijke strategieën zijn (zie ook Figuur 14 Denkmodel strategievorming en voorbeelden van oplossingen (bron: Deltaprogramma, DP Zoetwater)Figuur 14):

1. Water volgt grootschalig: nationale overheid zorgt voor voldoende water. Het zoetwateraanbod wordt als publieke voorziening geoptimaliseerd ten behoeve van een zo hoog mogelijke leveringszekerheid voor watervragers.
2. Water volgt beperkt (huidige strategie): grotere regionale zelfvoorzienendheid en optimaliseren van de huidige zoetwaterverdeling. Het

zoetwateraanbod als publieke voorziening is een gedeelde verantwoordelijkheid tussen de nationale en decentrale overheden (de waterschappen). Een efficiëncyslag op zowel rijks- als regionaal niveau in de watervoorziening moet ervoor zorgen dat de huidige zoetwatervoorziening zo veel mogelijk gehandhaafd blijft.

3. Water volgt beperkt, met inschakeling van marktpartijen: marktwerking. Voor zover mogelijk wordt de regionale zoetwatervoorziening overgedragen aan marktpartijen. Zorgplichten als verziltingsbestrijding en zoetwatervoorziening worden afgebouwd. Waterschappen staan open voor de entree van marktpartijen die deze taken van hen overnemen. Verondersteld wordt dat de rijkswateren onder verantwoordelijkheid van de rijksoverheid blijven.
4. Water stuurt RO (grondgebruik): sturen en ordenen, functie volgt water via ruimtelijke ordening. Het zoetwateraanbod als gevolg van klimaatverandering loopt terug en ruimtelijke ordening (waaronder grondgebruik door de economische gebruiksfuncties) past zich hieraan aan. De overheid treedt sturend op, zodat economische watergebruiksfuncties groeien op plekken waar wateraanbod, -kwaliteit en -peil voor die bepaalde functie naar verwachting vrijwel nooit beperkend zullen zijn.
5. Water stuurt gebruiker: accepteren en adapteren, watergebruikers zijn zelf verantwoordelijk. In deze strategie ligt het accent op grote eigen verantwoordelijkheid voor de zoetwatervoorziening bij de (economische) gebruikers. In deze proeftuin van private-publieke samenwerking ontstaan volop kansen (en noodzaak!) voor waterhouderijen en andere technologische innovaties. Accent bij de gebruiksfuncties ligt op adaptatie en acceptatie.

Het Deltaprogramma werkt de vijf strategieën op nationaal niveau uit. Het handelingsperspectief (maatregelen en beleidsinstrumenten) op regionaal/lokaal niveau moet voornamelijk worden ingevuld door en samen met regionale partijen en gebruiksfuncties.

### 3.2.2 Omgaan met onzekerheden in het Deltaprogramma

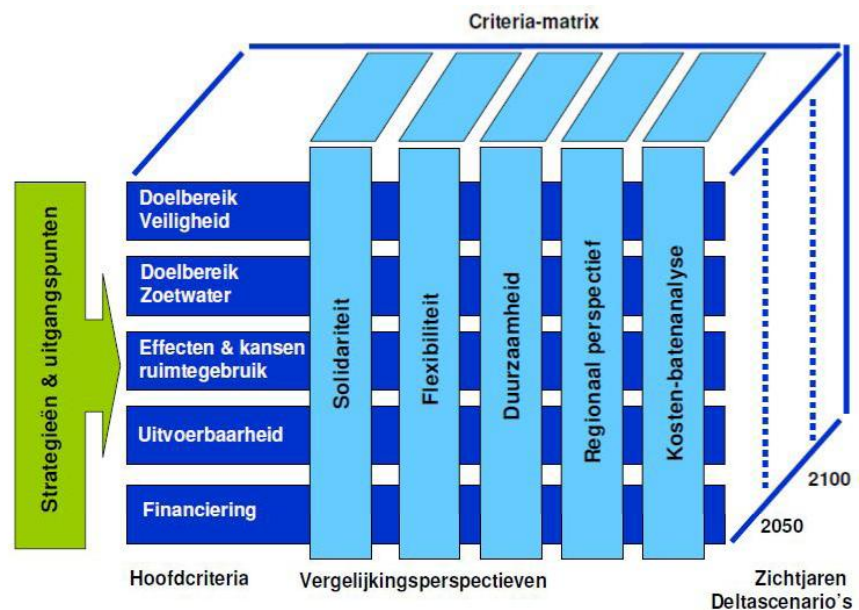
Beslissingen ten behoeve van het waterbeheer gaan vaak om grote investeringen met grote maatschappelijke gevolgen. Daarom willen we dat deze beslissingen hun doel ook bereiken als de toekomst anders uitpakt dan verwacht. De vraag is wat de *toekomst* zou kunnen brengen, en wat we *nu* het beste kunnen doen om onze doelen zo goed mogelijk binnen bereik te houden. Dit wordt robuust besloten genoemd (zie ook Box 3.2) en is onder andere uitgewerkt door de RAND corporation (Lempert et al., 2003). In het Deltaprogramma wordt in een aantal generieke sporen de strategievorming in de deelprogramma's ondersteund: de vergelijkingsystematiek voor de vergelijking van strategieën op



een groot aantal criteria en adaptief deltamanagement als sturingsfilosofie voor het ontwikkelen van tijdsgedifferentieerde en gebiedsgeïntegreerde strategieën. In beide aanpakken is er veel aandacht voor het omgaan met onzekerheden.

### De vergelijkingsystematiek en robuustheid

De vergelijkingsystematiek van het Deltaprogramma biedt de mogelijkheid effecten van strategieën inzichtelijk te maken voor een groot aantal criteria (zie Figuur 15) en vergelijkingsperspectieven. Doelbereik zoetwater is een van de hoofdcriteria maar ook uitvoerbaarheid waaronder aspecten als maatschappelijk en bestuurlijk draagvlak en aanpassingsvermogen vallen.



Figuur 15 Hoofdindeling van de vergelijkingsystematiek (Lamberigts et al., 2011)

De vergelijkingsystematiek zal worden toegepast voor meerdere deltasenario's kan. Dit kan zo worden gezien als een manier om de robuustheid van strategieën te bepalen. Een robuuste maatregel is effectief onder zo veel mogelijke toekomsten. Roubuustheid kan hiermee worden gebruikt als besliscriterium in aanvulling op bijvoorbeeld kosten en effectiviteit. Voor elk relevant besliscriterium (kosten, effectiviteit) wordt geanalyseerd hoe deze variëren over de geanalyseerde scenario's ( zie voorbeeld Figuur 16)

		Scenario		
		A	B	C
Maatregel	X	+	-	-
	Y	+	+	+
	Z	-	-	-

Figuur 16 Voorbeeld van een scorekaart voor twee maatregelen en het huidige beleid, en drie toekomstscenario's (A, B, C). Maatregel 'Y' is het meest robuust.

### Adaptatief Deltamanagement

Een vergelijkingsystematiek is goed bruikbaar voor een evaluatie op 1 moment in de tijd, bijvoorbeeld voor 2050 en/of 2100. Echter, tussen nu en deze projectiejaren kan er veel veranderen. Klimaatverandering kan mee- of tegenvallen. Het is denkbaar dat we leren, veranderen en ons aanpassen, bijvoorbeeld in reactie op extreme gebeurtenissen en na evaluatie van nieuwe meetgegevens. In het Deltaprogramma 2012 wordt daarom aanzet gegeven voor een aanvullende aanpak: Adaptief Deltamanagement.

“Bij Adaptief Deltamanagement wordt een schematisch overzicht ontwikkeld met adaptatiepaden voor de opgaven in het betreffende gebied, uitgaande van een bandbreedte van mogelijke, plausibele toekomst (deltascenario's). In dat schema wordt, startend bij de huidige situatie, in beeld gebracht wat de eerstvolgende beslissing is. Verder doorkijkend wordt nagegaan wat in een later stadium mogelijke aanpassings- of adaptatiestrategieën zijn, inclusief de condities waaronder het verstandig lijkt om over te stappen van de ene strategie naar een andere. Vervolgens worden de mogelijkheden in beeld gebracht om voor de realisatie van die strategieën mee te koppelen met andere investeringsagenda's” (Deltaprogramma, 2011).

Belangrijk element van de Adaptief Deltamanagement is het gebruik van *knikpunten en adaptatiepaden* (Kwadijk et al., 2010; Haasnoot et al., 2012). De methode van Haasnoot et al. 2012 om adaptatiepaden op te stellen is samengevat in Figuur 17. Het eindresultaat van de aanpak, een adaptatiepadenkaart geeft aan welke maatregelen robuust zijn, in de zin dat ze in alle verkende mogelijke toekomst de gestelde doelen halen en welke maatregelen flexibel zijn in de zin dat het mogelijk is om over te stappen op een andere maatregel. Soms kan overstappen lastig of zelfs onmogelijk zijn. Dat noemen we een doodlopende weg of 'lock-in'. Een knikpunt geeft aan onder welke omstandigheden een bepaalde maatregel onvoldoende is om de gestelde doelen te behalen (Kwadijk et al., 2010). Door dit te combineren met scenario's kan een inschatting worden gemaakt van wanneer dit in de toekomst zou kunnen gebeuren. Dit noemen we ook wel de houdbaarheid van een bepaalde maatregel. Afhankelijk van het scenario kan dit eerder of later plaatsvinden.





### Box 3.1 De taal van onzekerheid: soorten onzekerheid

Er bestaat een grote verscheidenheid aan terminologie rondom onzekerheden binnen de verschillende wetenschappelijk disciplines die zich er mee bezighouden. Walker et al. (2003) presenteren een raamwerk voor onzekerheid dat uitgaat van een verschil tussen een analytisch perspectief op onzekerheid en een beleidsmakers perspectief op onzekerheid (van Asselt, 2000). Het raamwerk van Walker et al. focust op het analytische perspectief. Het raamwerk is onlangs gereviewed en geüpdatet door Kwakkel et al. (2010b). Een centrale gedachte van dit raamwerk is dat onzekerheid een drie dimensionaal concept is. De drie dimensies zijn locatie, aard, en niveau.

Elk van deze drie dimensies is relevant om een benadering voor de behandeling van onzekerheden te kiezen. Het niveau van onzekerheid speelt echter de belangrijkste rol. Het niveau van onzekerheid varieert van complete onwetendheid tot volledige zekerheid. We definiëren in onderstaande tabel vijf tussenniveaus.

Niveau van onzekerheid	Beschrijving van de onzekerheid	Voorbeelden van omgang met de onzekerheid
Niveau 1 (recognized uncertainty)	Erkennen dat je niet absoluut zeker bent zonder in staat te zijn of van plan te zijn om de onzekerheid expliciet te meten.	Het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses door bepaalde randvoorwaarden met kleine stapjes te veranderen.
Niveau 2 (shallow uncertainty)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen en aan deze mogelijkheden waarschijnlijkheden toe te kennen.	Een voorbeeld hiervan zou kunnen zijn het gebruik van probalistische scenario's
Niveau 3 (medium uncertainty)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen en daarbij wel de rangorde maar niet de omvang van waarschijnlijkheden kunnen geven.	Een voorbeeld hiervan is in klimaatverandering de toename van de gemiddelde jaarlijkse neerslag. We vinden het waarschijnlijker dat deze toeneemt dan dat hij niet toeneemt.
Niveau 4 (deep uncertainty)	In staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen maar daarbij niet de rangorde of waarschijnlijkheden bij kunnen geven.	Een voorbeeld hiervan zijn de in Nederland gebruikte KNMI06 klimaat scenario's waarin voor de zomer zowel een gelijkblijvende (G) als sterk toenemende droogte (W+) mogelijk is.
Niveau 5 (recognized ignorance)	Niet in staat zijn om meerdere mogelijkheden op te sommen, maar wel wetendat er verassingen kunnen zijn.	De mogelijkheid openhouden op onverwachte events. De kwetsbaarheid hiervoor verkleinen

Niveaus van onzekerheid (naar Kwakkel et al 2010A)

### Box 3.2 De taal van onzekerheid: flexibiliteit, veerkracht en robuustheid

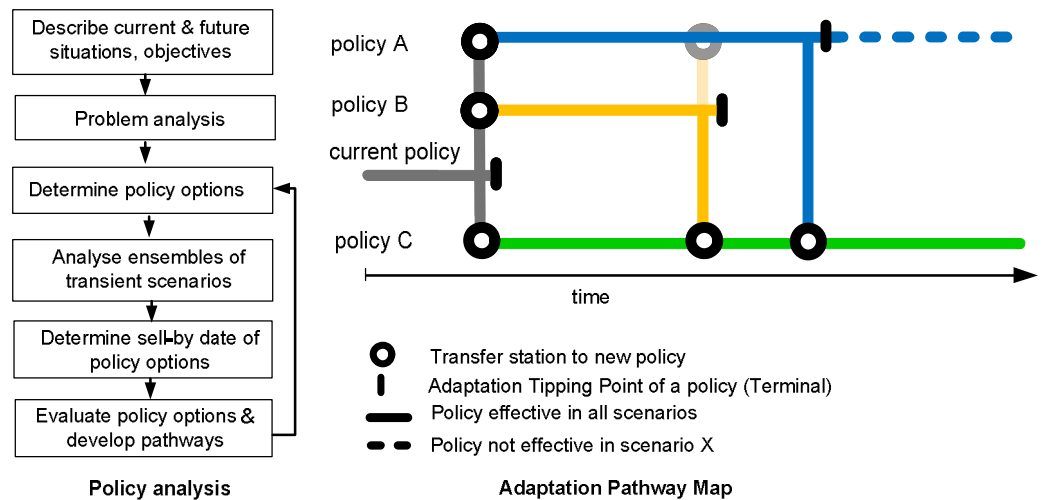
De laatste jaren zijn diverse methoden in ontwikkeling voor de omgang met onzekerheden zoals: het gebruik van scenario's op verschillende manieren (Haasnoot et al. 2011, Varum en Melo 2010) en rekenkundige benaderingen zoals "exploratory modelling" (Agusdinata, 2008). Deze technieken zijn weliswaar een stap vooruit wat betreft het omgaan met onzekerheid, maar schieten nog steeds te kort waar het verrassingen, ofwel diepe onzekerheid en onwetendheid (Goodwin and Wright, 2010). Daarom is er een groeiende belangstelling voor het focussen op flexibiliteit (=het gemak waarmee een system of beleid kan worden aangepast aan substantiële, onzekere en snel optredende veranderingen) Een voorbeeld van een planning raamwerk dat zich expliciet richt op flexibiliteit is bijvoorbeeld te vinden in Kwakkel et al. 2010B. Ook het werk van Haasnoot et al. 2012 rondom adaptatiepaden past zeer goed in deze lijn. Beide benaderingen worden geïntegreerd tot een coherent raamwerk voor het ontwerpen van adaptieve strategieën.

Bovenstaande gedachten vinden we ook terug in het huidige Deltaprogramma in de vorm van Adaptief Deltamanagement. Het centraal idee van deze aanpak voor strategievorming is dat startend vanuit een beslissing nu een strategie gekozen wordt die afhankelijk van toekomstig optredende ontwikkelingen en gebeurtenissen meerdere keuzes open laat (Deltaprogramma, 2011).

Naast aandacht voor flexibiliteit is er in de literatuur ook veel aandacht voor strategieën gebaseerd op veerkracht. Dergelijke veerkracht benaderingen leggen het accent op het vergroten van het vermogen van het fysiek en maatschappelijke om om te gaan met verstoringen.

Naast de termen flexibiliteit en veerkracht wordt onderzoek van CPFWS extra aandacht besteed aan het begrip robuustheid. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen 'systeem robuustheid' (=het vermogen van een system om te blijven functioneren onder een range van condities) en robuuste besluitvorming (=de mate waarin een besluit of beleid goed presteert onder een range van condities, Lempert et al., 2003).

In de praktijk van de zoetwatervoorziening in Nederland komen meerdere voorbeelden voor van het streven naar meer flexibiliteit, robuustheid en veerkracht om risico's die voortkomen uit onzekere externe ontwikkelingen te minimaliseren. Zo zorgen tuinders bijvoorbeeld er vaak voor dat ze meerdere waterbronnen ter beschikking hebben (bijv. gietwater, oppervlakte water en ontzilt rondwater) waarmee ze de 'veerkracht' van hun productiesysteem vergroten voor optredende watertekorten.



Figuur 17 Stappenplan voor het maken van adaptatiepaden (links) en een voorbeeld van adaptatiepaden (rechts) (naar Haasnoot et al., 2012).

### Toepassingen voor zoetwatervoorziening

Robuustheidstoetsen, knikpunten en adaptatiepaden zijn al toegepast voor het thema zoetwatervoorziening (verziltning/droogte). De robuustheidstoets Volkerak-Zoommeer (VZM) geeft antwoord op de vraag of de regionale zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta bij een toekomstig zout VZM in orde kan blijven. De hoofdconclusie is dat een goede zoetwatervoorziening, waarbij het huidige voorzieningsniveau tenminste wordt gehandhaafd, mogelijk is met zowel een zoet, als met een zout VZM. Het VZM is geen strategische zoetwatervoorraad. (De Vries et al, 2012). Een knikpuntenanalyse (Hoogvliet et al 2008) laat o.a. zien dat regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden als gevolg van klimaatverandering (toename kweldruk, afname grondwateraanvulling) onder druk komen te staan en mogelijk kunnen verdwijnen. Kwadijk et al, 2010 laat zien dat klimaatverandering en zeespiegelstijging een urgentere bedreiging vormen voor de zoetwatervoorraad in het westen van Nederland dan overstroming. In (Haasnoot en ter Maat, 2011) wordt een eerste aanzet voor mogelijke adaptatiepaden beschreven voor de watervoorziening via het IJsselmeer. De set van adaptatiepaden vormt hier een adaptatiekaart.

## 3.3 CPFWS onderzoek naar zoetwater strategieën

### 3.3.1 De zoekrichtingen binnen CPFWS

Meer regionale zelfvoorzienendheid is de voornaamste zoekrichting in project CPFWS. De oplossingen die daarvoor kunnen worden ingezet bevinden zich niet in één specifiek kwadrant van het assenkuis. Oplossingen die door CPFWS worden onderzocht richten zich op:

- Oplossingen via het lokale tot regionale waterbeheer (efficiënter doorspoe- len, water langer vasthouden middels flexibel peilbeheer, peilgestuurde drainage, waterhouderij). De oplossingen uit deze zoekrichting kunnen in elk van de vier kwadranten vallen.
- Beperking van de watervraag via landgebruik (zilte teelten, herijking van zouttoleranties, meebewegen van natuur, normering en ruimtelijke orde- ning als oplossing). Deze oplossingen liggen in het kwadrant 'aanbod ac- cepteren – publiek'.
- Oplossingen via watertechnologie. Deze oplossingen liggen voornamelijk in het kwadrant 'aanbod accepteren – privaat'.

De oplossingen die in CPFWS worden onderzocht en ontwikkeld passen binnen de strategieën 2 t/m 5 en hebben betrekking op een lokaal tot regionaal schaalniveau. In het volgende hoofdstuk zijn de oplossingen uitgewerkt. Daarbij is voor elke oplossing aangeduid binnen welke strategie uit het Deltaprogram- ma deze past.

Het Kennisprogramma *Deltaproof* van STOWA brengt kennisvragen van water- schappen over waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid in beeld, en zoekt samen met hen naar praktische antwoorden op die vragen. Het kennispro- gramma richt zich op de realisatie van opgaven op regionaal niveau en is daar- mee in principe complementair aan het Deltaprogramma. Deltaproof loopt tot en met 2013 en maakt voor zijn kennisvragen gebruik van resultaten uit CPFWS.

### 3.3.2 Robuuste droogterisicosystemen (WP5)

Wat is systeemrobuustheid?

Robuustheid is de mate waarin een systeem kan omgaan met verstoringen (Mens et al., 2011). Toegepast op zoetwatervoorziening en droogte in West- Nederland, is een systeem het geheel aan boezems, sloten, polders en hun ge- bruikers. Een verstoring is het optreden van een neerslagtekort (droogte), waardoor het 'functioneren' bemoeilijkt wordt en er mogelijk schade ontstaat aan bijvoorbeeld gewassen. Omdat het gaat over kansen en gevolgen, dus over risico, wordt ook wel gesproken van een droogterisicosysteem. Een robuust droogterisicosysteem heeft een goede balans tussen de verstoring buiten het systeem houden ('weerstand', bijvoorbeeld door bufferwerking, aanvoer van zoet water van elders) en de verstoring zodanig opvangen in het systeem dat de schade beperkt blijft en proportioneel oploopt. Dit laatste betekent dat bij een iets extremere droogte niet opeens heel veel meer schade optreedt. Vaak is het zo dat een grote weerstand (dus een kleine kans op schade door droogte) leidt tot grote gevolgen als de weerstand overschreden wordt. De uitdaging is dus om het systeem zodanig in te richten dat schade zoveel mogelijk wordt voorkomen, zonder dat de kans bestaat dat extreme gebeurtenissen tot extre- me schade leiden.



## Hoe kun je systeemrobustheid kwantificeren?

De vraag is hoe systeemrobustheid gekwantificeerd kan worden, zodat het de besluitvorming over maatregelen ten aanzien van aanbodvergroting of vraagbeperking van zoet water kan ondersteunen. Een belangrijk hulpmiddel bij het kwantificeren van systeemrobustheid is de reactiecurve, die het verband geeft tussen de systeemreactie (bv. schade aan landbouwgewassen) en de mate van droogte (zie Figuur 18 en voorbeeld Rijnland). Uit de reactiecurve kunnen vervolgens de drie belangrijkste eigenschappen van een robuust systeem worden afgeleid:

- Reactiedrempel of weerstand (bij welke mate van droogte is er sprake van schade)
- Ernst van de gevolgen (absolute droogteschade)
- Proportionaliteit van de gevolgen (hoe gevoelig is de schade voor de mate van droogte).

Verder onderzoek in WP5 richt zich op de keuze voor een goede droogte-indicator en een methode om schade aan landbouwgewassen te bepalen. Een gebruikelijke droogte-indicator is het maximaal cumulatief neerslagtekort in het zomerhalfjaar (zie Beersma & Buishand, 2004). Dit is het verschil tussen neerslag en referentieverdamping, opgeteld over het zomerhalfjaar. Als dit cumulatieve tekort kleiner wordt dan nul, begint de telling opnieuw bij het eerstvolgende tekort. Deze indicator bevat geen informatie over de timing van de droogte. Dit is wel van belang voor het al dan niet optreden van landbouwschade. Het is daarom zinnig om op zoek te gaan naar een alternatieve indicator.

### Voorbeeld Rijnland

Het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Rijnland kenmerkt zich door de combinatie van verschillende soorten landgebruik: landbouw in diepe droogmakerijen, bloembollenteelt op de zanderijen (afgegraven strandwallen), boomteelt op (afgegraven) veen en gras/veeteelt in veenweidegebieden. Het gebied is peilbeheerst. In de zomer wordt een tekort aan zoet water aangevuld door water in te laten vanuit de Hollandse IJssel bij Gouda. Dit water wordt voornamelijk gebruikt om het systeem door te spoelen, zodat verzilt slotwater uit de diepe droogmakerijen uit het systeem verwijderd wordt, voor peilbeheer (natuur en stabiliteit waterkeringen), en voor beregening van gewassen. Onder gemiddelde omstandigheden is er dan geen sprake van schade aan landbouw.

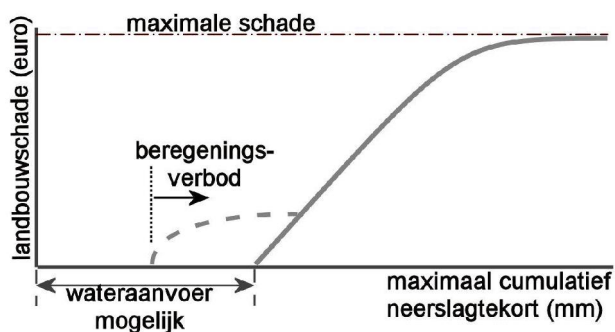
De weerstand van dit systeem wordt overschreden zodra de inlaat bij Gouda dicht moet vanwege te hoge zoutconcentraties in de Hollandse IJssel. Dit gebeurde in 2003 bij een landelijk cumulatief neerslagtekort van ongeveer 165 mm begin augustus. Dit neerslagtekort heeft een overschrijdingskans van ongeveer 1/10 per jaar (in het huidige systeem). De weerstand uitgedrukt in millimeters neerslagtekort is echter sterk afhankelijk van de rivierafvoer: een lage

rivierafvoer kan ook optreden bij een kleiner neerslagtekort, of zolang de rivierafvoer hoog genoeg is leidt een hoger neerslagtekort niet automatisch tot schade.

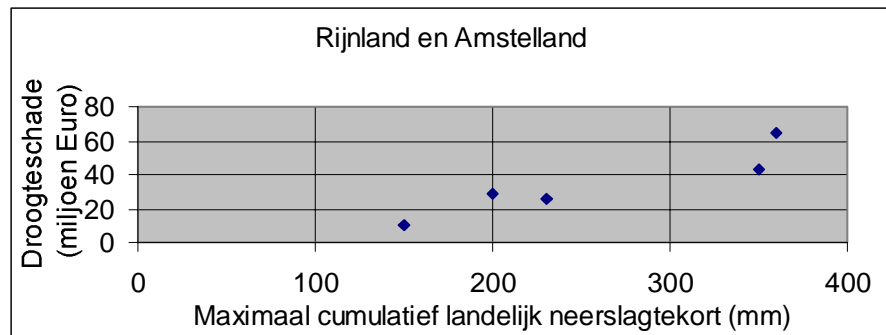
Klijn et al. (2010) leidden al eerder een relatie af tussen landbouwschade en de frequentie van neerslagtekort voor verschillende deelgebieden, op basis van berekeningen met het PAWN-instrumentarium voor vijf karakteristieke droogtejaren (zie Van Beek et al., 2008). Als deze frequenties vervangen worden door het bijbehorende neerslagtekort, ontstaat een reactiecurve. Figuur 19 toont de reactiecurve van Amstelland-Rijnland. Het valt op dat de schade bij ongeveer 230 mm tekort kleiner is dan de schade bij ongeveer 200 mm tekort. Een mogelijke verklaring is dat het tekort van 200 mm samenging met lage rivierafvoeren, waardoor de inlaat bij Gouda vaker dicht is geweest. Dit laat zien dat voor een informatieve reactiecurve meerdere jaren met een vergelijkbaar neerslag tekort, maar andere rivierafvoeren gebruikt moeten worden.

Alternatieve wateraanvoer, zoals de Kleinschalige WaterAanvoervoorziening (KWA), kan de weerstand verhogen. Als de KWA echter niet voldoende is om alle functies (dus ook peilbeheer) te voorzien, zal een beregeningsverbod in werking treden en alsnog schade ontstaan aan landbouwgewassen. Dit is in Figuur 18 aangegeven met de stippellijn. De landbouwschade hangt dus ook samen met de vraag van andere functies in het gebied.

De schade die optreedt als gevolg van neerslagtekort en wateraanvoertekort, is onder andere afhankelijk van de bufferwerking van de ondergrond, en het groeistadium van de gewassen. Het is daarom interessant om de reactiecurve af te leiden voor deelgebieden die zich onderscheiden in fysische geografie, streefpeil en gewastype.



Figuur 18 Voorbeeld reactiecurve: landbouwschade door droogte als functie van neerslagtekort voor fictief gebied



Figuur 19 Reactiecurve voor Rijnland en Amstelland (op basis van Klijn et al., 2010): landbouwschade als functie van het maximaal cumulatief neerslagtekort (landelijk)

### 3.3.3 CPFWS onderzoek - Droogteacceptatie (WP1.1)

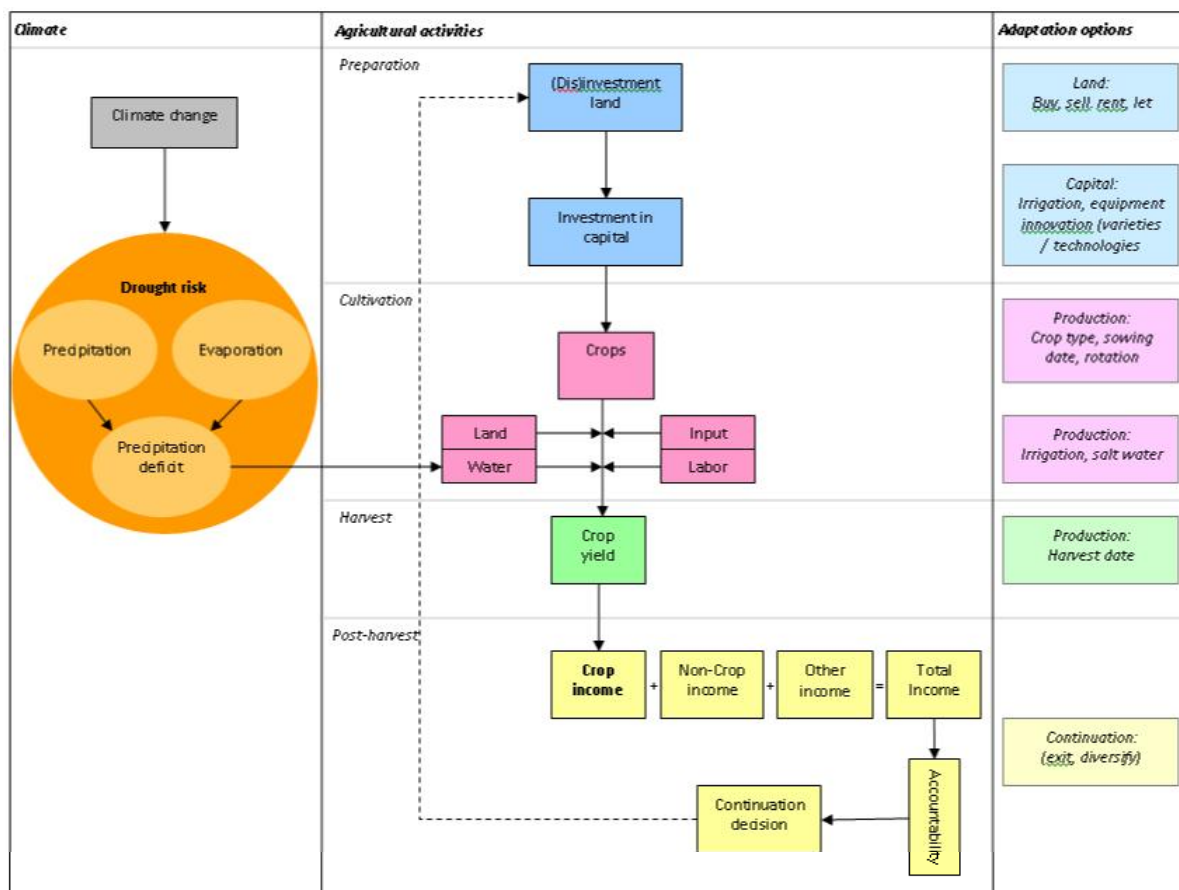
Hoewel macro- en mesoschaal-studies een goed inzicht geven in de omvang van economische schade, geven ze een beperkt inzicht in de onderliggende factoren en processen die de kwetsbaarheid van de economie bepalen. Een belangrijke determinant van economische kwetsbaarheid die in macro schattingen buiten beschouwing wordt gelaten, is autonome droogteadaptatie. Dit wordt veroorzaakt door de standaard neoklassieke economische aannames die aan de basis liggen van macro en meso analyses, zoals het bestaan van volledige informatie en perfecte rationaliteit van economische agenten. Een 'bottom-up' benadering, waarbij inzicht wordt verkregen in factoren zoals risicoperceptie, sociale interactie en social-learning van een individu, draagt bij aan het begrijpen van dit adaptatieproces. Bovendien zou het beleidsmakers kunnen ondersteunen in het ontwikkelen van effectieve beleidsinstrumenten om het droogterisico te beïnvloeden.

Doel van dit onderdeel is om het droogte adaptatieproces binnen de agrarische sector en de consequenties die dit meebrengt voor de kwetsbaarheid van de sector beter te begrijpen. Hiervoor wordt een survey onder boeren uitgevoerd die onderzoekt welke factoren hen motiveert om te adapteren, bijv. risicoperceptie en de perceptie van adaptatiekosten. Daarnaast wordt een zogenaamd agent-based model ontwikkeld waarmee het adaptatiegedrag binnen de agrarische sector gesimuleerd kan worden. Interactie in het sociale netwerk en met de fysieke omgeving zullen expliciet meegenomen worden. Met dit model kunnen de consequenties van het gezamenlijke adaptatiegedrag van verschillende individuele boeren die van elkaar en de omgeving leren inzichtelijk gemaakt worden. Het Agent-Based Model zal vervolgens op één van de 'hotspots' (district Haaglanden/Zuidwestelijke Delta) worden toegepast. Eerste resultaat van deze studie is een conceptueel model.

Een conceptueel model

Adaptatie is een belangrijke factor die de kwetsbaarheid van de Nederlandse agrarische sector bepaalt. Droogte beïnvloedt de hoeveelheid water die beschikbaar is voor agrarische productie. Een tekort aan water heeft gewasschade als gevolg. Een agrariër heeft verschillende adaptatiemogelijkheden. Deze zijn afhankelijk van de fase waarin het productieproces zich bevindt. Om droogteschade tegen te gaan kan hij land aankopen of verkopen, investeren in irrigatiemateriaal, aanpassingen aanbrengen in de zaai en oogstdata of door zijn productie te diversifiëren, zie Figuur 20.

Er zijn verschillende theorieën vanuit de psychologie en sociologie beschikbaar die de motivatie van individuen om zichzelf te beschermen tegen bedreigingen van buitenaf verklaren. Eén van deze factoren is bijvoorbeeld risicoperceptie. Naarmate een boer een hoger risico perceptie heeft van het gevaar van droogte, zal hij eerder bereid zijn om een bepaalde adaptatie strategie te volgen. Daarnaast beïnvloedt informatie vanuit het sociale netwerk het adaptatiegedrag van een agrariër. In het vervolg van dit werkpakket wordt een enquête uitgevoerd onder agrariërs om deze theorieën toe te passen en te toetsen.



Figuur 20 Klimaat effecten en adaptatie opties in de agrarische sector [van Duijn et al., 2011]





Alle adaptatiebeslissingen van individuele agrariërs samen vormen de basis van de kwetsbaarheid van de gehele sector tegen droogte. Dit is een complex dynamisch proces:

1. Er is een wisselwerking tussen de fysieke omgeving en de agrariër: a) een agrariër observeert veranderingen in gewasopbrengst en reageert daarop; b) adaptatie door bijvoorbeeld een andere gewaskeuze beïnvloedt het landgebruik.
2. Er is een wisselwerking tussen agrariërs onderling: a) een agrariër zendt informatie door interactie of door de zichtbaarheid van keuzes die hij maakt; b) een agrariër ontvangt informatie door bijvoorbeeld interactie, observatie of imitatie van de beslissingen van anderen.

Deze processen zullen in het vervolg van dit onderzoek onderzocht worden door middel van een Agent-Based Model. Een Agent-Based Model is een simulatie model van heterogene interacterende 'agents' die onderdeel zijn van een omgeving. Figuur 20 laat het conceptueel model zien. De agents zijn agrariërs die beschikken over een aantal percelen, waarop gewassen worden verbouwd met bepaalde gewaseigenschappen. Deze gewassen zorgen voor de agrariër zijn inkomen. Ieder jaar wordt aan elk perceel een bepaalde waterbeschikbaarheid toegekend. De gewasproductie is afhankelijk van deze waterbeschikbaarheid (voor zover mogelijk zal hier het landbouwschademodel AGRICOM in het model worden geïntegreerd). Een agrariër neemt een adaptatiebeslissing op basis van de gewasopbrengst die hij observeert en door interactie met collega's. Deze beslissing zal voor de agrariërs verschillend zijn doordat zij verschillende kenmerken hebben (productietechniek, gewas, risicoperceptie etc). De adaptatiebeslisregels worden gevalideerd aan de hand van de data die verzameld wordt in de enquête. Het adaptatiegedrag zal consequenties hebben voor het sociale systeem die niet direct toe te kennen zijn aan het individuele gedrag van de agent, dit wordt in de literatuur ook wel 'emergent behavior' genoemd. Hierbij kan gedacht worden aan de diffusie van adaptatiemaatregelen door het sociale netwerk en het veranderen van het landgebruik patroon in het gebied.

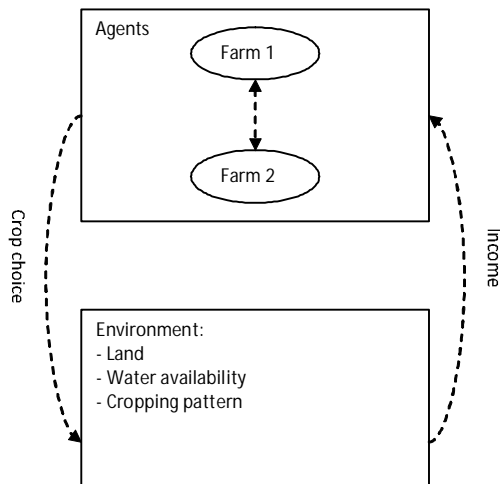


Figure 21 Conceptueel model

In het werkpakket wordt gekeken naar mogelijkheden om het model toe te passen op een casestudy gebied in Nederland en de rol van collectieven van agrariërs (LTO).

### 3.4 Aanverwant KvK onderzoek

Binnen thema 7, governance wordt veel aandacht besteed aan implementatie aspecten van maatregelen en strategieën. Ook wordt aandacht besteed aan niet fysieke maatregelen en preventie. Reden om in de 2<sup>e</sup> helft van het CPFWS-onderzoek te streven naar betere integratie tussen de 2 thema's. Binnen thema 3 (CARE) wordt vergelijkbaar onderzoek naar perceptie van risico's en acceptatie van maatregelen eveneens doormiddel van Agent-based-modelling, dit keer in hoog NL voor landbouw en natuur.



## 4 Adaptatie mogelijkheden in waterbeheer, landbouw en natuur

### 4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van tussenresultaten van de verschillende werkpakketten in CPFWS die zich richten op maatregelen ten behoeve van landbouw en natuur. De focus ligt daarbij op de zoutproblematiek van laag Nederland. Aandacht wordt besteed aan het natuurlijk systeem (WP2) en de 'gebruikers' landbouw en natuur zelf (WP3). Technische oplossingen (WP4) worden in het volgende hoofdstuk behandeld. De focus ligt op de problemen die worden aangepakt, de mogelijke oplossingen die daarvoor worden onderzocht en binnen welke strategieën (zie hoofdstuk 3) die oplossingen passen. Wat leert ons het getoonde onderzoek over de potentie van de verschillende opties en welke perspectieven op oplossingsrichtingen biedt ons dit?

Leidraad voor de beschouwingen in de navolgende paragrafen is de volgende set vragen:

- Op welke problematiek richt het werkpakket zich?
- Wat zijn de voornaamste resultaten tot nu toe?
- In welke oplossing(en) zit de meeste potentie?
- Binnen welk type strategie passen die oplossingen? Leg daarbij een relatie met het Deltaprogramma.
- Welke rol spelen onzekerheden in klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkelingen? Hoe flexibel/robuust is een oplossing bij meer of minder klimaatverandering of economische groei?
- Wat zijn risico's op over/onderinvestering?
- Welke kennislücken zijn er nog en wat wordt daarmee gedaan in het werkpakket en eventuele andere onderzoeken?
- Wat zijn de belangrijke state of the art referenties voor het werkpakket? Op welke resultaten wordt voortgebouwd? In tegenstelling tot de vorige hoofdstukken is de context (wat doen anderen) verwerkt in de paragrafen over het CPFWS onderzoek.

## 4.2 Lokale tot regionale maatregelen voor zoetwatervoorziening

In het Kennis voor Klimaat rapport 'Zoetwater verhelderd, Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld' (Tolk, 2012) zijn kengetallen voor verschillende relatief kleinschalige maatregelen zoetwatervoorziening in beeld gebracht. Het rapport brengt veel beschikbare kennis samen en is een tussenresultaat van de pilot Zuidwestelijke Delta van CPFWS. De generieke informatie over maatregelen kan echter ook breder worden gebruikt. In het rapport wordt onderscheid naar schaalniveau gemaakt waarop maatregelen kunnen worden toegepast.

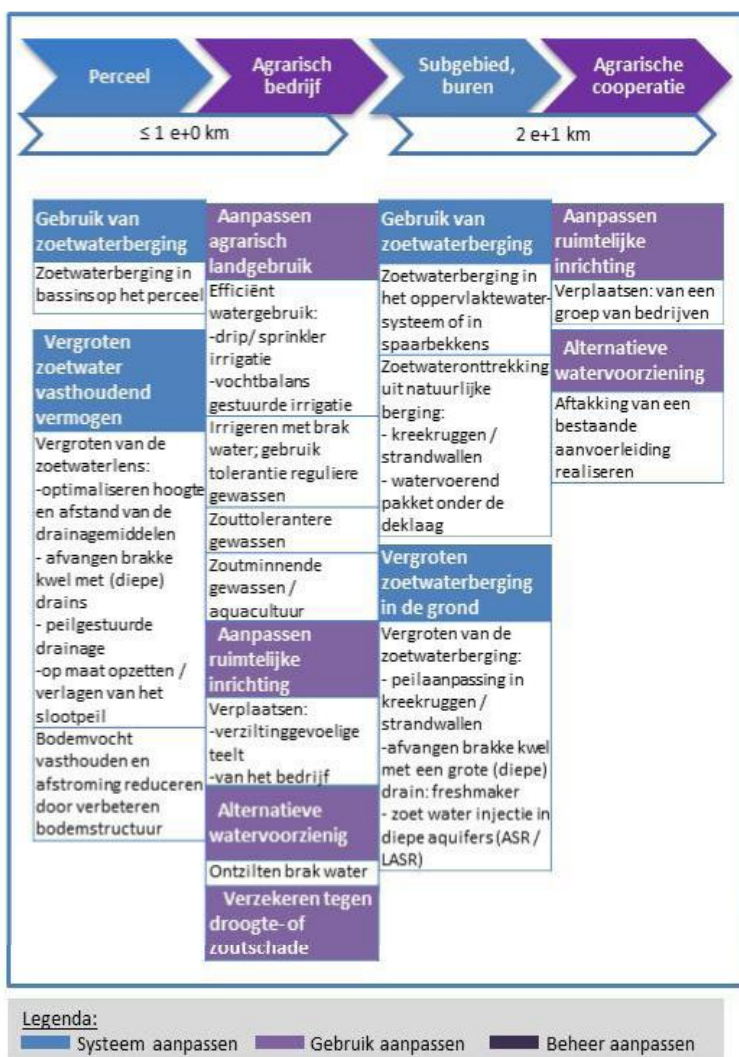


Figure 22 Maatregelen op verschillende schaalniveaus (Tolk, concept)

Daarnaast is een onderscheid gemaakt tussen watergebruikers (watervraag), het watersysteem (wateraanbod) en de beheerder (sturende rol op systeem en



gebruiker). Maatregelen die het vochtvasthoudend vermogen vergroten zijn relatief goedkoop, maar nog wel sterk in ontwikkeling. Opvallend duur is berging van zoet water in bassins op het perceel. Het oppompen van grondwater is relatief goedkoop, maar niet overal mogelijk. Hier zal mogelijk nog integratie met wp 5 plaatsvinden: een kosten/baten analyse door de schatting van de kosten voor de maatregelen te combineren met de in wp 5 berekende schades en schadereducties. Ook STOWA is bezig met vastleggen van informatie over kansrijke zoetwater maatregelen. De huidige stand van zaken wordt beschreven in de Deltafacts. Een van de Deltafacts behandelt bijvoorbeeld het onderwerp peilgestuurde drainage.

Het Rapid Assessment Model Handelingsruimte zoutmanagement van het regionale watersysteem van Rijnland is voor De Waterdienst ontwikkeld. Doel van dit project is het verkrijgen van een beter inzicht in de mogelijkheden van verziltingsmanagement/anders omgaan met verzilting, en tevens het leveren van een quick-scan analyse van mogelijke oplossingsstrategieën voor de zoetwaterproblematiek in laag Nederland (Stuyt et al 2012). Een van de mogelijke strategieën is een aanpassing van de zouttoleranties bij inlaten. Een verruiming van de zoutnorm is ook een adaptatiestrategie voor het boezemstelsel van Schieland (Veraart, 2012).

#### 4.3 Adaptatie van zoetwatervoorziening en buffercapaciteit van het gekoppeld grondwater - oppervlaktewater systeem (WP2)

*Het grondgebruik in Laag Nederland wordt geconfronteerd met externe en interne verzilting die mogelijk wordt versterkt als gevolg van klimaatverandering. Over de urgentie en prognose van dit probleem bestaat structureel onduidelijkheid (zie ook hoofdstuk 2). Waterschappen hebben vaak verschillende ideeën over de waterkwaliteit die nodig is voor een bepaald gebruik. Het zoutgehalte van het oppervlaktewater dat waterschappen in verziltinggevoelige gebieden nog acceptabel vinden blijkt sterk regiogebonden. Er wordt geregeld te werk gegaan volgens ongeschreven beheersregels. Deze verscheidenheid waarmee regionale waterbeheerders omgaan met de watervoorziening maakt het voor het Deltaprogramma niet gemakkelijker om tot strategieën voor zoetwatervoorziening te komen. Er is behoefte aan een nadere precisering van de werkelijke urgentie, maar vooral ook van het handelingsperspectief. Om het handelingsperspectief nader te concretiseren bekijkt dit werkpakket de adaptatiemogelijkheden die geboden worden door het grond- en oppervlaktewatersysteem.*

##### 4.3.1 WP2.1 Ontwikkeling van een kwantitatief raamwerk om adaptatie strategieën te optimaliseren voor droogte en verzilting in grond- en oppervlaktewater t.g.v. klimaatverandering

Hoofdvraag voor WP2.1 is: hoe verloopt de grondwater – oppervlaktewater uitwisseling in droge zomers in Laag-Nederland, bij het uitzakken van grondwa-

ter? Wat betekent dit voor de watervraag voor landbouw, natuur, peilbeheer en doorspoeling en hoe gaat deze veranderen?

Door de Louw et al. (2011), de Louw et al. (2010) en Oude Essink et al. (2010) wordt geconcludeerd dat de kwelhoeveelheden in een diepe polder erg heterogeen zijn. Doordat kwelsnelheden door upconing de zoutlast beïnvloeden komt dit dubbel terug in de heterogeniteit van de zoutlast. Wellen zorgen in diepe polders voor de belangrijkste zoutlast. Hieruit volgende kennisvragen zijn: Hoe werkt dit alles door in de heterogeniteit van zoutconcentraties in sloten binnen de polder? Welke rol heeft waterinlaat hierin? Welke rol spelen verblijftijden in grond- en oppervlaktewater? Hoe verandert dit systeem in de toekomst, als ook de chlorideconcentraties in de ondergrond gaan veranderen?

McDonnell et al. (2007) stellen dat hydrologie als wetenschap door de enorme heterogeniteit en complexiteit moeite heeft verder te komen dan een steeds betere 'catalogisering' van geïsoleerde goed bemeten studiesites. Terwijl het streven moet zijn te komen tot onderliggende ordenende principes en procesbeschrijvingen. De oproep van McDonnell et al. geldt zeker ook voor het onderzoek in WP2.1, waarin de uitdaging ligt in het opschalen van opgedane veldkennis naar algemeen geldende principes. Zodat ook de effecten van klimaat en maatregelen kunnen worden onderzocht.

Ondermeer Hooper (2003), Uhlenbrook & Hoeg (2003), Stuyfzand (1989), Kalbus et al. (2006), Anderson (2005) en J. W. Kirchner (2006) laten zien dat er veel methoden beschikbaar zijn om grondwater - oppervlaktewater uitwisseling te onderzoeken, op verschillende schaalniveaus. Daarbij geeft het gelijktijdig gebruik van verschillende methoden meer inzicht in de werking van het systeem dan één enkele methode. In WP2.1 worden verschillende geochemische tracers gebruikt, waterisotopen, hydrometrie, temperatuur en geofysica om uitwisseling van grond- en oppervlaktewater te onderzoeken.

### *Resultaten tot nu toe*

Uit het onderzoek blijkt een grote heterogeniteit in chlorideconcentraties in de sloten. Per sloot verschilt de concentratie. Wanneer dit soort informatie over heterogeniteit in overleg tussen waterleverancier en gebruiker kan worden toegepast, kunnen verwachtingen over en weer veel helderder worden besproken. De oplossing is daarmee niet een concrete maatregel, maar veeleer het regionaal optimaliseren van het inlaatbeleid.

Optimalisatie van waterinlaat is een containerbegrip voor het beter sturen van inlaat (inclusief doorspoeling) en de verdere verdeling van inlaatwater binnen het watersysteem in de tijd en in de ruimte. Waarbij zowel het water als de gebruiker sturend kan zijn, afhankelijk van wat (kosten)efficiënter is. Zoetwaterbeschikbaarheid wordt integraal onderdeel van het peilbesluit. Ondernemers kunnen inspelen op regionaal gedifferentieerde verwachtingen/grenzen (op slootniveau!) die zijn gebaseerd op kennis over watervraag en waterbeschikbaarheid.



Figuur 23 Geleidbaarheid (maat voor chlorideconcentratie) op slootniveau. Rood = hoge geleidbaarheid, donderblauw = lage geleidbaarheid.

Concrete maatregelen zijn vervolgens bijvoorbeeld:

- Sturen van doorspoelwater binnen peilvakken om menging met brakke kwel zo lang mogelijk te vermijden
- Kritieke teelten situeren op percelen langs 'doorspoelsloten'
- Optimaliseren van grondwaterbeheer d.m.v. (peilgestuurde) drainage om brakke kwel te minimaliseren.
- Temporeel differentiëren in doorspoelen: voor een droogteperiode het hele watersysteem 'zoetspoelen', een zoete buffer opbouwen.

Voorafgaand aan maatregelen dient te worden beseft dat dit niet een probleem betreft waarbij een procentuele afname van chlorideconcentraties per definitie helpt. Immers: waterbeschikbaarheid is – zeker in west Nederland – in zekere zin een aan/uit probleem. Het is er wel en er is 'genoeg', of het is er niet en er is ook voor minder watervraag geen water beschikbaar. Recente resultaten uit het Deltaprogramma (zie 2.2.1) laten zien dat dit aan/uit principe voor aanvoer van oppervlaktewater vanuit Gouda wellicht genuanceerder ligt.

Er is nu nauwelijks zicht op welk water we waarom waar naartoe brengen. Laat staan dat dit is afgewogen tegen de werkelijke watervraag (in kuubs, maar ook in kwaliteit). Wanneer dit beter in beeld is gebracht, kunnen over en weer (waterleverancier en gebruiker) verwachtingen worden uitgewisseld en vastgelegd,

in hetzelfde soort gebiedsprocessen als die nu ten grondslag liggen aan peilbe-sluiten.

De maatregelen variëren tussen de strategieën 2 (water volgt beperkt), 3 (wa-ter volgt beperkt i.s.m. marktpartijen) en 5 (water stuurt gebruiker) uit het Del-taprogramma. Het is zoeken naar maatwerk op regionaal niveau, in samen-spraak tussen waterleverancier en gebruiker. De strategie kan dus afhankelijk van de situatie verschillen.

De maatregelen zorgen voor meer flexibiliteit bij de waterbeheerder zolang af-spraken die erover worden gemaakt aanpasbaar blijven in onderling overleg wanneer omstandigheden veranderen. De risico's op over- of onderinvestering zijn vanwege deze flexibiliteit gering. Het risico neemt af bij een vergroting en het slimme gebruik van de kennis over de werking van het systeem.

De belangrijkste te adresseren kennisvragen zijn:

- Hoe verloopt de grondwater – oppervlaktewater uitwisseling in droge zo-mers, bij het uitzakken van grondwater? Oftewel: wat is de watervraag en hoe gaat deze veranderen?
- Hoe werkt heterogeniteit in zoutlast door in de heterogeniteit van zout-concentraties in sloten binnen de polder? Welke rol heeft waterinlaat hier-in? Welke rol spelen verblijftijden in grond- en oppervlaktewater? Hoe ver-andert dit systeem in de toekomst, als ook de chlorideconcentraties in de ondergrond gaan veranderen?
- Welke behoefte is er wanneer, waar aan welk water? Hoe verandert dit? Wat voor water heeft landbouw nodig, en wanneer? En natuur? Maakt het voor infiltratie uit welk water je inlaat?

#### 4.3.2 WP2.2 Vergroten van de robuustheid en flexibiliteit van zoetwa-terlenzen in zoute kwelgebieden onder druk van klimaatverande-ring.

In werkpakket 2.2 wordt de flexibiliteit en robuustheid van regenwaterlenzen op drie verschillende schalen onderzocht. De schalen zijn hier aangeduid met 'ondiep', 'middelgroot' en 'groot'.

Op de schaal van de *ondiepe* regenwaterlens wordt getracht het lopende on-derzoek van Perry de Louw (VU/WUR), Sara Eeman (WUR) en Jouke Velstra (VU), wat zich vooral richt op processen die spelen op perceelsschaal, op te schalen naar regionale schaal. Het doel is om veranderingen in het regionale grondwatersysteem, d.w.z. de hoeveelheid en concentratie van zoute kwel, voor de komende 100 jaar te kwantificeren met behulp van een regionaal mo-del. Deze kwel is zeer belangrijk voor de vorming van ondiepe regenwaterlen-zen [de Louw et al. 2011, Eeman et al., 2011, Oude Essink et al, 2010]. Het regi-





onale model wordt tevens gebruikt om het effect van drainagemaatregelen (slootpeil, drainagesystemen) te onderzoeken. Bestaande drainagesystemen zijn bedoeld om de waterhuishouding op perceelsniveau te controleren, waarbij overtollig neerslagwater vaak zo snel mogelijk dient te worden afgevoerd. Vanuit het oogpunt van de ondiepe regenwaterlens is dit in sommige gevallen niet wenselijk, omdat hierbij ook zoet water wordt afgevoerd.

Een peilgestuurd drainagesysteem biedt de mogelijkheid de drainagebasis te variëren, en is daarmee een beloftevolle oplossing om ondiepe regenwaterlensen zo flexibel en robuust mogelijk te maken. Deze maatregel past binnen strategie 4 van het Deltaprogramma (water richtinggevend voor grondgebruik).

*Middelgrote* regenwaterlensen zijn aanwezig in kreekruigen. In de Zuidwestelijke Delta vormen de regenwaterlensen onder de kreekruigen een belangrijke zoetwaterbron. Dat komt vooral omdat grote delen van deze regio geen beschikking hebben tot zoet oppervlaktewater uit het hoofdwatersysteem. De optimalisatie van deze voorraden zoet grondwater is in eerste instantie gericht op het langer vasthouden van water in de kreekrug. Bestaande (sloot)drainage van de kreekrug dient daarbij zoveel mogelijk te worden voorkomen. De onverzadigde zone is in veel gevallen groot genoeg, zodat een verhoging van de grondwaterstand niet leidt tot natschade [IWACO, 2001]. Hierdoor is het ook mogelijk om overtollig neerslagwater in de winter te infiltreren in de kreekrug, zodat de middelgrote lens zich uit kan breiden. Dit is in feite een vorm van Aquifer Storage and Recovery (ASR; zie WP 4.1). In 2012 zal binnen het Kennis voor Klimaatprogramma Tranche 3 een infiltratieproef starten, waarin overtollig neerslagwater in de winter in een kreekrug zal worden geïnfilteerd.

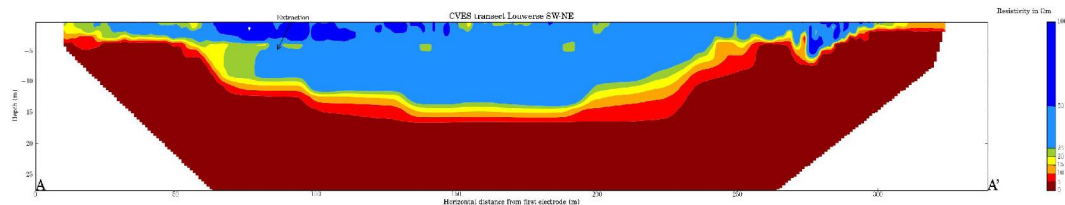


Figure 24 Resultaat van een weerstandsmeting, waarmee de verdeling van zoet (koude kleuren) en zout (warme kleuren) kan worden bepaald.

In de jaren 80 is m.b.v. een praktijkproef [Projectgroep Zoetwateronderzoek, 1986] te Kapelle getracht om overtollig neerslagwater in een kreekrug te infiltreren. Dit bleek technisch mogelijk, maar het systeem vergde veel onderhoud waardoor het economisch niet rendabel was. Binnen Kennis voor Klimaat derde tranche is een praktijkproef voorgesteld, waarbij een drainagesysteem wordt gebruikt om water in een kreekrug te infiltreren. Dit systeem vergt minder onderhoud dan het systeem in Kapelle, en heeft als bijkomend voordeel dat vernatting aan de flanken van de kreekrug kan worden voorkomen. Deze maatregel past bij strategieën 3 en 4 van het Deltaprogramma (respectievelijk water volgt beperkt i.s.m. marktpartijen; water richtinggevend voor grondgebruik).

De Nederlandse kustduinen bergen *grote* regenwaterlenzen. Het doel is om veranderingen van deze grote regenwaterlenzen voor de komende 100 jaar te kwantificeren. Zeespiegelstijging leidt tot een afname van deze lenzen wanneer de gepaarde stijging van de grondwaterstand wordt voorkomen door drainage nabij het oppervlak (kunstmatige infiltratiegebieden, duinrellen, etc.). Daarnaast hebben geplande kustsuppleties ook invloed op de grote regenwaterlenzen. De Deltacommissie heeft in 2008 geadviseerd bestaande kustsuppleties te intensiveren om kustuitbouw te realiseren.

Met het project 'De Zandmotor' is in 2011 gestart met de realisatie van dit advies. Deze strategie, hoewel niet toegespitst op zoetwatervoorziening, past binnen strategie 1 van het Deltaprogramma (water volgt grootschalig). Hoewel de Zandmotor is gestart met de aanleg van een grote hoeveelheid zand voor de kust, heeft het als primair doel een geleidelijke kustuitbouw te realiseren. Binnen werkpakket 2.2 wordt daarom vooral gekeken naar de hydrologische implicaties en gevolgen van de zoetwatervoorraad van deze geleidelijke kustuitbouw.



Figuur 25 : Tuinbouwbedrijf van dhr. Louwerse (Walcheren): onderzoeks- en pilotlocatie middelgrote regenwaterlenzen in kreekruigen.

#### 4.4 Adaptatie aan beperkte zoetwatervoorziening (WP3)

*Door hogere temperaturen vindt er meer verdamping plaats en blijven er meer zouten die opgelost zijn in irrigatiewater achter. Ook kan vanwege externe verzilting (zie 2.1) de zoutconcentratie in beregeningswater toenemen tot concentraties die nadelig zijn voor plantengroei of zelfs dodelijk. Ook kan de zeespiegelstijging ervoor zorgen dat het grondwater in gebieden die dicht bij de kust liggen verzilt (zie figuur 3 in 2.1). Planten krijgen problemen met de wateropname als het water te zout is. Water opname gaat via osmose als de hoeveelheid opgeloste stoffen in de plant hoger is dan buiten de plant om water op te*



kunnen nemen. Bij zoute omstandigheden wordt dit een probleem. Ten tweede zorgt het zout, wanneer het met het water opgenomen wordt, voor negatieve effecten op enzymwerking en membraanstabieleit in plantencellen. Tenslotte kunnen bij hoge concentraties opgelostzout in irrigatie water is deficiëntie ontstaan van belangrijke andere mineralen zoals Kalium.

Ook het grondgebruik in Nederlandse Kustregio's wordt in toenemende mate geconfronteerd met verzilting. Er is nog veel discussie over de zoetwaternormering. Ook bestaan verschillende ideeën over de waterkwaliteit die nodig is voor een bepaald gebruik. Deels komt dit omdat er nog te weinig bekend is over de zoutgevoeligheid van verschillende gebruiksfuncties. Ook op dit onderdeel is er behoefte aan een nadere precisering van de werkelijke urgentie en het handelingsperspectief. Werkpakket 3 gaat in op deze behoeften door te kijken naar de zoutgevoeligheid/tolerantie van functies (gewassen). Een belangrijk kennishiaat in de discussie.

#### 4.4.1 WP3.1 Ontwikkeling van klimaatbestendige Dutch Salt Tolerance Response Functions

Veel literatuur die ook in Nederland gebruikt wordt om effecten van verzilting op gewassen in te schatten, kent overwegend een niet specifieke experimentele kennisbasis gericht op de zouttolerantie in Nederland (U Shani et al., 2007). Vandaar dat dit werkpakket zich onder andere richt op de vertaling van vaak buitenlandse kennis naar de specifieke Nederlandse aspecten. Daarbij zijn er twee belangrijke aandachtspunten: hoe zijn buitenlandse experimentele resultaten beter toepasbaar te maken voor de Nederlandse omstandigheden en hoe kan de modelmatige aanpak zo verbeterd worden dat ook reacties van gewassen op snel wisselende zout-omstandigheden (in tegenstelling tot een chronische blootstelling) kunnen worden ingeschat. De gewassen waar het onderzoek zich op richt staan in onderstaande tabel.

Crop cluster	Soil solution		Irrigation water	
	Chloride concentration		Chloride concentration	
	threshold mg/l Cl	slope %/mg/l Cl	threshold mg/l Cl	slope %/mg/l Cl
Potato	750	0.016	200	0.061
Grass	3600	0.008	950	0.029
Sugar beet	4850	0.006	1300	0.021
Fodder maize	800	0.009	200	0.034
Grain crops	4850	0.006	1050	0.022
Fruit trees	650	0.026	150	0.099
Horticulture	400	0.189	100	0.709
Vegetables	900	0.016	250	0.059
Greenhouses	500	0.014	150	0.053
Flower bulbs	150	0.018	50	0.068

Table 3 Gewasgroepen waar aandacht wordt geschonken en huidige toleranties naar van Bakel et al. 2009

Recent gaven Vico & Porporato (2010) een modelmatige aanpak voor de irrigatie van gewassen waarbij onzekerheden en grilligheid zit in de klimatologische

omstandigheden een rol spelen. Ook voor de Nederlandse omstandigheden is dit relevant. Hun aanpak geeft voor WP3.1 een aanzet om de effecten van beregening in een stochastische benadering te kunnen beoordelen als vooral bodemverzouting van belang is.

Recent presenteerden Van Bakel et al. (2009) een overzicht plus een daarbij behorende analyse van zouttolerantie van Nederlandse landbouwgewassen, zoals aardappel, suikerbiet, gras, en tulpen, met behulp van een modeloefening. Daarbij geven zij informatie over de parameterkeuze in hun model en tekortkomingen. Het is een zeer bruikbare basis waarop WP3.1 kan voortbouwen. Dat geldt ook voor het rapport van Van Dam et al. (2007) waarin geïnventariseerd wordt wat de kennis is over zoutschade van landbouwgewassen, zowel direct als indirect. Met name van belang is de behandeling van zoutschade door beregening in verband met de schade die optreedt aan het blad dan wel het oogstbare product, en het gegeven dat vanzelfsprekend niet alleen de droge stofproductie maar ook de kwaliteit van het product van belang is.

Het werk van Shani et al. (2007) is van groot belang omdat zij een innovatieve benadering geven om de effecten van verzilting op plantaardige productie in rekening te brengen. Hoewel het werk aan de theoretische kant is, geeft het een veel natuurlijker wijze aan om verziltingseffecten te verdisconteren dan de empirische benadering die momenteel standaard is in Nederland (de benadering die is gebaseerd op het werk van Maas en Hoffman (1977)). De benadering van Shani et al. wordt in het onderzoek gebruikt als inspiratie bij het zoeken naar een betere aanpak dan tot dusver. Daarnaast wordt momenteel gewerkt aan hoe verziltingsproblemen in landbouwbedrijven geschat kunnen worden met het model van Shani et al. om op basis daarvan betere beslissingen te kunnen nemen ten aanzien van waterallocatie.

Van Bakel en Stuyt (2011) hebben een actualisatie uitgevoerd van kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen in de open volle grond op basis van literatuur, expertkennis en praktische ervaring. Zij geven onder andere aan dat gebruik van de huidige normen in de niet-worst-case gevallen leidt tot een overvraging van het water c.q. een overschatting van de zoutschade. Het pleidooi is daarom om de normen te beschouwen als advieswaarden om zoutschade tot een aanvaardbaar minimum te beperken en ze vooral niet te gebruiken om te stoppen met beregenen of infiltreren als de chlorideconcentratie boven deze advieswaarden komt.

### *Resultaten tot nu toe*

Mede in het kader van kennis voor klimaat is het werk van Vico en Porporato (2010), dat zich puur op waterbeschikbaarheid richtte, verder uitgebouwd richting zoutaccumulatie. De eerste resultaten werden gerapporteerd door Suweis et al. (2010), het eerste artikel over een onderzoek waarin verzilting van de wortelzone onderzocht wordt in een vergelijkbaar stochastisch raamwerk als Vico en Porporato (2010). Dit artikel is methodologisch van belang vanwege de gebruikte benadering om robuuste voorspellingen te kunnen doen, maar boven-



dien wordt een niche in de waarschijnlijkheidsleer uitgewerkt die voorheen nauwelijks aandacht heeft gekregen. De situaties die bekeken zijn, zijn bovendien precies in overeenstemming met de belangrijkste situaties voor Nederland, namelijk die van beregening met brak water.

De momenteel in Nederland gebruikte benadering die is gebaseerd op het werk van Maas en Hoffman blijkt meerdere problemen met zich mee te brengen, zoals de veronderstelling van chronische in plaats van tijdelijke blootstelling aan. Uit het onderzoek van Suweis et al. blijkt het mogelijk te zijn om verziltingsrisico's voor gewasgroei te bepalen, waarbij de grilligheid van het klimaat wel wordt meegenomen. Tot dusver is dat werk nog aan de theoretische kant, omdat seizoensvariatie van neerslag en verdamping nog met onvoldoende detail in aanmerking kan worden genomen. Wat er nu wel ligt is een kader waarmee bekende bodemfysische eigenschappen van bodems kunnen worden afgeleid, gerelateerd kunnen worden aan gewaseigenschappen (droogte- en zoutgevoeligheid, verdampingsbehoefte) en geohydrologische situatie zoals diepte van het grondwater, om opbrengsten te kunnen berekenen. Een nadere uitwerking hiervan, die minder beperkt is qua scenario's als Suweis et al. (2010) wordt gegeven door Shah et al. (2011).

Er is een groot gebrek aan inzicht in compensatiemechanismen van het gewas voor wat betreft lokaal geringe beschikbaarheid van goede kwaliteit bodemwater, waardoor de huidige modellering van effecten van zout behoorlijk lastig wordt. Op dit moment wordt bestudeerd welke verschillende benaderingen er eigenlijk zijn voor wat betreft het combineren van droogte- en zoutschade voor gewassen, en het analyseren van gewasgroei met verschillende modellen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van zowel experimentele als modelmatig kennis over hoe zout-tolerante gewassen (zie WP3.2) anders omgaan met een zout milieu als zout-gevoelige gewassen. De eerste, modelmatige, resultaten laten zien dat er veel, dat tot dusver als bekend aangenomen werd, wellicht discussabel is. De resultaten hiervan worden gepresenteerd op een workshop in Amsterdam (april 2012).

Ten aanzien van oplossingen voor landbouw en zout gaat het vooral om de keuzes voor (1) irrigatie/beregening en (2) de noodzaak tot doorspoelen van het slotensysteem om de zoutconcentraties te beperken. In beide keuzes maakt het waarschijnlijk veel uit wat de als kritisch ervaren zoutconcentraties, ofwel de tolerantie van gewassen voor zout, zal blijken te zijn. Scherper gestelde normen, vooral als die minder restrictief blijken te zijn, kunnen flinke hoeveelheden spoelwater schelen, evenals reducties van schadeloosstelling betekenen.

Deze oplossingen variëren tussen de strategieën 2 (water volgt beperkt), 3 (water volgt beperkt i.s.m. marktpartijen) en 5 (water stuurt gebruiker) uit het Deltaprogramma. Het is zoeken naar maatwerk op regionaal niveau, in samenspraak tussen waterleverancier en gebruiker. De strategie kan dus afhankelijk van de situatie verschillen.

Door onzekerheid in en grilligheid van het klimaat is een stochastische benadering van effectbeoordelingen en risico's vereist. Parameteronzekerheid leidt tot antwoorden met bandbreedtes. En onzekerheid over of modellering/risico evaluaties wel correct worden gedaan, betekent mogelijk dat beleid gebaseerd wordt op ongeschikte gegevens.

Berekening en doorspoeling zijn flexibel inzetbare maatregelen. De mogelijkheden voor de mate van berekening en doorspoeling (de zoetwaterbeschikbaarheid) zijn klimaatafhankelijk.

De risico's op over- of onderinvestering zijn beperkt. Beter inzicht betaalt zich waarschijnlijk terug in geringere spoelvolumes of verliescompensatie, leidt mogelijk tot een betere basis om regionale verschillen in rekening te brengen en leidt zeer waarschijnlijk tot verhoogde acceptatie bij stakeholders.

De belangrijkste kennishiaat is de parameterisatie van zouttoleranties voor uiteenlopende gewassen/producten, verschillende cultivars/rassen, tijdelijke in plaats van chronische blootstelling aan zout, en de experimentele basis van zoutschade door berekening, direct op het product of blad.

#### 4.4.2 WP3.2 Adaptatie aan droge en brakke condities door gebruik van brak water en besparing van zoet water

In dit werkpakket wordt een andere manier onderzocht om met een dreigende verzilting van landbouwgrond om te gaan: namelijk het accepteren hiervan en het aanpassen hieraan. Een duurzame oplossing zou zijn om in de landbouw gebruik te gaan maken van brak of zout water. Op die manier kun je ook gebieden die nu al onbruikbaar zijn door verzilting weer in gebruik nemen. Maar, dan hebben we wel plantgewassen nodig die tegen brak en zout water kunnen.

Zoals hierboven al gesteld kunnen de meeste reguliere landbouwgewassen niet (goed) tegen zout water. Genetische modificatie van deze gewassen zou ervoor kunnen zorgen dat ze wel beter tegen zout kunnen, maar dan moeten we wel weten welke eigenschappen we moeten veranderen. Zouttolerantie staat bekend als een ingewikkeld samenspel van verschillende fysiologische processen, waarvan niet alle aspecten bekend zijn. Wat het zouttoleranter maken van gewassen een moeilijke opgave maakt. Er zijn ook planten die van nature zouttolerant zijn, halophyten. Dit zijn over het algemeen planten die van nature voorkomen in zoute milieus. Sommige van deze planten zijn eetbaar en/of hebben waardevolle eigenschappen die ze de potentie geeft om uit te kunnen groeien tot volwaardige landbouwgewassen. Ook kunnen we met het bestuderen van de eigenschappen van deze planten aanknopingspunten vinden om uiteindelijk reguleren zoutgevoelige gewassen zouttoleranter te maken. Een plantensoort die niet alleen over een hoge mate van zouttolerantie beschikt, maar zelfs beter groeit onder zouten omstandigheden en daarbij ook nog eens de potentie heeft om zelf uit te groeien tot een waardevol gewas is zeekraal. Daarvan ko-



men in Nederland langst de kust verschillende soorten voor die we aanduiden met *Salicornia* spp.

Andere interessante gewassen die al in enige mate over zouttolerantie beschikken en hoge marktwaarden (kunnen) hebben zijn onder anderen quinoa, strandbiet en gerst. In het onderzoek van WP3.2 wordt gezocht naar de mechanismes van zouttolerantie met als belangrijkste proefgewas zeekraal. Dit omdat zeekraal niet alleen over een hoge mate van zouttolerantie beschikt, maar ook nog eens zout gestimuleerde groei vertoont. Zout gestimuleerde groei betekend dat deze planten beter gaan groeien wanneer er zout zit in hun wortel milieu. Voor bepaalde zeekraal soorten ligt het groei optimum zelfs bij 300 mM NaCl in het wortel milieu, dit is 60% van de zout concentratie van zee-water. Als je daarbij bedenkt dat het zout niet nodig is voor enzymwerking of een ander proces in deze planten, is dit een heel interessant gegeven. Als we deze processen kunnen ontrafelen, dan zal selectie en cultivatie van zouttolerantie ook in andere (nu nog) minder tolerante gewassen een grote sprong voorwaarts kunnen maken.

#### *Resultaten tot nu toe*

De oplossing om planten te gaan irrigeren met brak of zout water is een adaptatie aan het probleem van klimaatverandering. Klimaatverandering geeft extra druk aan het probleem van verzilting waarmee we in ieder geval al te kampen hebben. De oplossing past goed bij de strategieën 4 (water richtinggevend voor grondgebruik) en 5 (water stuurt de gebruiker) uit het Deltaprogramma.

De fysiologische processen achter zouttolerantie van planten zijn, zoals hierboven besproken, niet volledig bekend. Dit is cruciaal met het oog op tolerantie aanpassingen in bestaande landbouwgewassen. Ook speelt deze kennis een rol bij de best mogelijke teelt van deze gewassen op zichzelf. Om zouttolerante planten in te zetten in landbouw moeten we weten wat hun zouttoleranties zijn en wat de beste teelt methoden voor een zo hoog mogelijk opbrengst zijn. Verder is het voor planten die als voedselgewas moeten dienen van belang dat we weten welke stoffen er in voorkomen.

Van een aantal landbouw gewassen: quinoa, strandbiet, gerst en verschillende soorten vlinderbloemige is vorig jaar op Texel in een buiten situatie gekeken naar hun zouttolerantie. Dit onderzoek was opgezet door B. Bruning. Een verslag hiervan is te vinden op KvK website. (Gewasteelt; zie het VU rapport op de KvK website "Resultaten gewasteelt onder verschillende zoutbehandelingen op proefveld de Petten", Texel, Bruning B., Katschnig, D., De Vos A.C., VanRijsselberghe, M., Broekman, R.A., & Rozema, J.

In 2011 is er ook in binnen en buiten proeven gekeken naar de groei van zeekraal (*Salicornia dolichostachya*). Het idee achter deze proeven was om uitspraken te kunnen doen over de zouttolerantie van *S. dolichostachya* en de morfologische (denk aan succulentie) en fysiologische parameters (denk aan onder andere: osmotische potentiaal, koolstof isotoop ratio, natrium, kalium

en chloride gehalten in verschillende weefsel typen) achter de zout response curve te achterhalen. Samen met een uitgebreid literatuur overzicht is deze kennis te vinden in het artikel van Katschnig et al.

Van de hierboven genoemde zeekraal proef is een gedeelte van het materiaal gebruikt door de Zilte Kennis Kring<sup>3</sup> om smaakproeven uit te voeren om tot een standaardisering te komen van smaak en structuur eigenschappen van zeekraal. Ook wordt geprobeerd binnen dit consortium te achterhalen welke stoffen er voorkomen in zeekraal om het tot een volwaardig zilte landbouw product te kunnen laten uitgroeien.

In nieuwe proeven gaat gekeken worden naar zeekraal en een aantal soorten van dezelfde familie (onder meer de gewassen: spinazie, biet en quinoa) en zullen mechanismes achter de zouttolerantie achterhaald worden door naar gen expressie te kijken.



*Zeekraal irrigatie met verschillende concentraties Wadden zeewater in de zomer van 2011 op Texel (Foto: Diana Katschnig).*

---

<sup>3</sup> De Zilte Kennis Kring legt zich toe op het versterken van de (markt)positie van zilte teelten.





#### 4.4.3 WP3.3 Voorspellen van effecten van veranderende saliniteit op natuurlijke systemen aan de landzijde van de Nederlandse kustvlakte

In de huidige situatie wordt het oppervlaktewater in de meeste natte natuurgebieden in Laag-Nederland zoet gehouden door aanvoer van water. Kwetsbare natuur staat hoog in de verdringingsreeks, met als criterium dat er geen onomkeerbare schade mag ontstaan. Tegelijkertijd wordt er discussie gevoerd over de vraag of huidige statische natuurdoelen niet moeten worden gewijzigd als het klimaat verandert: bijvoorbeeld van een zoetwater natuurdoel naar een brakwater natuurdoel. Dit is niet altijd mogelijk, aangezien de aanwezigheid van brakwater in veel gebieden van tijdelijke aard is, namelijk tijdens droge periodes. De rest van het jaar kent Nederland een neerslagoverschot en is het water in deze gebieden zoet. Hieruit rijst de vraag wat incidentele zoutpieken in het oppervlaktewater betekenen voor zoete natuurdoeltypen. In het onderzoek van werkpakket 3.3 worden daartoe laagveengebieden bestudeerd: in het algemeen, qua hydrologie en bodemeigenschappen van deze gebieden en meer specifiek qua plant - zout interactie.

Het laagveenlandschap is een cultuur- en natuurlandschap dat uniek is in Europa. De natuur kenmerkt zich door verlandingsgemeenschappen in petgaten, waar men vroeger het veen heeft afgegraven voor turf. Grote planten, zoals riet, vormen drijvende wortelmatten, kraggen genoemd, waarin veen ontstaat uit het organische materiaal. Op deze matten komen verschillende plantengemeenschappen voor, die bekend staan om hun biodiversiteit.

Door het drijvende karakter staat de bodem in nauw contact met het oppervlaktewater. Van Wirdum (1991) en Koerselman (1989) beschrijven de vegetatie en hydrologie van kraggen (floatingfens). Belangrijke informatie hieruit is dat deze vegetatie (ook wel trilveen genoemd) afhankelijk is van de aanvoer van (basenrijk) oppervlakte- of grondwater. De kwaliteit van het oppervlaktewater, inclusief chlorideconcentratie, kan daardoor van relatief grote invloed zijn op de kwaliteit van het water in de wortelzone van de planten.

Van de meeste wilde planten is niet precies bekend welk effect een verandering in zoutgehalte zou kunnen veroorzaken. Wat men wel weet is dat sommige soorten niet worden gevonden in gebieden waar het water een verhoogd chloridegehalte heeft (zie bijvoorbeeld (Runhaar 2006), SynBioSys(Hennekens et al. 2010)). Vanuit deze kennis, en studies waarin bijvoorbeeld gebruik wordt gemaakt van een 'kwalitatief expertoordeel' (Paulissen et al. 2011) wordt verwacht dat een verhoogde chlorideconcentratie in het oppervlaktewater een risico kan vormen voor natuur op kraggen.

Goodman et al. (2010) gaan in op de problematiek in Australië met lozingen van zout water op rivieren en in wetlands. Het gaat daarbij om andere zoutconcentraties en andere vegetatiesoorten dan in Nederland. Goodman et al. richten zich vooral op aquatische natuur. WP3.3 richt zich meer op (semi) terrestri-

sche natuur. Goodman et al. zien onder andere dat tijdelijke zoutpieken minder ernstige gevolgen hebben voor waterplanten dan permanente zoutconcentraties, omdat de vegetatie zich daarna vaak kan herstellen. Er zijn wel onzekerheden, bijvoorbeeld over de timing (gevolgen voor voortplanting) en wat de gevolgen op langere termijn zijn.

Vaak gebruikt met betrekking tot natuurlijke vegetatie en abiotiek, zijn de Ellenberg indicatiewaarden. Voor Nederland zijn deze te raadplegen in de database SynBioSys (Hennekens, Smits et al. 2010).



*Laagveenlandschap. Kleine afbeeldingen: een oever met riet, een EGV meter (elektrisch geleidingsvermogen kan als indicatie voor zoutgehalte dienen) en een welriekende nachtorchis, een beschermde plant.*

#### *Resultaten tot nu toe*

In Nederland worden strenge grenswaarden (vanaf 200 mg Cl-/l) voor het inlaatwater in binnendijkse natuurgebieden gehanteerd. Voor terrestrische natuur is echter uit literatuur nog onvoldoende duidelijk welk risico boven deze concentraties zou kunnen optreden. De gevolgen van inlaat van water met een hogere concentratie zijn daarom momenteel niet goed in te schatten.

Naast de risico's van een verhoogde zoutconcentratie spelen er bovendien ook andere risico's met betrekking tot het al dan niet inlaten van oppervlaktewater. Dit gaat dan meer over verdroging, eutrofiering en blootstelling aan andere eventuele schadelijke stoffen.



In dit onderzoek wordt niet zozeer gewerkt aan een tastbare oplossing voor natuur en zout. Het gaat om het verkrijgen van kennis waarmee gevolgen van eventuele gebeurtenissen (inlaat van water met een verhoogde zoutconcentratie in zoete gebieden) beter ingeschat zouden kunnen worden en biedt daarmee perspectief op een uitgekiender waterbeheer.

De vragen in het werkpakket richten zich vooral op de hydrologie van kraggen (bijvoorbeeld hoe brakker oppervlaktewater de wortelzone kan bereiken, wat zijn daarbij sturende processen) en wat dat zou kunnen betekenen voor de vegetatie op kraggen. Het onderzoek werkt toe naar een beter inzicht in de mogelijke gevolgen van variabele verzilting voor de unieke Nederlandse Laagveengebieden.

#### 4.5 Aansluitend KvK onderzoek

De in dit hoofdstuk behandelde onderzoeken uit CPFWS hebben inhoudelijk vooral raakvlakken met thema 3. Thema 3 (CARE) behandelt 3 adaptatiemogelijkheden. De eerste is de groen-blauwe dooradering. De tweede is ecosysteemdiensten in de bodem en de laatste de EHS verbindingen. Zo wordt er in thema 3 door Flip Witte complementair ecohydrologisch onderzoek gedaan naar andere aspecten dan verzilting.

Veel van het hiervoor beschreven AIO onderzoek krijgt een verdere toepassing in het 3<sup>e</sup> tranche project HSZD3.2 '*Valorisation promising measures for local freshwater supply in the Southwestern Delta*'





## 5 Regionale zelfvoorziening en Cases

### 5.1 Inleiding

Centraal in het onderzoek van CPFWS staan de casestudies. Dit zijn de proeftuinen waarin het AIO onderzoek plaatsvindt en hier wordt de verbinding gelegd tussen de verschillende werkpakketten en tussen onderzoek en stakeholder. Hier vindt een belangrijk deel van de synthese plaats.

Casestudies en het bottom-up zoeken naar oplossingen voor adaptatie staan ook centraal in de aanpak van Kennis voor Klimaat waarin een grootdeel van de sturing plaatsvindt vanuit vragen van de zogenaamde Hotspots. De onderzoeksvragen van CPFWS zijn ook voor een belangrijk deel op deze wijze tot stand gekomen. De hotspots Zuidwestelijke Delta, Rotterdam regio en Haaglanden zijn daarom de regio's waarin het case-studie onderzoek plaatsvindt.

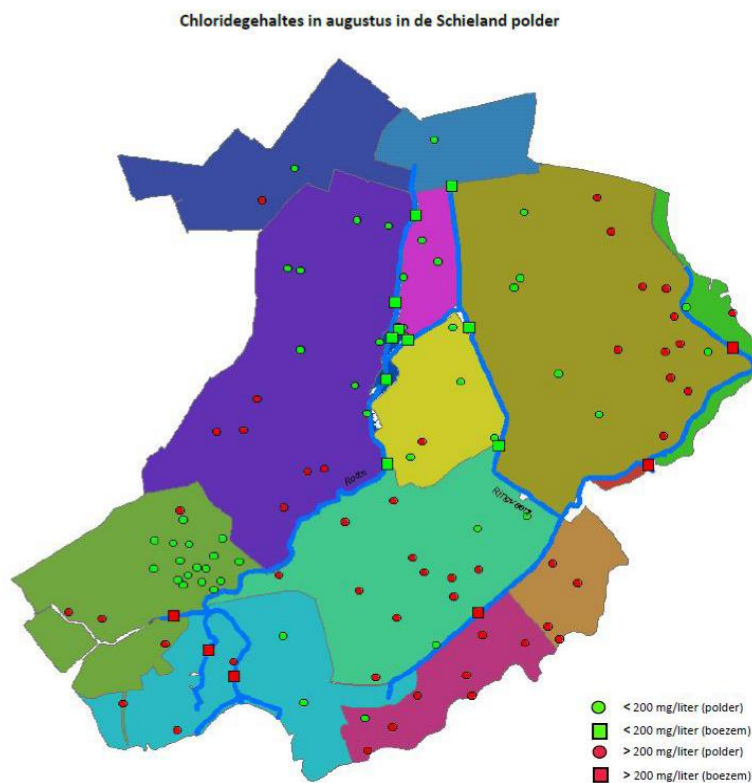
In de volgende paragrafen worden de resultaten uit de case-studies nader toegelicht. Net als in het vorige hoofdstuk wordt daarbij aangegeven binnen welk type strategie de oplossingen passen.

### 5.2 Casestudie Groene Ruggengraat (WP6.1)

*De Groene Ruggengraat is de blauw-groene verbindingszone tussen de Zuidwestelijke Delta en het IJsselmeergebied. In en rondom deze zone bevindt zich een mix van landbouw en natuurgebieden. Meebewegen of weerstand bieden aan een toenemende interne of externe verzilting, hoe kunnen we het grondoppervlaktewatersysteem zo beïnvloeden dat het zoetwateraanbod op peil blijft of hoe kunnen de aanwezige functies zich aanpassen zijn de belangrijkste vragen voor deze casestudies, die in een aantal deelcasussen wordt uitgewerkt.*

#### 5.2.1 Deelcasus: Rotte en Rottemeren: meebewegen met verzilting?

Voor het waterschap Schieland en de Krimpenerwaard zijn de mogelijke effecten van verhoogde chlorideconcentraties op de ecologie en ecologische doelen van de Rotte en Rottemeren in beeld gebracht. Centrale vraagstelling is of de huidige strakke sturing op lage chloride haltes niet wat losser kan worden gelaten gezien de werkelijke toleranties van natuur en de mogelijk toenemende zoutbelasting als gevolg van klimaatverandering.



Figuur 26 Meetpunten en chloridegehalten in het Rotte en Rotte meren systeem.

Daarom is ook gekeken naar de effecten van verschillende inlaatregimes (innamestop bij 200 mg/l of 600 mg/l Chloride). De zouttoleranties voor de belangrijkste doelsoorten zijn uit internationale literatuur gehaald. Om de effecten van klimaatverandering in te schatten is voor het gebied een waterkwaliteitsmodel gebruikt dat is gevoed met de uitkomsten voor chloride op de inname punten zoals afgeleid in hoofdstuk 2. Als voorbeeldjaar is 2003 genomen (een jaar dat ongeveer 1/10 jaar voorkomt). De belangrijkste uitkomst van het onderzoek is dat het effect van frequentere overschrijding tot 600 mg/l van chloride normering door inlaatsstops à la augustus 2003 in Schieland voor KRW doelen vermoedelijk klein is als het gaat om waterplanten & vissen. Meer (natuurlijke) dynamiek in chloride gehalten (hoger in zomer dan winter), dus verminderde inlaat van gebiedsvreemd water kan ook positieve effecten hebben voor ecologie. Dit opent dus perspectief voor een lossere sturing op chloride gehalten. Aan de andere kant bestaan er ook nog de nodige kennislücken: andere organismen (zoals macroinvertebraten) moeten nog nader worden onderzocht. Ook andere factoren hebben invloed op het ecologisch functioneren. Zo is voor het waterplantje Krabbescheer niet alleen het Chloride van belang maar ook de andere aanwezige ionen. Ook zal door klimaatverandering de temperatuur veranderen met eveneens effecten op ecologische



### 5.2.2 Deelcasus Rijnland

De landbouw in het beheersgebied van het hoogheemraadschap van Rijnland is gevoelig voor droogte. Als er te weinig water beschikbaar is om te verdampen, dan wordt de gewasgroei geremd. Deze vorm van opbrengstderving wordt gezien als economische schade voor de agrariër en de landbouwsector. Voor het afwegen van maatregelen die wateraanbod vergroten of watervraag reduceren, met als doel de economische schade als gevolg van droogte te beperken, is inzicht nodig in de gevolgen van droogte.

Tot nu toe is vooral gewerkt met karakteristieke droogtejaren (zoals 1976 en 2003) om te berekenen wat het effect zou zijn van een droogte op landbouwopbrengsten. Dit geeft echter een zeer beperkt beeld van wat er zou kunnen gebeuren. Het is zeer onzeker wanneer een droogte optreedt en hoe lang deze aanhoudt. Tegelijkertijd is landbouwschade door droogte afhankelijk van vele factoren, zoals de timing van de droogte ten opzichte van de gewasgroeiperiode, hoeveel water nog in de bodem zit opgeslagen, hoeveel extra water ingelaten kan worden, en of er beregend kan worden. In plaats van te proberen te voorspellen welke droogtes met welke frequentie in de toekomst gaan voorkomen, kan het systeem ook zodanig worden ingericht dat het minder gevoelig wordt voor een droogte. Een robuust systeem betekent hier dat de schade aan de landbouw bij een verscheidenheid aan droogtes beperkt blijft, dat de schade geleidelijk oploopt bij grotere droogtes, en dat de landbouwsector zich weer snel kan herstellen na een droogte. Eerste resultaten binnen wp5 tonen een robuustheidsanalyse van Rijnland. Hierbij is gebruik gemaakt van resultaten van NHI voor 30 jaar in combinatie met Agricom. De droogtejaren zijn gesorteerd naar lengte, seizoen en ernst.

Een van de onderzoeksgebieden binnen wp1b is de zuidoosthoek van de Haarlemmermeerpolder in Rijnland. Een diepe polder, waar de kwaliteit van het oppervlaktewater te lijden heeft onder kwel van brak grondwater. Doel van dit onderzoek is een beter begrip van de stroming van water en zout tijdens de droogste periode van het jaar. Met dat begrip kunnen uiteindelijk slimmere manieren gevonden worden om voldoende zoet water voor iedereen beschikbaar te hebben, en te houden. Voor dit studiegebied is het droge voorjaar van 2011 al onderzocht. Het zoutgehalte van sloten bleek ruimtelijk en in de tijd sterk te verschillen, en de verspreiding van inlaatwater bleek zich te beperken tot hoofdsloten.

In Stuyt et al (2012) wordt de kansrijkheid van anders omgaan met zout (verziltingsmanagement) geanalyseerd. Voor het Hoogheemraadschap van Rijnland is een rekeninstrument ontwikkeld waarmee snel en overzichtelijk kan worden gekwantificeerd hoe water- en chloridebalansen reageren op wijzigingen in het beheer van het watersysteem. De aan te voeren  $m^3$  oppervlaktewater en chloridegehalten zijn geassocieerd met schades aan de functies landbouw en natuur. Een generieke conclusie van de analyse is dat de plaats van een gebied in de wateraanvoerketen in hoge mate bepaalt hoe de water- en chloridebalans van dit deelgebied reageert op veranderingen bij het waterinlaatpunt.

In een vervolgfase zullen deze werkpakketten verder gaan samenwerken: de nieuwe inzichten uit wp1b over oppervlaktewaterverziltting en het effect van maatregelen zullen gekoppeld gaan worden aan een nog te ontwikkelen waterbalansmodel binnen wp5. Hiermee kan wellicht weer een verbeterlag gemaakt worden voor het bepalen van het effect van maatregelen.



Figuur 27: monitoringscampagne grond- en oppervlaktewaterinteractie Rijnland.

### 5.3 Waterberging en -technologie als gereedschap voor regionale zelfvoorzienendheid voor de glastuinbouw (WP4, WP6.2)

*Watertechnologie kan een belangrijk rol vervullen bij het vergroten van de zelfvoorzienendheid in de watervoorziening van een gebied en/of sector. In Nederland is meestal wel voldoende water maar dit water niet van de juiste kwaliteit is. Vooral de glastuinbouw stelt hoge eisen aan de waterkwaliteit. Goed gietwater bevat praktisch geen natrium ( $<0.1$  mmol/l), terwijl de meeste waterbronnen met uitzondering van regenwater, hogere concentraties bezitten. Dit betekent dat dit water voor toepassing eerst geschikt gemaakt moet worden. Daarnaast kan technologie worden ingezet om bijvoorbeeld water actief te bergen in de ondergrond, waarna het weer onttrokken kan worden aan het systeem. De stand van zaken is dat er op kleine schaal veel technieken zijn ontwikkeld, maar deze nog niet in de praktijk gevalideerd zijn en toegepast worden. Voorbeeld: de glastuinbouwsector (tuinders) ziet wel mogelijkheden voor ondergrondse berging van zoet water, maar vindt het nog te risicovol om hierin te investeren.*





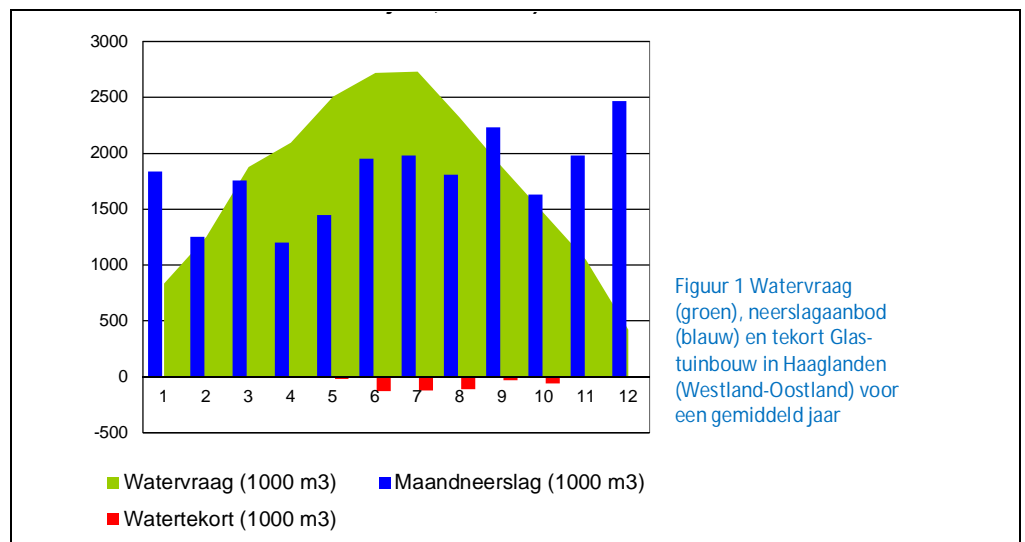
### 5.3.1 WP4.2 Waternotechnologie voor een zelfstandige regionale watervoorziening

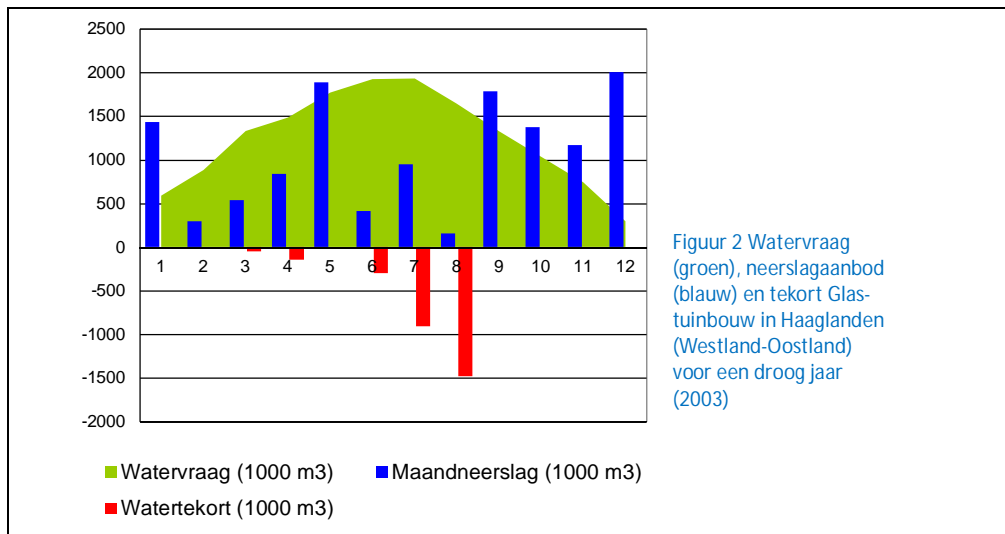
In dit werkpakket wordt bestudeerd wat de watervraag in de glastuinbouw is in de regio Haaglanden. Vervolgens wordt bestudeerd hoe de waterzelfvoorzienendheid van de sector vergroot kan worden. Dit door optimaal gebruik te maken van de gebiedseigen waterbronnen.

#### *Resultaten tot nu toe*

Voor de regio Haaglanden zijn berekeningen gemaakt voor de watervraag in drie situaties: een normaal jaar (gemiddelde over 40 jaar), een droog jaar (2003) en een extreem droog jaar (1976). Uit de resultaten komt naar voren dat in een droog en extreem droog jaar de glastuinbouw een tekort heeft aan kwalitatief goed gietwater als uitgegaan wordt van de huidige gebruikte bronnen. In deze periodes, die door klimaatveranderingen in aantal en lengte kunnen toenemen (zie hoofdstuk 2), is de sector aangewezen op alternatieve watervoorziening.

Deze uitkomsten zijn gebruikt om een kwantitatief model te maken dat de watervraag per maand beschrijft van het gehele glastuinbouwbedrijvenpark in de hotspot Haaglanden. Het model is, samen met het onderzoek naar het wateraanbod, de basis van de nog te maken matching van watervraag en -aanbod.





Figuur 2 Watervraag (groen), neerslaanbod (blauw) en tekort Glastuinbouw in Haaglanden (Westland-Oostland) voor een droog jaar (2003)

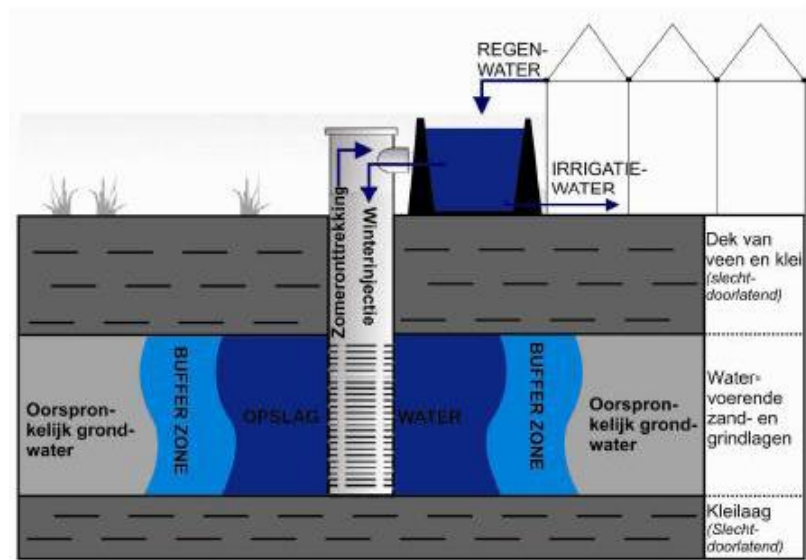
Figuur 3: links neerslagpatroon extreem droog jaar (blauw), watervraag glastuinbouw Haaglanden (groen), watertekort (rood), rechts idem in een jaar met een gemiddeld neerslagpatroon (Paalman et al., 2012)

Op basis van de klimaatscenario's kunnen periodes van watertekort in de zomer in de toekomst toenemen. Bezien wordt welke alternatieve watervoorzieningen er zijn voor gietwater. Als basiswatervoorziening gebruikt de tuinder hemelwater. Dit water wordt in bovengrondse bassins opgevangen, waarna het gebruikt wordt in de kas. Bij een tekort situatie, vooral in de zomer (zie Figuur 3) is de tuinder op alternatieve watervoorziening aangewezen.

In de studie naar het wateraanbod worden alle alternatieve bronnen van zoetwatervoorziening beschouwd, zoals het grondwater, oppervlaktewater dat wordt aangevoerd vanuit het hoofdwatersysteem (zie hoofdstuk 2) en hergebruik van RWZI water. Ook wordt gezien of het hemelwater (primaire bron) beter benut kan worden bijvoorbeeld door dit ondergronds op te slaan in periodes van overschot (zie WP4.1). Een andere mogelijkheid is om de watervraag te reduceren door het water langer in de kas te benutten en water hergebruik.

### 5.3.2 WP4.1 Ondergrondse waterberging voor een zelfstandige regionale watervoorziening

Dit werkpakket onderzoekt de potentie van berging en gekoppelde terugwinning van kwalitatief goed water middels ondergrondse putten (Aquifer Storage and Recovery: ASR). Als studiegebied geldt de regio Haaglanden met de kassen in het West- en Oostland.



Figuur 28 Werking ASR

ASR is gecompliceerd, in het bijzonder wanneer het injectie in brakke aquifers betreft (zoals in grote delen van Laag-Nederland) en injectiewater eutroof, regenwater of zelfs gedemineraliseerd is. Toepassing van ASR kent dan ook vele hydrochemische uitdagingen. Allereerst dient het injectiewater van een juiste kwaliteit te zijn, of dient er selectieve inname en zuivering plaats te vinden. Daarnaast kunnen ook chemische reacties in het te benutten aquifer leiden tot Fe, Mn, NH<sub>4</sub> en As concentraties boven drinkwaternormen. Een tweede probleem is het verlies van injectiewater door dichtheidsverschillen van het water in de brakke aquifer of door grondwaterstroming (natuurlijk, dan wel door nabije grondwateronttrekkingen). Als laatste kan de doorlatendheid van de aquifer afnemen door accumulatie van verontreinigingen, kleimobilisatie of uitspoeling.

De eerste focus van het onderzoek betreft het injectiewater en de benodigde voorzuivering van het water. Zelfs wanneer hemelwater wordt opgevangen als infiltratiewater zal voorzuivering nodig zijn ter voorkoming van putverstopping. Ervaringen uit de drinkwaterwereld tonen aan dat langzame zandfiltratie zeer positief kan werken, deze techniek zal dan ook worden bestudeerd (zie ook Pyne, 2005).

De tweede focus van het onderzoek betreft de Chemische reacties in de doelaquifer en de afhankelijk hiervan van de samenstelling van het zandpakket (geochemie, reactiviteit) en het type infiltratiewater. Hoewel van de geologische Formatie waarin injectie plaatsvindt in de KvK hotspot Haaglanden (Kreftenheijer Formatie) bekend is dat de reactiviteit doorgaans beperkt is, kunnen chemische reacties in specifieke (klei)lagen toch de kwaliteit van het terugwinwater beïnvloeden. Doel is om deze lagen in beeld te brengen en hun effect op het te bergen water te kwantificeren. Hierbij zal ook kationuitwisseling worden beschouwd, welke in met name de eerste jaren kan zorgen voor hogere concen-

traties natrium (belangrijke kwaliteitparameter gietwater) in het teruggewonnen water ( Pyne, 2005, Jones en Pichler, 2007, Pavelic et al. 2006).

Naar het verlies door opdrijving en afdrijving van zoet grondwater en daarmee het rendement van ondergrondse opslag is de laatste jaren al veel onderzoek gedaan (Ward et al., 2009, Bakker, 2010). Hierbij zijn inzichten verkregen met betrekking tot terugwinrendement van zoetwater (Recovery Efficiency) in relatie tot geologische setting, hydrologie (zoutgehalte, stroming) en operationele parameters (schaalgrootte opslagsysteem, duur injectie/opslag/terugwinperiode). Binnen Kennis voor Klimaat wordt dit onderzoek uitgebreid naar:

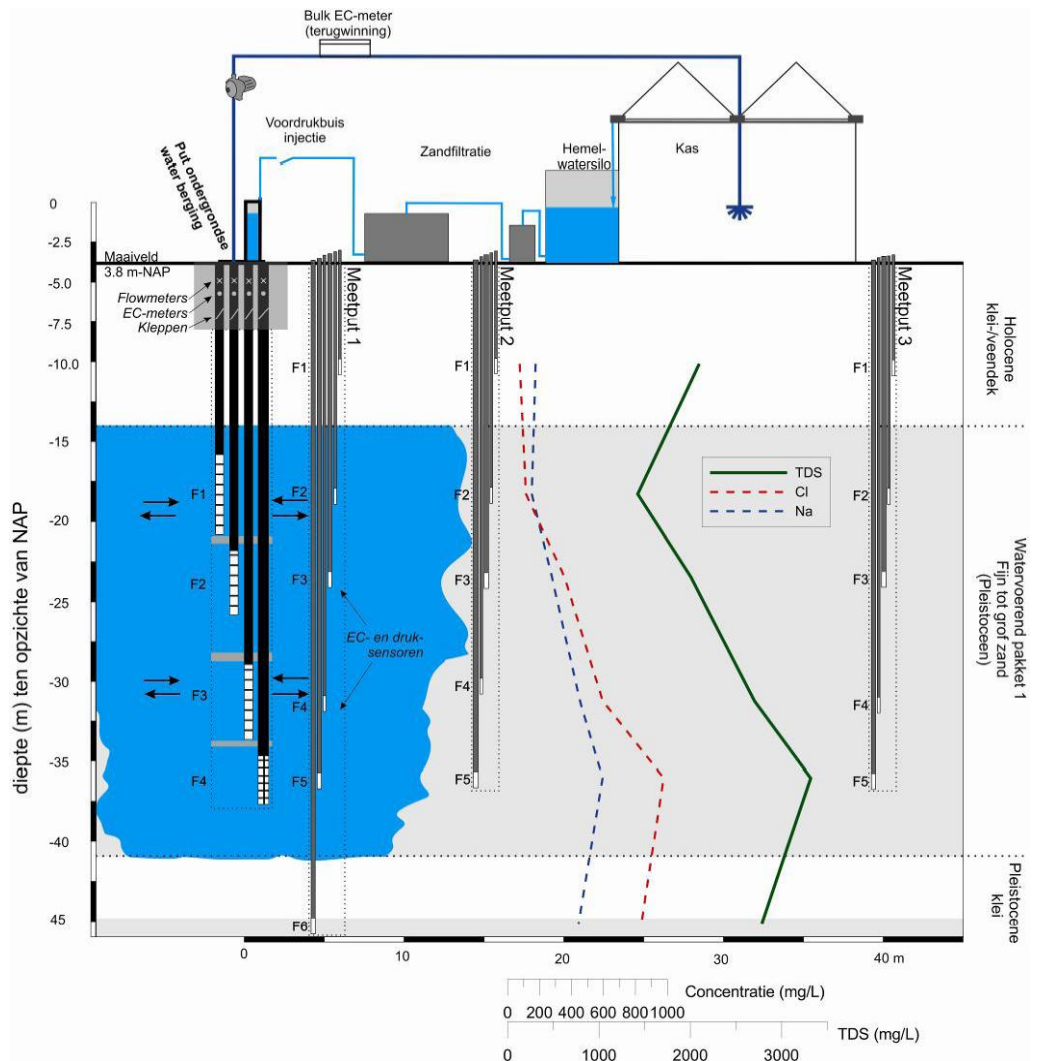
- Ruimtelijke analyse van rendementen op basis van eerder onderzoek en ondergrondmodellen van TNO.
- Verbetering van de terugwinning van zoetwater middels aangepaste puttenconfiguratie (meerdere injectie/onttrekkingsniveaus in één boorgat en gebruik van horizontale putten)
- Combinatie met omgekeerde osmose<sup>4</sup>: afvangen opkegelend brak/ zoutwater aan onderzijde van de geïnjecteerde zoetwaterbel (Freshkeeper).

#### *Resultaten tot nu toe*

Op basis van allerlei ondergrond parameters is de geschiktheid voor ASR ruimtelijk onderzocht. Er is grote ruimtelijk variatie binnen de regio Haaglanden in de verwachte terugwinrendementen bij Aquifer Storage and Recovery (ASR). Voor het gebied ten oosten van Delft (Oostland, diepe droogmakerijen) is de potentie van ondergrondse waterberging het grootst (relatief zoet grondwater, juiste pakketdikte/doorlatendheid). In het gebied ten westen van Delft (Westland, kustregio) is de potentie met name in het noorden beperkt, waardoor terugwinrendementen te laag uit kunnen vallen. Hier zijn sowieso ingrepen (schaalvergroting / aangepaste putconfiguratie / site-selection) nodig om het rendement richting acceptabel peil te brengen. Op dit moment loopt een veldproef in een matig geschikt gebied in Nootdorp, waarbij de werking van het ASR systeem en zoetwaterbel in de ondergrond gemonitord wordt. In Zeeland is een perceel in beeld om ASR via het Freshmakersysteem toe te passen, waarbij het brakke water onder de zoetwaterbel middels een horizontale put wordt afgevangen.

---

<sup>4</sup> Omgekeerde osmose/Freshkeeper: creëren zoetwater door ontzilting zeewater of brak/zout grondwater. Zout concentraat ('brijn') blijft hierbij over en moet worden geloosd (veelal is de ondergrond hiervoor de enige optie). Effecten lange termijn (verzilting, effecten lozing) zijn nog onderwerp van discussie.



Figuur 29: Opzet van de veldproef ondergrondse waterberging in Nootdorp binnen Kennis voor Klimaat thema 2, werkpakket 4. Sinds januari 2012 wordt hier water geïnjecteerd, opgeslagen en teruggewonnen.

De prijs per  $m^3$  van ASR is concurrerend met alternatieve gietwatervoorziening, zeker in gebieden die het meest geschikt zijn (hier zijn geen technische aanpassingen nodig). De kostprijs varieert hier van 0.30 tot 0.77 euro /  $m^3$  bij berging en teruggewinning van alleen het winteroverschot (afhankelijk van de schaalgrootte), terwijl in moeilijkere gebieden (technische aanpassingen en lagere rendementen) de kostprijs stijgt naar 0.55 tot 1.53 euro /  $m^3$ . Indien de ondergrondse waterberging het hele jaar voor injectie en onttrekking gebruikt wordt (vervanging van bestaande bovengrondse opslag) zijn de prijzen per kuub voor ondergrondse waterberging water veel lager: tussen de 0.17 (hoog rendement, eenvoudig systeem) en 0.63 euro/ $m^3$  (lager rendement, optimaal systeem).

ASR kent dus in potentie een aantal voordelen: Het winterse neerslagoverschot kan goed worden benut als duurzame gietwatervoorziening. De lozing van brijn

als gevolg van ontzilting neemt af en hiermee wordt verdere verzilting van kustaquifers voorkomen. Tenslotte is de kostprijs niet ongunstig ten opzichte van andere bronnen.

De oplossing ASR past binnen strategie 5 (water stuurt gebruiker) en mogelijk strategie 3 (water volgt beperkt i.s.m. marktpartijen) van het Deltaprogramma.

ASR biedt zelfs onder het huidige klimaat al een robuuste, voordelige en duurzame gietwatervoorziening. Als door klimaatverandering jaarlijks meer neerslag gaat vallen met een slechtere verdeling over het jaar is ASR een goed middel om deze neerslagtoename ook beschikbaar te houden voor droge perioden.

De risico's op over- of onderinvestering zijn reëel. Het verkeerde systeem op de verkeerde plaats zal leiden tot lage terugwinrendementen. De prijs per m<sup>3</sup> water loopt dan snel op.

In het vervolg worden de eerder genoemde onderzoeksvragen verder opgepakt. De benodigde voorzuivering van het injectiewater en effecten van directe injectie van regenwater in een brak, zuurstofloos pakket worden onderzocht in een veldpilot. Chemische reactie tijdens verblijf in de aquifer (met name de mobilisatie metalen) wordt eveneens in deze veldpilot en evt. met kolomproeven (i.s.m. A. Antoniou, TTIW Westsus / KWR / VU Amsterdam) onderzocht. Verbetering van het terugwinrendement door middel van een verbeterde putconfiguratie in combinatie met omgekeerde osmose zal worden gemodelleerd (i.s.m. M. van Ginkel, TU Delft / Royal Haskoning).



## 5.4 Casestudie Zuidwestelijke Delta (WP 6.3): 'zoete eilanden in zoute wateren'

### 5.4.1 Beschrijving

De Zuidwestelijke Delta is het gebied met de hoogste zoutconcentraties in de sloten van Nederland (zie Figuur 8). Ondanks dat wordt op grote schaal landbouw bedreven in dit gebied. Dit is mogelijk omdat er sprake is van 'zoete eilanden in zoute wateren'. Een deel van het gebied heeft toegang tot een externe zoetwateraanvoer, maar een ander deel is volledig aangewezen op het natuurlijk aanwezige interne zoetwater in de vorm van zoetwaterlenzen die zich bovenop het zoute water in de ondergrond bevinden (zie 2.2.1 en 4.2).

De zoetwatervoorziening is de Zuidwestelijke Delta op te delen in verschillende gebieden: (1) het noordelijke en oostelijke gedeelte van de Delta is afhankelijk van het Hollands Diep, Haringvliet en het Volkerak-Zoommeer, (2) de westelijke eilanden hebben geen externe aanvoer en zijn volledig afhankelijk van regenwater (3) Zeeuws Vlaanderen heeft deels een regionale wateraanvoer vanuit België en (4) grote delen van Zuid-Beveland worden voorzien van zoetwater vanuit de landbouwwaterleiding die water vanuit de Biesbosch toevoert. De verschillen in de toegang tot water van goede kwaliteit wordt gereflecteerd in het landgebruik. Daar waar extern zoetwater beschikbaar is zijn intensieve teelten te vinden, terwijl in de gebieden zonder externe zoetwatertoevoer hoofdzakelijk grootschalige akkerbouw wordt bedreven.

In de gehele Zuidwestelijke Delta komt de toekomstige zoetwatertoevoer op meerdere manieren onder druk te staan. Door de klimaatverandering neemt de kweldruk toe en verzilt het gebied verder en daarnaast staat ook de externe watertoevoer onder druk door klimaatverandering en beleidsbeslissingen zoals het mogelijk zout laten worden van het Volkerak-Zoommeer en het op een kier zetten van de Haringvlietsluizen. In de aanpak in de case Zuidwestelijke Delta staat kleinschalige adaptatie op bedrijfsniveau centraal om deze veranderingen het hoofd te bieden. In de case wordt uitgewerkt in hoeverre het gebied zelfvoorzienend kan worden en, resterend, hoeveel zoetwatertoevoer vanuit het regionale en hoofdwatersysteem nodig is. De westelijke eilanden dienen hierbij als een voorbeeld voor de situatie waarbij externe toevoer niet nodig is, en gebruik wordt gemaakt van de aanwezige zoetwaterlenzen. Een optimalisatie van de drainage kan in deze gebieden mogelijk voorkomen dat de zoetwaterlenzen verdwijnen en kan in andere gebieden de hoeveelheid benodigde beregening terugdringen. Hoogrenderende teelten hebben een watervoorziening van een goede kwaliteit nodig, die kan worden geoptimaliseerd door extra berging, het benutten van ondergrondse berging en/of efficiënter watergebruik (zie sectie Water Optimalisatie Plannen voor een duurzame watervoorziening van de fruitteelt). De case laat zien hoe de interactie tussen het systeem, de gebruiker en de beheerder bepalend is voor welke set maatregelen wordt gekozen. Traditioneel ligt de verantwoordelijkheid voor de zoetwatervoorziening bij de be-

heerder, op plaatsen waar het historisch is gegroeid dat er een recht is op zoet water. In de aanpak die wordt toegepast in de case Zuidwestelijke Delta verschuift de nadruk echter naar een grotere zelfvoorzienendheid en worden de oplossingen gezocht binnen het systeem en door de gebruiker. Hiermee is de methodiek complementair aan de gebruikelijke aanpak en is het een uitwerking van strategie 5 van het deltaprogramma: Water stuurt gebruiker: zoetwateraanbod als publieke voorziening afwezig – private proeftuin; adaptatie, zelfvoorzienend, acceptatie. De case laat zien dat maatregelen op klein schaalniveau – door aanpassingen aan het lokale watersysteem of door aanpassingen van het gebruik op bedrijfsniveau of met een groep gebruikers – waarschijnlijk concurrerend kunnen zijn met grootschalige investeringen die in het Deltaprogramma voor de zoetwatervoorziening in de Zuidwestelijke Delta worden onderzocht.

#### 5.4.2 Deelcase: Water Optimalisatie Plannen voor een duurzame watervoorziening van de fruitteelt

In de Zuidwestelijke Delta is fruitteelt een belangrijke bedrijfstak. Aangezien de fruitteelt gevoelig is voor verzilting, is de toevoer van water van goede kwaliteit van groot belang voor deze sector. Daarom is het project “Duurzame Watervoorziening Fruitteelt” uitgevoerd. Dit project heeft als doel om het watergebruik en voorziening op bedrijfsniveau te verbeteren en te optimaliseren, met de blik op de middellange termijn, en om het gebruik van de landbouwwaterleiding voor de bedrijven in Zuid-Beveland te optimaliseren. Ervaringen in droge jaren geven aan dat er onder de huidige omstandigheden al meer behoefte is aan buffering van zoet water, en deze behoefte zal naar verwachting toenemen door klimaatverandering. In het project is het Water Optimalisatie Plan (WOP) voor de fruitteelt ontwikkeld. De WOP is op 37 fruitteelt bedrijven uitgevoerd, waarbij de huidige watervoorziening in beeld is gebracht en een of meerdere alternatieve mogelijkheden op de technische en financiële mogelijkheden zijn beoordeeld. Maatregelen die zijn onderzocht in de WOP zijn de efficiënte inzet van water en mineralen, optimalisatie van drainage, opvang en buffering en het gebruik van de drink- of landbouwwaterleiding.

Een WOP geeft een advies gericht op de individuele bedrijven, met de daarbij behorende specifieke bedrijfsomstandigheden. Deze hebben o.a. betrekking op:

- Het totale areaal fruitteelt
- De huidige bedrijfsstructuur, met name het aantal percelen en de grootte van de huiskavel en de afstand van de percelen tot de huiskavel
- De verhouding tussen de oppervlakte appelen en peren en de rassen bij de appelen
- Wel/niet beschikbaar zijn van zoet water
- Het wel/niet aangesloten zijn op de Landbouw Water Leiding





- Het al wel/niet toepassen van druppelbevloeiing en/of (nachtrust) berekening
- Het wel/niet toepassen van wortel snijden.

Dit heeft tot gevolg dat er een breed scala aan individuele adviezen naar voren zijn gekomen. Uit de adviezen valt af te leiden dat de schade door droogte en nachtvorst bij het onderzochte gematigde klimaatscenario om een groot bedrag gaat van gemiddeld ca. € 40.500,- per bedrijf. Het optimaliseren van de watervoorziening om deze schade te ondervangen vraagt grote investeringen, maar uit de WOP wordt duidelijk dat wateroptimalisatie een bijdrage kan leveren aan een verbetering van het inkomen. Bij een conservatieve berekeningswijze levert het meest optimale alternatief een gemiddelde verbetering van ca. € 8.300,- per bedrijf op. De spreiding is echter vrij groot. Bij 5 bedrijven was geen verbetering te realiseren en de winstverbetering liep verder uiteen van ca. € 1.000,- tot € 38.000,-.

Het rendement van de investeringen kan toenemen door het bevorderen van samenwerkingsverbanden en structuurverbeteringen, zoals het samenvoegen van percelen of inzet van kavelruilen. Ondersteuning voor de toepassing van maatregelen op het niveau van een agrarische coöperatie zijn hiervoor wenselijk of zelfs noodzakelijk. Er is binnen de sector veel belangstelling voor de innovatieve ontwikkelingen die in KvK-thema2 worden onderzocht (opslaan in kreekruigen, de freshmaker, drainagesystemen e.d.).



Via KvK is kennis en arbeid ingebracht. Verder is dit project mogelijk gemaakt door een (financiële) bijdragen van de Zuidelijke Land- en Tuinbouw Organisatie, Provincie Zeeland, Productschap Tuinbouw, Ministerie I&M, Rabobank, Evides, WUR, handelsonderneming Meeuwse en de betrokken fruittelers. Kennisontwikkeling en uitwisseling tussen kennisinstellingen en de praktijk, zoals is gedaan in dit project, kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de implementatie van de innovatieve technieken in de praktijk.





## 6 Conclusies, aanbevelingen en kennishiaten

### 6.1 Conclusies

Doel van het rapport is een integraal overzicht te geven van state of the art onderzoek m.b.t. opties om de mismatch tussen watervraag en –aanbod op regionale, en daarmee ook op landelijke schaal, voor Laag-Nederland te verkleinen. We hebben daarbij de verschillende adaptatie opties gezet in het licht van de mogelijke adaptatiestrategieën van het Deltaprogramma zoetwatervoorziening en resultaten van de casestudies in de Hotspots van kennis voor klimaat gepresenteerd. Wat leert ons het onderzoek tot nu toe over de knelpunten en de potentie van de verschillende opties en welke perspectieven op oplossingsrichtingen biedt ons dit?

Als we bij de klimatologische ontwikkelingen beginnen zien we dat er een grote spreiding zit in de uitkomsten van de verschillende klimaatmodellen. Deze onzekerheden proberen we voor de Nederlandse omstandigheden te vangen in 4 KNMI scenario's. Deze laten een gecompliceerd beeld zien van een mogelijke toekomst met nauwelijks veranderingen in het zomerse neerslag tekort in het G en W scenario tot aanzienlijke tekorten in het W+ scenario. Met deze uiteenlopende klimaatrandvoorwaarden moeten strategieën voor zoetwatervoorziening rekening houden. In (steeds) drogere zomers is een groot deel van Laag-Nederland (meer en meer) afhankelijk van aanvoer van zoetwater vanuit vooral het Rijnstroomgebied. Hieruit is meer dan voldoende water beschikbaar maar lagere afvoeren in combinatie met zeespiegelstijging kunnen zorgen voor verzilting van innamepunten in Laag-Nederland. Voor een inschatting van de invloed van drogere zomers op de afvoeren van de Rijn moeten regionale klimaatuitkomsten gekoppeld worden aan hydrologische modellen voor het Rijnstroomgebied. De meest recente en gedetailleerde studie op dit gebied, Rheinblick, laat zien dat afvoeren voor de Rijn vooral na 2050 zullen afnemen. De afname van de afvoer is in het algemeen lager dan in de Deltascenario's gebaseerd op het W+ scenario van het KNMI. Op basis van de huidige nog onzekere inzichten is de invloed van veranderingen in bovenstreams watergebruik voor de Rijn relatief (ten opzichte van de basisafvoer) geringer dan voor de Maas. Omdat de absolute getallen vanuit 2 verschillende studies voor de referentiesituatie nog met meer dan een factor 2 verschillen, kunnen we nog geen uitspraken doen of veranderingen in het gebruik significant en kritisch zullen zijn voor de verzilting van innamepunten in Nederland.

Recente resultaten uit het Deltaprogramma laten duidelijk zien dat ook zonder toename van bovenstreams watergebruik de inname van zoetwater bij Gouda voor Midden West Nederland onder een droog scenario voor 2050 veel vaker zal moeten sluiten dan in de huidige situatie. Voor de Zuidwestelijk Delta zijn vooral keuzes in het beheer van belang. De Bernisse de belangrijkste zoetwateraanvoer voor de regio Haaglanden is minder gevoelig voor veranderingen in

de afvoer en zal onder invloed van zeespiegelstijging en getij weliswaar vaker moeten sluiten maar slechts voor korte periodes.

Wat betekent dit voor de perspectieven voor de drie oplossingsrichtingen die worden onderzocht in de verschillende deelgebieden in Laag-Nederland?

We zien dat het huidige waterbeheer mogelijk te optimaliseren valt, door beter te sturen op inname en doorspoeling. Hiervoor is wel een beter inzicht vereist in de zoetwaterstromen en bronnen van verzilting in het beheergebied en in de doorwerking van verzilting in de sloten tot in de wortelzone. Inzicht dat met het uitgevoerde experimentele onderzoek wordt vergroot en kan worden opgeschaald via verbeterde gebiedsmodellen.

Ook de voorraad gebiedseigen water in zoetwaterlenzen in percelen en kreekruggen is met optimalisatie van het lokale tot regionale waterbeheer mogelijk te vergroten. Door aanpassing van de drainage kan meer water in de gebieden worden vastgehouden en door actief te injecteren kunnen kreekruggen beter worden gevuld.

De huidige in Nederland aangenomen zouttoleranties lijken achterhaalt. Kennis over mechanismen in wortelzone en plant is onvolledig en er wordt onvoldoende rekening gehouden met variabiliteit en specifieke Nederlandse omstandigheden. Eerste onderzoeksresultaten laten zien dat hier verbeteringen in mogelijk zijn en dat hierdoor realistischere effecten van verzilting zijn te schatten. Marges in zouttoleranties kunnen dan minder rigide worden gesteld waardoor in combinatie met een uitgekiender waterbeheer meer maatwerk in ruimte en tijd mogelijk is. Van belang daarbij is te weten hoe snel concentraties waar op kunnen lopen bij een bepaald inlaat- en doorspoelbeleid. Dat begint al bij de inlaat bij Gouda waar blijkt dat chloride gehalten voorbij de 250 mg/l in eerste instantie slechts geleidelijk toenemen.

Kennis over mechanismen van zouttolerantie wordt gehaald uit het bestuderen van zouttolerante gewassen. Deze wordt zowel ingezet om modellen hiervoor te verbeteren of om zoutresistente gewassen te kweken met een goede marktpotentie. Uit eerdere studies zijn al succesvolle voorbeelden naar voren gekomen zoals de zilte aardappel.

Ook voor natuurlijke vegetatie is kennis over variabele verzilting nog verre van volledig. De studie die uitgevoerd is voor de Rotte en de Rottemeren lijkt echter ook aan te geven dat er waarschijnlijk meer ruimte zit in zoutgrenzen voor natuur dan in de huidige situatie worden gehanteerd.

In termen van robuustheid zou de drempelwaarde van het regionale systeem en zijn functies waarbij schade gaat optreden als gevolg van verzilting op basis van nieuwe inzichten in toleranties wel eens hoger kunnen zijn dan we nu aannemen en kan door een uitgekiendere sturing in het beheer en de ruimtelijke ordening de toename van de schade bij het niet meer inlaten of bij het inlaten



van zoet water met iets hogere concentraties (tot bijvoorbeeld 600 mg/l) de proportionaliteit (gevoeligheid van schade van het gebied voor toename zoutconcentratie in inlaatwater) verbeteren. Ook bij een groter areaal aan zoutresistentere gewassen wordt de robuustheid als gevolg van een afnemende gevoeligheid voor schade van een gebied aanzienlijk verkleind.

Voor de Zuidwestelijke Delta kennen de verschillende eilanden verschillende perspectieven. Voor gebieden zonder aanvoer van water liggen er kansen om het watervasthoudend vermogen van percelen te vergroten via peilgestuurde drainage en om extra water te bergen in kreekruggen. De fruitteelt op Zuid-Beveland heeft de beschikking over een gelimiteerde wateraanvoer. Onderzoek heeft aangetoond dat met wateroptimalisatie op bedrijfsniveau en collectief niveau water en kosten kunnen worden bespaard. Voor de gebieden die een ongelimiteerde toegang tot zoetwateraanvoer hebben zoals Goerree geldt dat door een betere sturing op inlaat en doorspoeling en ruimere marges in zouttoleranties een efficiëntie slag mogelijk is. Deze en andere maatregelen die allen de veerkracht van de regio om eventuele gevolgen van klimaatverandering op te vangen vergroten worden in het vervolg verder onderzocht op hun potentie.

Voor de kapitaalintensieve glastuinbouwsector zijn meerdere technologische oplossingen mogelijk waarmee het aanbod aan goede kwaliteit gietwater kan worden vergroot. Uit het onderzoek blijkt tot dusver dat de potentie van ondergrondse opslag in NL nog onvoldoende wordt benut. Niet alle gebieden zijn geschikt, in een deel ervan zijn technische aanpassingen mogelijk. In geschikte gebieden is het qua kosteneffectiviteit een aantrekkelijk alternatief bijvoorbeeld t.o.v. ontzilting van grond- of oppervlaktewater. De afhankelijkheid van externe aanvoer van oppervlaktewater wordt hierdoor minder.

Lokale tot regionale maatregelen in bedrijfsvoering en waterbeheer vergen een grotere rol van de agrarisch ondernemers. Scherpere inzichten in de effecten van verzilting in combinatie met transparante keuzes in het waterbeheer geven ondernemers inzicht in de risico's en richting voor autoadaptatie

De hierboven geschetste resultaten geven aan waar, met een slag om de arm, potentie zit om met inzet van beperkte publieke middelen de kwetsbaarheid voor klimaatverandering van de zoetwatervoorziening in Laag-Nederland te verkleinen. Oplossingen zitten daarmee in de hoek van strategieën van het Deltaprogramma met meer private inbreng en een kleinere afhankelijkheid van het hoofdwatersysteem. Wat de maatschappelijke kosten en baten zullen zijn is (nog) onduidelijk. Het is natuurlijk ook de vraag of we er door middel van optimalisatie van het huidige beheer, acceptatie van grotere chlorideranges en enkele kleine aanpassingen van het landgebruik er voor de langere termijn komen. Onder de droge klimaatscenario kunnen de waterinlaten bij Gouda voor 2050 en de Bernisse na 2050 langdurig gaan verzilten. Vergroten van de robuustheid veerkracht van het regionale systeem door grotere ranges in peil, doorspoelvolumes, zoutgehaltes te tolereren zorgt er in ieder geval voor dat grotere infrastructurele maatregelen of echte transities in landgebruik kunnen worden uitgesteld en dat we beter overweg kunnen met de variabiliteit in het huidige klimaat.

## 6.2 Kennishiaten en aanbevelingen

Voor de Nederlandse landbouw in internationaal perspectief zijn de lange termijn verwachtingen nog onvoldoende bekend zeker als daarbij de te verwachten wisselwerking met regionale verschillen in klimaatimpacts wordt meege-nomen.

De potenties van de verschillende bestudeerde maatregelen kunnen nog maar beperkt in volumes en kosten-baten worden uitgedrukt. Dit zal voor de case-studies wel in beeld worden gebracht in het vervolg. Voor de Zuidwestelijke Delta is een eerste goede aanzet gegeven (zie Tolk, 2012)

Binnen CPFWS wordt voornamelijk onderzoek gedaan naar lokale tot regionale maatregelen. Er wordt nog geen afweging gemaakt t.o.v. maatregelen in het hoofdwatersysteem. Pas binnen die context kan de afweging worden gemaakt of regionale zelfvoorzienendheid erg kansrijk is .

Implementatie aspecten als hoe kan bestuurlijk draagvlak worden verkregen, hoe kunnen kosten en verantwoordelijkheden worden verdeeld van maatregelen ontbreken nog in het huidige rapport. Omdat thema 7 hier onderzoek naar doet zal in de volgende versie ook hieraan aandacht worden geschonken.

Het onderzoek naar het omgaan met onzekerheden bij strategievorming is nog onvoldoende geïntegreerd in de tussenresultaten die vaak nog gericht zijn op losse maatregelen. In het vervolg zal daarom aansluitend bij de methoden uit het deltaprogramma van vergelijkingssystematiek en adaptief deltamanagement per casestudie strategieën worden uitgewerkt.



## Literatuur

- Agusdinata, D. B. 2008. *Exploratory Modeling and Analysis: A promising method to deal with deep uncertainty*. Ph.D. thesis Ph.D. thesis, Delft University of Technology.
- Anderson, M.P., 2005. Heat as a ground water tracer. *Ground water*, 43(6), pp.951-68. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16324018> [Accessed July 27, 2010].
- Asselt, M. B. A. van 2000. *Perspectives on Uncertainty and Risk*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Bakel, P.J.T. van en L.C.P.M. Stuyt, 2011. Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktische ervaringen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2201.72 blz.; 10 fig.; 13 tab.
- Bakel, RAL Kselik, CWJ Roest, AAMFR Smit, Review of crop salt tolerance in the Netherlands, Alterra rapport, 1926, 2009 AM van Dam, OA Clevering, W Voogt, Th G L Aendekerk, MP van der Maas, Leven met Zout Water, Deelrapport: Zouttolerantie van landbouwgewassen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, rapport PPO 32 34019400, 2007
- Bakker, M., 2010. Radial Dupuit interface flow to assess the aquifer storage and recovery potential of saltwater aquifers. *Hydrogeology Journal*, 18(1): 107-115.
- Beek, E. van, M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten, 2008. Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's. Deltaresrapport T2498, Delft.
- Beersma, J., & Buishand, A. (2004). Joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands. *Water resources research*, 40.
- Bolivar, Australia (e.g. Greskowiak et al., 2005): ondergrondse opslag van recyclewater voor groeiseizoen.
- Bruggeman et al., 2011. Deltascenario's.
- Deltaprogramma (2011), Deltaprogramma 2012 Werk aan de Delta: Maatregelen van nu, voorbereiding voor morgen.
- Deltaprogramma, Deelprogramma Zoetwater (2011) Synthese van de landelijke en regionale knelpuntenanalyses: fase 1
- Duinen R. van, (2011) The economic effects of drought events: a literature review. Deltares report.
- Duinen R. van, Filatova T., van der Veen A., Understanding farmers' drought risk adaptation in the Netherlands, IGS-SENSE Conference on Resilient Societies: Governing Risk and Vulnerability for Water Energy and Climate Change, 19-21 oktober 2011, Enschede.

- Eeman, S., Leijnse, A., Raats, P. A. C., and Van der Zee, S. E. A. T. M.: Analysis of the thickness of a fresh water lens and of the transition zone between this lens and upwelling saline water, *Adv. Water Res.*, 34(2), 191302, 2011.
- Eeman, S., S.E.A.T.M. van der Zee, A. Leijnse, P. G. B. de Louw, and C. Maas (2012) Response to recharge variation of thin lenses and their mixing zone with underlying saline groundwater *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, 1435–1480, doi:10.5194/hessd-9-1435-2012
- Flowers, T.J., 2004. Improving crop salt tolerance. *J. Exp. Bot.* 55, 307-319.
- Flowers, T.J., Colmer, T.D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.* 179, 945-963.
- Geerse, C., Zethof M., van Oostrom N., Jeuken A., Risicobenadering verzilting in het Noordelijk Deltabekken. 2012. HKV/Deltares 1205208-000-VEB-0010
- Glenn, E.P., Brown, J.J., Blumwald, E., 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 18, 227-255.
- Goodman, A. M., G. G. Ganf, et al. (2010). "The response of freshwater plants to salinity pulses." *Aquatic Botany* 93: 59 - 67.
- Görgen, K., Beersma, J., Brahmer, G., Buiteveld, H., Carambia, M., de Keizer, O., Krahe, P., Nilson, E., Lammersen, R., Perrin, C. and Volken, D. (2010) Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project, CHR report, I-23, 229 pp., Lelystad, ISBN 978-90-70980-35-1.
- Greskowiak, J., Prommer, H., Vanderzalm, J., Pavelic, P. and Dillon, P., 2005. Modeling of carbon cycling and biogeochemical changes during injection and recovery of reclaimed water at Bolivar, South Australia. *Water Resour. Res.*, 41(10): W10418.
- Haasnoot M., H. Middelkoop, A. Offermans, E. Van Beek, W.P.A. Van Deursen 2011(accepted). Exploring pathways for sustainable water management in River deltas in a changing environment. *Climatic Change*
- Haasnoot M., Ter Maat, J. (2011). *Zoetwater Adaptatiepaden*, memo Deltares.
- Hennekens, S. M., N. H. C. Smits, et al. (2010). *SynBioSys Nederland. Versie 2, Alterra*, Wageningen UR.
- Hoogvliet, M., Oude Essink, G.H.P., et al, 2008 *Koploper Klimaat Werkpakket Watervoorziening*, 2008-U-R0434/A, 59p.
- Hooper, R.P., 2003. Diagnostic tools for mixing models of stream water chemistry. *Water Resources Research*, 39(3), pp.1-13. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2003/2002WR001528.shtml> [Accessed August 16, 2011].
- IWACO, 2000. *Zoetwatervoorziening Zeeuwse Landbouw*. IWACO BV.





- Jones, G.W. and Pichler, T., 2007. Relationship between pyrite stability and arsenic mobility during aquifer storage and recovery in southwest central Florida. *Environ. Sci. Technol*, 41(3): 723-730.
- Kalbus, E., Reinstorf, F. & Schirmer, M., 2006. Measuring methods for groundwater – surface water interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(6), pp.873-887. Available at: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/873/2006/>.
- Katschnig, D., Broekman, R., Rozema, J., 2012 Salt tolerance of the halophyte *Salicornia dolichostachya*: Growth, morphology and physiology. *Environmental and Experimental Botany*, Submitted.
- Kirchner, J.W., 2006. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Resources Research*, 42(3), pp.1-5. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2005WR004362.shtml> [Accessed June 17, 2011].
- Klijn, F., Kwadijk, J., Bruijn, K. d., & Hunink, J. (2010). Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat: verkenning van wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland. Deltares report 1002565-000.
- Klijn, F., van Velzen, E., Hunink J. 2012. Zoetwatervoorziening in Nederland aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse. Deltares 1205970-000-VEB-0010.
- Koerselman, W. (1989). "Groundwater and surface water hydrology of a small groundwater-fed fen." *Wetlands Ecology and Management* 1(1): 31-43.
- Kwadijk, J.C.J., M. Haasnoot, J.P.M. Mulder, M. Hoogvliet, A. Jeuken, R. van der Krogt, N.G.C. van Oostrom, H.A. Schelfhout, E.H. van Velzen, H. van Waveren, M.J.M. de Wit. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the Netherlands. *Interdisciplinary reviews: Climate Change*, DOI: 10.1002/wcc.64
- Kwakkel, J. H., Walker, W. E. & Marchau, V. A. W. J. 2010A. Classifying and communicating uncertainties in model-based policy analysis. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 10, 299-315.
- Kwakkel, J. H., Walker, W. E. & Marchau, V. A. W. J. 2010B. Adaptive Airport Strategic Planning. *European Journal of Transportation and Infrastructure Research*, 10, 227-250.
- Kwakkel, J. H., M.J. P. Mens, A. de Jong, J.A. Wardekker, W.A.H. Thissen, J.P. van der Sluijs. 2011. Uncertainty terminology 1.0, Kennis voor Klimaat, 2011.
- Lempert, R. J., Popper, S. & Bankes, S. 2003. *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long Term Policy Analysis*. Santa Monica: RAND.
- Louw, P.G.B. de, et al., 2010. Upward groundwater flow in boils as the dominant mechanism of salinization in deep polders, The Netherlands. *Journal of Hydrology*, 394(3-4), pp.494-506. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.009> [Accessed January 25, 2011].

- Louw, P.G.B. de, van der Velde, Y. & van der Zee, S.E. a T.M., 2011. Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7), pp.2101-2117. Available at: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/2101/2011/> [Accessed July 12, 2011].
- McDonnell, J.J. et al., 2007. Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. *Water Resources Research*, 43(7), pp.1-6. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2007/2006WR005467.shtml> [Accessed July 18, 2011].
- Mens, M. J. P., Klijn, F., de Bruijn, K. M., & van Beek, E. (2011). The meaning of system robustness for flood risk management. *Environmental Science & Policy*, 14(8), 1121-1131.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651-681.
- Oostrom N. van, Jeuken A., van Zetten J., 14 september 2011. Eerste generatie oplossingsrichtingen voor klimaatadaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden. Deelrapport: effecten op zoetwaterbeschikbaarheid. Deltares.
- Oude Essink, G. H. P. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, 7657-7707, 2011.
- Oude Essink, G.H.P., van Baaren, E.S. & de Louw, P.G.B., 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. *Water Resources Research*, 46(May), pp.1-16. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2009WR008719.shtml> [Accessed January 24, 2011].
- Oude Essink, G.H.P., Verkaik, J. en Faneca-Sanchez, M., 2011. NHI zoet-zout, grondwater in het Nederlandse kustgebied, Verzoeting en verzilting van de ondiepe ondergrond in Nederland onder invloed van klimaatverandering en menselijke activiteiten.
- Paalman, M. et al., 2012. Increasing sulf-sufficient water supply greenhouse horticulture, Knowledge for Climate, Utrecht.
- Paulissen, M. P. C. P., S. A. M. van Rooij, et al. (2011). Klimaatgedreven verzilting: betekenis voor natuur en mogelijkheden voor klimaatbuffers. Wageningen, Alterra.
- Pavelic, P., Dillon, P.J. and Simmons, C.T., 2006. Multiscale Characterization of a Heterogeneous Aquifer Using an ASR Operation. *Ground water*, 44(2): 155-164.
- Projectgroep Zoetwateronderzoek, 1986. Zoetwaterinfiltratieproef Kapelle.
- Pyne, R.D.G., 2005. *Aquifer Storage Recovery - A guide to Groundwater Recharge Through Wells*. ASR Systems LLC, Gainesville, Florida, 608 pp.
- Rozema, J., Flowers, T., 2008. *ECOLOGY Crops for a Salinized World*. *Science* 322, 1478-1480.
- Runhaar, J. (2006). *Natuur in de verdringingsreeks*. Wageningen, Alterra.



- Shah, S. H. H., R. W. Vervoort, S. Suweis, A. J. Guswa, A. Rinaldo, and S. E. A. T. M. van der Zee (2011), Stochastic modeling of salt accumulation in the root zone due to capillary flux from brackish groundwater, *Water Resour. Res.*, 47, W09506, doi:10.1029/2010WR009790.
- Shani, U., A Ben-Gal, E Tripler, and L M Dudley Plant response to the soil environment: An analytical model integrating yield, water, soil type, and salinity, *Water Resour. Res.*, 43, 08418, doi:10.1029/2006WR005313, 2007
- Stuyfzand and Raat, 2010. Noardbergum, Nederland. Omgekeerde osmose onder verziltend puttenveld om verzilting tegen te gaan.
- Stuyfzand, P. and Raat, K., 2010. Benefits and hurdles of using brackish groundwater as a drinking water source in the Netherlands. *Hydrogeology Journal*, 18(1): 117-130.
- Stuyfzand, P.J., 1989. Hydrology and water quality aspects of Rhine bank groundwater in The Netherlands. *Journal of Hydrology*, 106(3-4), pp.341–363. Available at: [Http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022169489900796](http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022169489900796) [Accessed January 24, 2011].
- Stuyt, L., Hoogvliet, M., van Bakel, J., Veraart, J., Paulissen, M., Delsman, J., Oude Essink, G. 2012. Kansrijkheid van anders omgaan met zout, een druppel op de gloeiende plaat, of niet? Memo Alterra/Deltares/Bakelse stroom.
- Suweis, S., A Rinaldo, SEATM van der Zee, A Maritan, and A Porporato, Stochastic modeling of soil salinity, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L07404, doi:10.1029/2010GL042495, 2010
- Te Linde en Woelders, 2011. Impact of socio-economic developments on water consumption in the Rhine and Meuse basins. KvK theme 2: CPFWS Wp 1.2, KvK rapport nr xxx. Deltares.
- Tolk, L., 2012 concept. Zoetwater verhelderd. Maatregelen voor zoetwater zelfvoorzienendheid in beeld. KvK rapport nr xxx. Acacia.
- Uhlenbrook, S. & Hoeg, S., 2003. Quantifying uncertainties in tracer-based hydrograph separations: a case study for two-, three- and five-component hydrograph separations in a mountainous catchment. *Hydrological Processes*, 17(2), pp.431–453. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.1134/pdf> [Accessed August 17, 2011].
- Varum, C. A. & Melo, C. 2010. Directions in scenario planning literature - A review of the past decades. *Futures*, 42, 355-369.
- Veraart, J.A. en van Gerven, L.P.A. 2012. Verzilting, klimaatverandering en de Kaderrichtlijn Water. Casestudie het boezemstelsel van Schieland. Kennis voor Klimaat rapport Alterra.
- Vries, I., ter Maat, J., van Velzen, E. 2012. Toekomstbestendigheid besluit Volkerak-Zoommeer: een robuuste beslissing? Deltaresrapport 1205971-000.
- Vico, G. and A Porporato, Traditional and microirrigation with stochastic soil moisture, *Water Resources Research*, Vol. 46, W03509, doi:10.1029/2009WR008130, 2010

- Walker, B. & Meyers, J. A. 2004. Thresholds in Ecological and Social Ecological Systems: A Developing Database. *Ecology and Society*, 9.
- Ward, J.D., Simmons, C.T., Dillon, P.J. and Pavelic, P., 2009. Integrated assessment of lateral flow, density effects and dispersion in aquifer storage and recovery. *Journal of Hydrology*, 370(1-4): 83-99.
- Wirdum, G. van (1991). Vegetation and hydrology of floating rich-fens, Universiteit van Amsterdam.
- Wolf, J. et al. 2012 concept. Assessing the adaptive capacity of agriculture in the Netherlands to the impacts of climate change under different market and policy scenarios (AgriAdapt project). Dutch National Research Programme Climate changes Spatial Planning (WUR).
- Zuurbier, Koen i.s.m. Pieter Stuyfzand, Marcel Paalman, Gertjan Zwolsman. Aquifer Storage and Recovery.



## Bijlage A: Omschrijving van werkpakket en producten

WP	projectbeschrijving	deliverable	omschrijving deliverable
1.1	Opstellen economische randvoorwaarden en perspectieven op verschillende schaalniveaus: EU/Nederland, de geselecteerde casestudiegebieden/sectoren en ondernemers.	literatuurstudie effecten van droogte Aanbevelingen ter verbetering van sectormodel Microschaal analyse rapportage Scientific papers	Rapport dat een overzicht van economische modellen naar de effecten van droogte Aanbevelingen ter verbetering van 'AGRICOM' Bijdrage aan discussie/rapportage in casestudie Haaglanden Terminste 3, in reviewed tijdschriften
1.2	Opstellen hydrologische randvoorwaarden voor NL en de casestudiegebieden a.g.v. Klimaatarandering en bovenstroomse maatregelen	hydrologische randvoorwaarden cases idem + maatregelen scenario's NL idem + maatregelen scenario's Duitsland rapportage bovenstroomse waterkwal.	Hoofdstukken in probleemanalyses casestudies, met welke maatgevende omstandigheden moet rekening worden gehouden. Aanvulling op bovengenoemde hoofdstukken, voorafgegaan door tussentijds memo eind 2011 Rapport met de bovenstroomse droogterisico's, de mogelijke maatregelen in Duitsland en de gevolgen hiervan voor Nederland, voorafgegaan door memo 2011 op basis van literatuur en lopend Duits onderzoek voor de Rijn
WP	projectbeschrijving	deliverable	omschrijving deliverable
2.1	Onderzoek naar effectiviteit van strategieën voor peilbeheer, doorspoelen, waterberging van perceelsniveau, tot op regionaal niveau onderzoek. Met behulp van verbeterde gekoppelde grond-oppervlaktewatermodellen ondersteund door veldmetingen.	Meetstrategie Tabel met haalbare adaptatiestrategieën in kustgebieden Verbeterde methode om gekoppeld oppervlaktewater – grondwater in kustgebieden te simuleren Kwantificering zoet/zoute bronnen nu en later Tussen/eindrapportage resultaten Scientific papers	wanneer, waar (in casestudiegebieden) worden welke metingen met welk doel gedaan Praktische tabel met de effectiviteit van maatregelen afhankelijk van klimatologische randvoorwaarden, eigenschappen van de ondergrond etc. voor Laag-Nederland Implementeren van nieuwe kennis over zoet/zoute bronnen, aanvoer, kwel, neerslag(lenzen), wellen Voor gebieden binnen casestudies doorrekenen water(kwaliteit)balansen, eerst op basis bestaande kennis, nieuwe kennis later bevoegen o.a. hoofdstuk in probleemanalyse casestudies Groene Hart en West-Brabant/Tholen memo's, artikelen nog in overleg met stakeholders n.t.b. Terminste 3, in reviewed tijdschriften
2.2	Onderzoek naar de effectiviteit van strategieën om de zoetwatervoorziening vanuit regenwaterlenzen in stand te houden bij klimaatverandering	Meetplan Provinciebrekkende kaart (probleemanalyse) Tabel haalbaarheid strategieën/maatregel Tussen/eindrapportage resultaten Scientific papers	Terminste 3, in reviewed tijdschriften wanneer, waar (in casestudiegebieden) worden welke metingen met welk doel gedaan Voor verschillende scenario's en daarinbinnen maatgevende omstandigheden (knippunten) wordt in een kaart aangegeven wat de zoetwaterbeschikbaarheid vanuit zoetwaterlenzen is (eerst Zeeland in conceptvorm, tevens andere delen van NL) Praktische tabel met de effectiviteit van maatregelen afhankelijk van klimatologische randvoorwaarden, eigenschappen van de ondergrond etc. voor Laag-Nederland o.a. inbreng in probleemanalyse casestudies Terminste 3, in reviewed tijdschriften

WP	projectbeschrijving	deliverable	omschrijving deliverable
3.1	Onderzoek naar verbeteringen bepaling zouttolerantie bestaande gewassen	<p>tabel met gewassen voor re-assessment meetplan</p> <p>Vertaal functies voor opbrengstdivering</p> <p>Aangepast modelinstrumentarium</p> <p>Inventarisatie van bladschade</p> <p>Nieuwe benadering voor risicoanalyse</p> <p>meetplan</p> <p>SRF-functies</p> <p>Assessment</p> <p>Handboek of protocol</p> <p>Scientific papers</p>	<p>Op basis van gesprekken met stakeholders Hotspots, Deltaprogramma, STOWA wordt een lijst met gewassen opgesteld waar het onderzoek (in Wp3: 3.1-3.3) zich op zal richten wanneer, waar (in casestudiegebieden) welke metingen van welke aard (veld/praktijk) met afstemming binnen Wp3</p> <p>Vertaalfuncties voor opbrengstdivering als gevolg van zoutstress, toegespitst op Nederlandse omstandigheden</p> <p>Aangepast modelinstrumentarium voor agrohydrologische simulaties, passend binnen het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium</p> <p>Inventarisatie van bladschadekwantificatie door zout, met name als gevolg van beregening</p> <p>Nieuwe benadering voor risico analyse van zout/droogte schade als gevolg van onzekere weersomstandigheden (i.s.m. 3.3)</p> <p>wanneer, waar (in casestudiegebieden) welke metingen van welke aard (veld/praktijk) met afstemming binnen Wp3</p> <p>Classificatie van geschiktheid van gewassen voor brakke/zoute teelt gebaseerd op metingen en toepassing van nieuw afgeleide SRF</p> <p>Assessment van opbrengst, kwaliteit en marktwaarde van gewassen gecultiveerd onder diverse saliniteitsomstandigheden.</p> <p>Handboek en protocol dat de praktijk van cultivatie van brakke of zoute gewassen beschrijft.</p> <p>Tenminste 3, in reviewed tidschriften</p>
3.2	Onderzoek naar zoutresistentere gewassen		
3.3	Onderzoek naar gevoeligheid natuur (planten) in Laag-Nederland (Veen-weide) i.r.t. saliniteit	<p>meetplan</p> <p>analyse van databases zout-plant</p> <p>gebiedsvreemd water in laagveen</p> <p>zout-/nutrientvariatie analyse natuurterrein</p> <p>Scientific papers</p>	<p>wanneer, waar (in casestudiegebieden) welke metingen van welke aard (veld/praktijk) met afstemming binnen Wp3</p> <p>experimentele case: ontwikkelen data-base Watervliet natuurgebied relatie abiotische en soortcombinaties</p> <p>inventarisatie van voorkomende planten in relatie tot zoutconcentraties in wortelzone incl historische series</p> <p>modellering impact van gebiedsvreemd water op wortelzone-waterkwaliteit van een prototype laagveen met natuur</p> <p>modelcampagne, voor relateren hoe variabiliteit in zoutconcentratie, droogte/natschades, en nutriënten modelmatig afgewogen moeten worden</p> <p>Tenminste 3, in reviewed tidschriften</p>



<b>WP</b>	<b>projectbeschrijving</b>	<b>deliverable</b>	<b>omschrijving deliverable</b>
4.1	Potentie (effecten, kosten, optimalisatie) van ASR (ondergrondse wateropslag) om het aanbod van zoetwater voor de lange termijn zeker te kunnen stellen. Wat zijn daarbij de	meetplan effectiviteit maatregelen eindrapportage Scientific papers	wanneer, waar (in casestudiegebeiden) worden welke metingen met welk doel gedaan Op basis van bestaande kennis zie ook integratierapport Tenminste 3, in reviewed tijdschriften.
4.2	Potentie (effecten, kosten, optimalisatie) van ontziltng en hergebruik van afvalwater om het LT zoetwateraanbod op peil te houden. Wat zijn daarbij de milieu en andere consequenties, hoe	Proefopstelling Memstill gereed rapportage haalbaarheid watertechnologie eindrapportage	
<b>WP</b>	<b>projectbeschrijving</b>	<b>deliverable</b>	<b>omschrijving deliverable</b>
5.1, 5.2, 5.3	In werkpakket 5 zullen de mogelijke oplossingsstrategieën: waterbeheer, landgebruik, technologie etc. ook bezien worden vanuit hoe goed ze overweg kunnen met onzekerheid. De begrippen robuustheid, veerkracht en flexibiliteit van maatregelen worden praktisch inzichtelijk gemaakt door kosten, effecten en aanpasbaarheid uit te zetten	Notitie, basisbegrippen en 'giding principles' Classificatie strategieën en maatregelen zoetwatervoorziening workshop met DP ZMW - gidsprincipes Scientific papers	Definiëring van de gezigde begrippen in het onderzoek en van giding principes voor maatregelen/strategieën aansluitend bij DP. Dit begrippen- en conceptuele kader zal gebruikt worden in alle projecten binnen het programma, bovenal de cases De in het onderzoek onderzochte maatregelen en binnen de hotspot voorziene strategieën worden geclassificeerd en 'getoetst' volgens eigen kader, inclusief beschrijving van best practices Tenminste 3, in reviewed tijdschriften

WP	projectbeschrijving	deliverable	omschrijving deliverable
6.1	<p>Richt zich op de case de 'Groene Ruggegraat' die min of meer de Biesbosch verbindt met het Lussemeer gebied. De 'Groene Ruggegraat' doorkruist het Veenweide gebied en maakt onderdeel uit van de nationale Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Doel van het project is het in beeld brengen van de zoetwater opgave die hoort bij verschillende strategieën voor een klimaatbestendig landgebruik (natuur, landbouw, stad/recreatie) en zoetwatervoorziening in het gebied met de best beschikbare kengetallen en modellen die beschikbaar zijn. Dit beeld over de toekomstige zoetwateropgave (vraag en aanbod) wordt geschetst in samenhang met andere beleidsopgaven die er liggen in deze regio. Daarnaast richt deze case zich ook op waterkwaliteit van de Rotte en Rottermeren. Inbreng uit 3.3, 2.1 en 5.2.</p>	<p>rapportage Rotte en Rottermeren</p> <p>kansenkaart</p> <p>eindrapportage zoetwater opgaven</p>	<p>Rapport dat beschrijft:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Ruimtelijk kaartmateriaal/output (SOBEK) over het verloop van chloride concentraties in de boezem van Schieland onder verschillende waterbeheer- en KNMI klimaatscenario's voor representatieve zomers 2003 en 2006.</li> <li>o kwalitatieve analyse wat fluctuerende verzilting/verzoeting met licht-brak water betekent voor de fenologie van macrofyten, fytoplankton en KRW doelstellingen en hiermee ook een perspectief op strategie 'meebewegen'.</li> <li>o Aanbeveling hoe de regionale watervraag (inlaat) in de toekomst beter ingeschat zou kunnen worden met regionaal en landelijk modelinstrumentarium.</li> <li>o De haalbaarheid van de KRW Doelstellingen is ook als vraag geformuleerd door Rijnland en is tevens bekeken door HVD1 voor de Friese Water Systemen; dit kan een mogelijke integrale deliverable worden in de vorm van een brochure voor STOWA.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De haalbaarheid van de integrale maatregelenpakketten willen we ruimtelijk schetsen voor de Groene Ruggegraat door het maken van 'kanskaarten'. Deze kunnen bijvoorbeeld door de relevante provincies gebruikt worden bij de ontwikkeling van functie faciliteringskaarten.</li> <li>• Een rapport dat beschrijft: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Inventarisatie van mogelijke afwentelingsmechanismen tussen regionale watersystemen in het laagveen gebied en de droogmakerijen.</li> <li>o Beschrijving van clusters van maatregelen in waterbeheer en ruimtegebruik van perspectief 'Weerstand bieden' naar het perspectief 'Meebewegen' voor Haarlemmer meer polder en Veenweide gebied Gouw Wierick/Zegveld/Boskoop.</li> <li>o FAQ's en overzichtstabel over zekerheden en onzekerheden over de lange termijn zoetwatervoorziening in Midden-west Nederland ten behoeve van regionaal waterbeheer, natuurbeheer en landbouw</li> <li>o Mogelijke toepassingen van verdiepende kennis uit onderzoek van de promovendi uit KVK thema 2 voor waterschappen, natuurbeheerders, provincies, deltaprogramma en kerninfrastructuur (NH/Delta model)</li> <li>o Aanbevelingen voor regionale adaptatiestrategie</li> </ul> </li> </ul>
6.2	<p>Richt zich op de zelfvoorzienendheid van de regio Haaglanden met de nadruk op de toekomstige beschikbaarheid van voldoende gietwater voor de omvangrijke tuinbouwsector. Mogelijke regionale en lokale adaptatieoplossingen (denk aan(ondergrondse)</p>	<p>matching watervraag en –aanbod + aanbod alternatieven (probleemanalyse)</p> <p>eindrapportage potentie van maatregelen</p> <p>eindrapportage alternatieve verwerking restproducten</p>	
6.3	<p>Is gesplitst in een 2-tal subprojecten. In het eerste subproject gaat het om de watervoorziening van Zuidbeveland waarbij zowel naar grootschalige wateropslag als lokale optimalisatie op bedrijfsniveau wordt gekeken. Het laatste is onderdeel van de wateroptimaliseringsplannen (WOP) die door de ZLTO worden uitgevoerd. Grootschalige opslag</p>	<p>memo opzet WOP's</p> <p>overzicht innovatieve opslag</p> <p>eindrapportage WOP</p> <p>Probleemanalyse Tholen-West Brabant (0-situatie, toetsingskader)</p> <p>Gebieds grond-oppenvlaktewater model</p> <p>eindrapportage</p>	<p>Een kort rapport over opzet WOP's en de rol van KVK.</p> <p>Een bondig overzicht van potentiële innovatieve mogelijkheden voor opslag (kennis waterbesparing in het proces zit bij ZLTO)</p> <p>eindrapport WOP's, inclusief een inventarisatie (en projectplan) van mogelijke pilots</p>





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

## Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E [office@kennisvoorklimaat.nl](mailto:office@kennisvoorklimaat.nl)

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E [info@kennisvoorklimaat.nl](mailto:info@kennisvoorklimaat.nl)

[www.kennisvoorklimaat.nl](http://www.kennisvoorklimaat.nl)