

2007-U-R01023/A

**Inventarisatie van effecten van
klimaatverandering op fysiek systeem
Hoogheemraadschap van Delfland**

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 47 50
F 030 256 48 55
info-BenO@tno.nl

Datum	3 oktober 2007
Auteur(s)	R. van Ek (TNO) J. Heemstra (GeoDelft) M. Hoogvliet (TNO) J. Icke (WL Delft Hydraulics) R. van der Krogt (TNO) J. Kwadijk (WL Delft Hydraulics) G. de Lange (TNO) E. van Leeuwen (WL Delft Hydraulics) G. Oude Essink (TNO) A. van der Spek (TNO) R. Stuurman (TNO)
Opdrachtgever	Hoogheemraadschap van Delfland
Penvoerder namens Deltares i.o.	TNO Bouw en Ondergrond, BU Bodem en Grondwater
Projectnummer TNO	034.79176
Aantal pagina's	117 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Goedgekeurd door	Dr. J.C. Gehrels

Samenvatting

Aanleiding

Het beheersgebied van Delfland wordt zeer intensief gebruikt. Het ruimtegebrek voor water is momenteel reeds problematisch, waardoor maatregelen (moeten) worden genomen. Klimaatverandering zal naar verwachting voor een verdere complicatie van dit probleem zorgen. Het bestuur en technisch kader van het Hoogheemraadschap van Delfland wenst dan ook meer zicht te krijgen op de mogelijke effecten van klimaatverandering op het watersysteem. Deze informatie is noodzakelijk om richting te kunnen geven aan kennisontwikkeling en maatregelen die Delfland nog klimaatbestendiger maken en houden. Om voor dit stuk kennisontwikkeling een basis te leggen is Deltares (i.o.) gevraagd te inventariseren welke klimaateffecten naar verwachting van invloed zijn op het fysieke systeem (oppervlaktewater, grondwater, bodem) van Delfland.

Doel van de studie

Het primaire doel van deze studie was het op basis van bestaande literatuur en expert kennis zo uitputtend mogelijk inventariseren van de effecten van klimaatverandering op het fysieke systeem. De nadruk is daarbij gelegd op effecten die van invloed kunnen zijn op de taken van Delfland. De studie is een opstap naar het ontwikkelen van strategieën waarmee op klimaatverandering kan worden geanticipeerd.

De uitkomst van de studie bestaat uit een zo uitputtend mogelijke lijst van effecten. Dit sluit echter niet uit dat door voortschrijdend inzicht in de toekomst nieuwe effecten aan de lijst kunnen worden toegevoegd. De beoordeling van effecten is veelal gebaseerd op expert kennis. De subjectieve inschatting van de experts speelt dus een rol in de conclusies.

Aanpak

Het brede en inventariserende karakter van deze studie vroeg om een procesmatige aanpak en de betrokkenheid van een grote groep experts. Voor elk te behandelen thema is passende expertise geleverd. In het project zijn achtereenvolgens de volgende stappen doorlopen:

1. Vaststellen onderzoekskader en uitgangspunten
2. Quicksan van effecten
3. Werkoverleggen met experts van het hoogheemraadschap (kennisuitwisseling)
4. Terugkoppeling van bevindingen met (bestuurlijke) klankbordgroep hoogheemraadschap

Gedurende de volledige doorlooptijd van het project zijn effecten beoordeeld en is gerapporteerd. Na iedere terugkoppeling binnen het team van experts en met Delfland is de rapportage op iteratieve wijze verder aangevuld en afgestemd op de ontstane inzichten.

Gebruik van klimaatscenario's

In deze studie zijn niet systematisch de kwantitatieve effecten van de momenteel in omloop zijnde klimaatscenario's onderzocht. Er is wel gebruik gemaakt van de 'klimaattrends' die in de KNMI'06 scenario's tot uiting komen. In tegenstelling tot de kwantitatieve invulling van deze trends, zal het karakter van de trends bij herziening

van de scenario's naar verwachting niet veel veranderen. De uitkomsten van onderliggende studie zijn daarmee slechts in geringe mate afhankelijk van de cijfers in de actuele scenario's. Er is rekening gehouden met het optreden van de volgende klimaattrends:

- Stijging van de zeespiegel (zeer waarschijnlijk)
- Toename van de temperatuur (zeer waarschijnlijk)
- Afname van aantal dagen met vorst (zeer waarschijnlijk)
- Toename van verdamping in de zomer (zeer waarschijnlijk)
- Toename van aantal hittegolven (zeer waarschijnlijk)
- Toename van de neerslag in de winter (waarschijnlijk)
- Afname van sneeuwval in de winter (zeer waarschijnlijk)
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer (waarschijnlijk)
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien (waarschijnlijk)
- Toenemen van windsnelheid gedurende stormen (fifty – fifty)
- Verandering van windrichting/patronen (fifty – fifty)

Omdat de studie alleen was gericht op de relatie tussen klimaatverandering en het fysieke systeem, zijn geen sociaaleconomische scenario's in de analyse betrokken.

Afstemming op taken

Om de beoordeling van de effecten te structureren en af te stemmen op de doelgroep van het rapport, is besloten om de effecten op het hoogste niveau niet te ordenen op klimaatvariabelen, maar op de kerntaken van het hoogheemraadschap:

- Waterkering en veiligheid
- Waterbeheer
- Waterkwaliteit
- Grondwater
- Bodem

Hoewel 'grondwater' en de 'bodem' (nog) niet tot het takenpakket van het hoogheemraadschap behoren, zijn deze wel van indirect belang voor de overige taken en daarom meegenomen in de studie.

Geïnterpreteerde effecten

Bijlage A bevat een samenvattende overzichtstabel waarin alle effecten op taak zijn geordend. In de tabel wordt tevens aangeduid welke klimaattrends het effect veroorzaken, met welke waarschijnlijkheid de klimaattrends zullen optreden, waar het effect zich naar verwachting zal voordoen en hoe met het effect kan worden omgegaan. Daarbij zijn mogelijke acties onderscheiden:

- *Beheren*
De functieondersteuning/taak wordt niet ernstig aangetast, functiewijziging is vanuit het waterbeheer dus niet aan de orde, maatregelen passen binnen het reguliere (operationele) beheer.
- *Studeren*
over het effect is meer kennis gewenst om risico van het effect beter te kunnen bepalen; monitoren ('vinger aan de pols'), onderzoek opstarten of participeren in onderzoeksprogramma's en projecten.

- *Agenderen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, formuleren van oplossingsrichtingen noodzakelijk, afhankelijkheden van of verantwoordelijkheden richting externen zoals rijk, provincie en andere waterschappen worden acties geagendeerd.
- *Anticiperen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, er moeten keuzen worden gemaakt voor de te hanteren strategie, wordt het ruimtereservering, functieaanpassing, verregaande technische maatregelen, acceptatie, of een combinatie?

Effecten die voor Delfland prioriteit verdienen, en suggesties voor te ondernemen acties, zijn:

Afname van de kadestabiliteit (toename kans op deformaties in zowel extreem natte als droge perioden)

- beheren → monitoren, lokaal ingrijpen;
- studeren → fundamenteel: proceskennis / praktisch: 'best management practice' (ervaring delen);
- agenderen → initiëren/participeren in onderzoek; discussie over maatregelen;
- anticiperen → strategiediscussie, ruimtereservering, meedraaien in gebiedsontwikkeling.

Toename stedelijke wateroverlast (toename kans water op straat; grondwateroverlast)

- beheren → ontwerp en operationeel beheer t.b.v. huidige functies;
- studeren → verbeteren systeem (bijvoorbeeld 'toeritdosering'), identificeren van alternatieve oplossingen neerslagafvoer (oplossen bovengronds); proeftuin opzetten;
- agenderen → discussie over gangbare en innovatieve oplossingsrichtingen (bijvoorbeeld fijnmazige controle oplossingen (slimme kolken), retentie, acceptatie);
- anticiperen → gekozen oplossingsrichting vertalen in maatregelen ter plaatse van actuele knelpunten en werken aan oplossingen voor verwachte knelpunten; discussie over stimuleren van innovatieve methoden neerslagafvoer en berging.

Toename wateroverlast en droogte in landelijk gebied (toename kans hoge waterstanden in watergangen; verdrassing; periodiek zeer hoge of lage grondwaterstanden)

- beheren → optimaliseren huidig peilbeheer op polder en boezemniveau, (voormalen, inlaatstrategieën);
- studeren → ontwikkelen maatregelanalyse op basis van kosten en baten; uitbreiding GGOR met extremen (waterbalansen extreme scenario's); identificeren van oplossingsrichtingen en concrete maatregelen;
- agenderen → participatie in discussie over risicoanalyses van Rijk en Provincie (ernst effecten versus taken/ambitie); discussie over GGOR en functiewijziging in relatie tot klimaatverandering, functiehoudbaarheidsdiscussie voeren;

- anticiperen → keuze maken voor strategie en methodieken; meedraaien in gebiedsontwikkeling.

Afname waterkwaliteit (verschillende effecten door temperatuurverhoging, verzilting en droogte)

- studeren → onderzoek naar omvang van effecten (opstellen waterbalansen voor extreme scenario's); onderzoek naar door functies benodigde minimale waterkwaliteit;
- agenderen → verhogen (minimaal veilig stellen) van aanvoer goed water; functiehoudbaarheidsdiscussie;
- anticiperen → meedraaien in gebiedsontwikkeling.

Ruimtelijke ontwikkelingen, klimaatveranderingen en waterbeheer

Waterbeheer richt zich op het zo goed mogelijk ondersteunen van ruimtelijke functies in een gebied. Traditioneel ging het daarbij hoofdzakelijk om het handhaven van bestaande functies. Functiewijziging waren veelal het gevolg van ruimtelijke ontwikkelingen die losstonden van het watersysteem. Dit beeld is de laatste jaren aan het veranderen en zal versterkt worden door de verwachte klimaatveranderingen. Mogelijk komen de beperkingen van de functieondersteuning vanuit het watersysteem in zicht, waardoor de waterbeheerder, meer dan vroeger, participant zal worden in de discussie over de 'ondersteunbaarheid' van functies en functiewijziging. De waterbeheerder speelt dus een pro-actieve rol waarbij een betere aansluiting van het waterbeheer bij ruimtelijke ontwikkelingsprocessen noodzakelijk is. Daarbij kunnen een aantal sporen worden gevolgd.

1) *Verdiepen ondersteunende rol* door:

- Initiatief bij het verder ontwikkelen van (innovatieve) technische oplossingen.
- verfijning van ontwerpmethoden en operationeel beheer.
- verdere ontwikkeling van goede indicatoren voor kosten, baten en functionele consequenties.

2) *Versterken anticiperende rol*

Bij het anticiperen is het zaak de vraag naar de ruimte vanuit de verschillende sectoren met elkaar in overeenstemming te brengen, rekening houdend met het feit dat maatregelen die worden genomen om de klimaatbestendigheid van de ene sector te vergroten, gevolgen kunnen hebben voor andere sectoren. Klimaatbestendig maken is geen doel op zich, maar een voorwaarde voor economische groei en kwaliteit van leven. De anticiperende rol kan worden versterkt door:

- opbouwen van een visie op het terrein van 'functieondersteunbaarheid';
- identificeren van kennisleemten en participeren of initiëren van onderzoek;
- identificeren van niet-conventionele oplossingsrichtingen;
- vaststellen van strategieën (keuze oplossingsrichtingen);
- beïnvloeding ruimtelijk beleid (gericht op (innovatieve) integratie van water in beleidsvelden);
- inbreng in RO-discussie verscherpen door ontwikkeling strategische visie en participeren in RO processen, zoals gebiedsontwikkeling.

Vormgeven van adaptief waterbeheer

Beleid voor adaptatie aan klimaatveranderingen staat nog in de kinderschoenen. Het Nationaal Bestuursakkoord Water kan als de eerste fase worden gezien om tot dergelijk beleid te komen, omdat bij het ontwerp en aanpassing van watersystemen een nieuw element wordt geïntroduceerd: rekening houden met toekomstige veranderingen in de natuurlijke randvoorwaarden. Uitgangspunt hierbij zijn de drie toekomstscenario's: het WB21-laag, -midden en -hoog scenario. Mede door het gebruik van juist deze scenario's is wateroverlast het centrale thema geworden. Weliswaar zouden er ook drogere zomers gaan voorkomen, maar het belang hiervan werd minder relevant geacht. Omdat alle scenario's op kortere termijn dezelfde richting aangeven werd vaak van het midden scenario uitgegaan. Met de komst van de nieuwe KNMI 2006 scenario's is dit beeld echter veranderd. Het uitbrengen van de KNMI'06 scenario's leidt dan ook tot een aantal overwegingen voor het waterbeheer:

1. Niet alleen wateroverlast, maar ook beheer gedurende droge perioden moet geëvalueerd worden.
2. Het is niet meer zo dat er één scenario bestaat dat voor alle ontwikkelingen als een midden scenario kan dienen.
3. Ondanks dat de KNMI'06 scenario's andere getallen laten zien dan de WB21 scenario's kan wel worden opgemerkt dat de trend naar een grotere variatie in toekomstige weersomstandigheden in beide scenario generaties wordt voorzien. De KNMI'06 scenario's leiden alleen tot een nog grotere variatie dan eerder gedacht.
4. Gezien de grote onzekerheden in klimaatverandering, is het zeer waarschijnlijk dat de volgende generatie van klimaatscenario's weer anders zal zijn dan de huidige.

Om adaptatiebeleid voor Delfland te formuleren zijn verschillende uitgangspunten te hanteren:

1. Uitgaande van de taken van Delfland.
2. Uitgaande van de functies/sectoren die in het beheersgebied een rol spelen.
3. Uitgaande van de ruimtelijke inrichting van het beheersgebied.

In dit rapport ligt de nadruk op een benadering vanuit de taken van Delfland. De effecteninventarisatie laat zien dat uiteenlopende mogelijke veranderingen in het klimaat relevant zijn. Dit leidt tot de conclusie dat er niet één scenario is dat als een centrale schatting kan dienen. Daarom moet per taak worden geanalyseerd op welke aspecten die het meest gevoelig/kwetsbaar is voor de uiteenlopende veranderende klimaatomstandigheden en welke gevolgen te verwachten zijn.

In de praktijk betekent dit dat de trend die is ingezet met waterbeheer 21^e eeuw en het NBW zal moeten worden voortgezet. In die zin zal het waterbeheer ook in de toekomst bij de bepaling van een strategie moeten uitgaan van scenario's in plaats van alleen uitgaan van de huidige (historische) omstandigheden. Een tekortkoming van de tot nu toe gevolgde aanpak is dat (te) snel één van de scenario's (midden) als meest waarschijnlijk toekomstbeeld is omarmd. Consistent beleid is meer dan één scenario nemen als uitgangspunt. Welk scenario wordt gevolgd heeft veel te maken met het inschatten van de (beleids)risico's die worden gelopen als het gevolgde scenario niet de werkelijkheid zal worden.

Het adaptatiebeleid zou dus eigenlijk gebaseerd moeten zijn op een visie over hoe wij met klimaatverandering omgaan die tamelijk onafhankelijk is van nieuwe scenario's. Het voordeel hiervan is dat het beleid gemakkelijker kan anticiperen op nieuwe scenario's. Eventuele beleidsaanpassingen worden naar voren of naar achteren gezet afhankelijk of de veranderingen in de loop van de tijd sneller dan wel langzamer blijken te gaan. Bij het veranderen van de scenario's kunnen al dan niet beleidsaanpassingen beter beargumenteerd worden en is het gemakkelijker een zichtbaar consistent beleid te voeren. Er bestaat (nog) geen kant-en-klaar recept voor een dergelijk adaptatiebeleid. Wel kunnen op basis van de huidige inzichten op voorhand een viertal elementen worden genoemd waarmee bij het vormgeven van adaptatiebeleid kan worden gewerkt:

1) Worst case analyse

Houdt onderzoeksmatig rekening met zeer grote veranderingen

2) Tijdshorizon

Houdt rekening met een variërende zichttijd per taak/sector

3) Nieuwe inzichten

Bij het omgaan met nieuwe inzichten moet een evenwicht worden gevonden tussen "rust in de tent" en het tijdig bijstellen van het beleid.

4) Omgaan met nieuwe scenario's

Als nieuwe scenario's uitkomen kunnen een aantal analyses worden gemaakt:

- Onderzoek in hoeverre de klimaatscenario's onderscheidend zijn en afwijken van de historische variatie. Ga in de analyse uit van de gevolgen van de klimaatveranderingen op het watersysteem, niet van het klimaat zelf.
- In theorie zou per scenario een aantal beleidsopties moeten worden vastgesteld. Er is echter reden om aan te nemen dat het aantal klimaatscenario's in de toekomst groter zal worden. Al gauw zal het aantal mogelijkheden zo groot worden dat door het grote aantal alternatieven de keuze niet meer helder gemaakt kan worden. Verstandiger is daarom om voordat er beleidsopties worden geformuleerd eerst een *risico analyse* uit te voeren.
- In een risico analyse voorafgaande aan de formulering van beleidsalternatieven zouden de verschillende scenario's tegenover elkaar moeten worden gezet en zou moeten worden beoordeeld welk risico gelopen wordt indien uitgegaan wordt van het ene scenario terwijl het andere scenario de werkelijkheid wordt. In een dergelijke analyse wordt het onderscheid tussen de klimaatscenario's met de historische variatie geëvalueerd. Het brengt in beeld welke onderdelen van het beleid bij de nieuwe scenario's aandacht behoeven en welke niet of minder. Indien de scenario's voldoende onderscheidend zijn zal blijken dat de uitkomsten per beleidsterrein zullen verschillen. In de risicoanalyse zou op de volgende criteria moeten worden getoetst:

1. Is er risico dat beleidsdoelen niet gehaald worden.
2. Is er risico dat extra (ruimtelijke) maatregelen noodzakelijk zijn.
3. Is er risico dat er teveel beleid wordt geformuleerd.
4. Hoelang blijft het gevoerde beleid voldoen na het zichtjaar (robuust).
5. Hoe gemakkelijk kan er op termijn alternatief beleid worden geformuleerd (flexibel/geen spijt).

Van deze criteria zijn de eerste drie van belang voor de termijn van het handelingsperspectief van beleidsmakers. Vier en vijf zijn van strategische aard.

Wanneer de risico's in kaart zijn gebracht en het beleid hierop is afgestemd ontstaat beleid dat 'tegen een stootje' kan. Er hoeft niet op iedere bijstelling van klimaatscenario's te worden gereageerd. Hierbij speelt ook het verschil tussen een ontwerpberekening en de toetsing van systeemgedrag een rol. Bij een ontwerpberekening wordt altijd een bepaalde veiligheidfactor gehanteerd die maakt dat bij pessimistische aanpassing van klimaatscenario's niet direct hoeft te worden gereageerd.

Integratie en innovatie

Bij het vormgeven van een adaptatiestrategie zijn verschillende aspecten, zoals hierboven beschreven, mee te wegen. De invulling daarvan kan voor de diverse effecten verschillen vanwege de variatie in onzekerheden van de effecten en de doorwerking op het watersysteem. Hoe en in hoeverre is te anticiperen op de variatie van mogelijke effecten is een belangrijke afweging, die gezamenlijk met de verschillende overheden en overige betrokkenen is te maken.

De variatie in scenario's en effecten is nog onzeker en ook nog groot. Het is de vraag of de traditionele werkwijze in de ruimtelijke inrichting voldoende flexibiliteit in zich heeft om deze variatie op te vangen. Een verandering van de werkwijze in de planvorming lijkt daarom wenselijk. Om klimaatbestendig te zijn moet een breed spectrum van effecten kunnen worden opgevangen. Daarvoor is een meer adaptief ontwerp en inrichting van het gebied nodig.

Een grotere integratie van water bij de gebiedsontwikkeling en herstructurering is na te streven om de adaptatie met betrekking tot klimaateffecten te vergroten. Naast ruimtelijke inrichting spelen daarbij innovatie en integratie met andere beleidsdoelen een belangrijke rol.

Inhoudsopgave

1	Waarom is deze studie verricht?	11
1.1	Aanleiding.....	11
1.2	Doel van de studie.....	11
1.3	Voor wie is dit rapport bedoeld?.....	12
1.4	Leeswijzer.....	12
2	Hoe is deze studie uitgevoerd?	14
2.1	Stappenplan.....	14
2.2	Wat is het fysieke systeem?	15
2.3	Toekomst verkennen met scenario's.....	15
2.4	Het onderzoeksgebied.....	16
2.5	Evaluatie van taken en thema's.....	19
2.6	Hoe zijn effecten beoordeeld?	20
3	Hoe verandert het klimaat?	21
3.1	Achtergronden klimaatverandering	21
3.2	Reeds opgetreden klimaatverandering in Nederland	22
3.3	Klimaatverwachtingen voor Nederland	25
3.4	Welke klimaattrends zijn gebruikt in de Delfland studie?	31
4	Klimaatbestendigheid Nederland: uitkomsten Nulmeting.....	34
4.1	Begripsbepaling: klimaatbestendigheid	34
4.2	Aanpak Nulmeting	35
4.3	Resultaten van de nulmeting voor Nederland	37
4.4	Vertaling naar een nulmeting voor Delfland.....	38
5	Effecten op waterkeringen en veiligheid.....	40
5.1	Kustverdediging.....	40
5.2	Zeewering	42
5.3	Rivierdijk (Nieuwe Waterweg).....	43
5.4	Boezem- en polderkaden	45
6	Effecten op het watersysteem.....	49
6.1	Waterkwantiteit en peilbeheer	49
6.2	Wateraanvoer en droogte	50
6.3	Emissies, AWZI's en riooloverstorten.....	52
6.4	Waterkwaliteit en aquatische ecologie.....	54
6.5	Waterkwaliteit en landbouw	59
6.6	Waterbodems	60
7	Effecten op het grondwater.....	63
7.1	Landelijk gebied	66
7.2	Stedelijk gebied.....	69
7.3	Verzilting (zoet-brak-zout)	72
8	Effecten op de bodem	76
8.1	Bodemwaterkwaliteit	76
8.2	Bodemdaling en -stabiliteit.....	77

9	Ruimtelijke ontwikkelingen en waterbeheer	83
9.1	Inzichtelijk maken van wisselwerking tussen ruimtelijke inrichting en klimaat	84
9.2	Karteren van aandachtsgebieden klimaatthema's in relatie tot gebiedsfuncties	88
9.3	Klimaat en waterbeheer op de RO-agenda	90
10	Vormgeven van klimaatadaptatie in waterbeheer	93
10.1	Achtergrond	93
10.2	Uitgangspunten bij formulering van adaptatiebeleid	94
10.3	Invulling van het "geen spijt" begrip	95
10.4	Wat betekent dit in de praktijk.....	98
11	Invulling klimaatdossier Delfland	103
11.1	Gesignaleerde effecten en aanbevolen acties.....	103
11.2	Kennishiaten	105
11.3	Onderzoeksprogramma's en projecten	107
12	Referenties	109

Bijlage(n)

A Overzicht geïnventariseerde effecten

1 Waarom is deze studie verricht?

1.1 Aanleiding

Het beheersgebied van Delfland wordt zeer intensief gebruikt. Ruimtelijke ontwikkelingen zoals de uitbreiding van kassencomplexen en de oprukkende bebouwing zijn als gevolg van het toenemende verharde oppervlak oorzaken van wateroverlast. Water wordt snel afgevoerd en de bergingscapaciteit in het gebied staat onder druk. Het ruimtegebrek voor water is momenteel reeds problematisch, waardoor maatregelen (moeten) worden genomen. Klimaatverandering zal naar verwachting voor een verdere complicatie van dit probleem zorgen.

De toename van de kans op wateroverlast is niet het enige effect dat klimaatverandering met zich meebrengt. Er zijn vele effecten denkbaar. Het bestuur en technisch kader van het Hoogheemraadschap van Delfland wenst dan ook meer zicht te krijgen op de mogelijke effecten van klimaatverandering op het watersysteem. Deze informatie is noodzakelijk om richting te kunnen geven aan kennisontwikkeling en maatregelen die Delfland nog klimaatbestendiger maken en houden.

Om voor dit stuk kennisontwikkeling een basis te leggen heeft het Hoogheemraadschap van Delfland de in Deltares (in oprichting) verenigde onderzoeksinstituten GeoDelft, TNO en WL Delft Hydraulics gevraagd te inventariseren welke klimaateffecten naar verwachting van invloed zijn op het fysieke systeem van Delfland.

1.2 Doel van de studie

Het primaire doel van deze studie was het op basis van bestaande literatuur en expert kennis zo uitputtend mogelijk inventariseren van de effecten van klimaatverandering op het fysieke systeem van Delfland. De nadruk is daarbij gelegd op effecten die van invloed kunnen zijn op de taken van Delfland. Inzet was om de gebiedsdeskundigheid m.b.t. klimaatverandering en de daardoor beïnvloede mechanismen in het fysieke systeem, te vergroten.

De studie vormt één van de uitgangspunten voor het invullen van het klimaatdossier van Delfland. De resultaten van de studie zijn bruikbaar om:

- Een strategie op te stellen voor de wijze waarop Delfland op klimaatverandering kan anticiperen.
- Kennishiaten te identificeren en sturing te geven aan onderzoeksvragen en vervolgprojecten.
- Onderzoeksprogramma's te identificeren waarbij aansluiting moet worden gezocht.
- Problemen te signaleren die ook bovenregionaal (grensoverschrijdend) spelen, een bovenregionale oorzaak hebben of alleen op bovenregionaal niveau kunnen worden opgelost.
- Effecten te agenderen in regionale of bovenregionale gremia.
- Effecten te identificeren die op korte of langere termijn zullen vragen om aanpassingen in het beleid, bestuurlijke besluitvorming of directie acties.

- Richting te geven aan het formuleren van adaptatiemaatregelen.

De studie levert een zo uitputtend mogelijke lijst van effecten. Dit sluit echter niet uit dat door voortschrijdend inzicht nieuwe effecten aan de lijst kunnen worden toegevoegd.

1.3 Voor wie is dit rapport bedoeld?

Dit rapport is geschreven voor een brede doelgroep. Voor technici en inhoudelijk specialisten zijn de effecten per thema of taakveld beschreven. De onderliggende mechanismen worden toegelicht voor zover ze voor Delfland van belang worden geacht. Deze beschrijving is op hoofdlijnen, wat in overeenstemming is met het inventariserende karakter van de studie. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de literatuur.

Voor de lezer met een bestuurlijke focus, zet het rapport de effecten af tegen de opgaven (taken) van Delfland. Er wordt aangegeven welke effecten aanvullend onderzoek verdienen, welke moeten worden geagendeerd of waarop moet worden geanticipeerd.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe de studie is uitgevoerd, aan de hand van het stappenplan en de gehanteerde uitgangspunten en randvoorwaarden.

Hoofdstuk 3 beschrijft de klimaatverandering die Nederland te wachten staat en hoe deze is gebruikt in de studie.

Eén van de onderliggers van dit rapport is het ARK rapport 'Klimaatbestendigheid van Nederland: Nulmeting' (Kwadijk et al, 2006). Hoofdstuk 4 schetst de uitkomsten van deze nulmeting en beschrijft hoe de uitkomsten naar Delfland kunnen worden vertaald.

In de hoofdstukken 5 t/m 8 zijn de effecten beschreven aan de hand van het takenpakket van het hoogheemraadschap. Aan iedere taak is een hoofdstuk gewijd.

In hoofdstuk 9 wordt ingaan op ruimtelijke ontwikkelingen en ruimtelijke functies, die net als klimaatverandering invloed hebben op de fysieke omgeving. De invloed van deze ontwikkelingen kan erg groot zijn en interfereren met de invloed van klimaatverandering. Door het aanstippen van deze wisselwerking kunnen de effecten van klimaatverandering in een objectiever perspectief worden geplaatst.

Als bekend is welke effecten kunnen worden verwacht, is het vervolgens van belang adaptatiestrategieën te ontwikkelen. In hoofdstuk 10 wordt een aanzet gegeven tot dit 'adaptieve' waterbeheer. Relevante aandachtspunten en overwegingen passeren in dit hoofdstuk de revue. De hoofdstukken 9 en 10 bevatten geen kant-en-klaar recept voor de inrichting van adaptief waterbeheer. De hoofdstukken zijn bedoeld om de huidige inzichten te schetsen en het denkproces over de vormgeving van adaptief waterbeheer bij het hoogheemraadschap te voeden.

Hoofdstuk 11 beschrijft startpunten en mogelijk belangrijke elementen voor het klimaatdossier van Delfland.

Bijlage A bevat een overzichtstabel waarin alle geïnventariseerde effecten per taak van het hoogheemraadschap zijn vermeld, samen met een aanduiding van de klimaatrends die de effecten veroorzaken en een indicatie van het belang dat Delfland aan het effect kan toekennen.

Ten slotte, bij het lezen van het rapport moet in het oog worden gehouden dat de opdracht bestond uit het zo uitputtend mogelijk inventariseren van denkbare effecten. De implicatie hiervan is dat lang niet alle effecten die worden genoemd even waarschijnlijk zijn of in gelijke mate van belang zijn voor Delfland. Bij de rapportage is ervoor gekozen om effecten waarvoor wordt verondersteld dat zij van minder belang zijn, minder uit te diepen. De beoordeling van effecten is veelal gebaseerd op expert kennis. De subjectieve inschatting van deze experts speelt dus een rol in de conclusies.

2 Hoe is deze studie uitgevoerd?

2.1 Stappenplan

Het brede en inventariserende karakter van deze studie vroeg om een procesmatige aanpak en de betrokkenheid van een grote groep experts. Het projectteam van Deltares bestond uit 12 experts van de instituten TNO, GeoDelft en WL Delft Hydraulics. Voor elk te behandelen thema is vanuit de instituten passende expertise geleverd. In het team is vakinhoudelijke kennis, kennis van het werkveld van waterschappen en kennis van klimaatverandering/adaptatie samengebracht. De technische en bestuurlijke inbreng van het Hoogheemraadschap van Delfland is ingebracht door gezamenlijke werkoverleggen en een sessie met een bestuurlijke/ambtelijke klankbordgroep.

In het project zijn achtereenvolgens de volgende stappen doorlopen:

1) Vaststellen onderzoekskader

Over klimaatverandering en de effecten daarvan kan breed worden uitgewijd. Om richting te geven aan de studie was het noodzakelijk om een kader te stellen. Er is onder andere afgebakend hoe, welke klimaatscenario's worden gebruikt en voor welke thema's/werkvelden naar mogelijke effecten wordt gekeken. Op deze aspecten wordt in de paragrafen 2.2 t/m 2.5 nader ingegaan.

2) Quickscan van effecten

In eerste instantie is door de experts een puntsgewijze inventarisatie van effecten uitgevoerd op basis van parate kennis en literatuur. Dit resulteerde in verschillende lijsten van mogelijke effecten en een beknopte beschrijving van de achterliggende mechanismen.

3) Werkoverleggen

In werkoverleggen hebben experts van Deltares en Delfland de lijsten van effecten bediscussieerd, gewijzigd en aangevuld. Door de combinatie van inhoudelijke kennis vanuit Deltares en gebiedskennis van Delfland kwam uit de discussies tevens naar voren welke effecten van meer of minder belang (zullen) zijn voor het gebied en de taken van het hoogheemraadschap. Gezien de veelheid van mogelijke effecten zijn twee werkoverleggen gehouden. In het eerste overleg lag de nadruk op waterkeringen, veiligheid, oppervlaktewaterbeheer en waterkwaliteit. In het tweede overleg stonden bodem en grondwater centraal.

4) Sessie bestuurlijke/ambtelijke klankbordgroep

Om te borgen dat de inhoud van het rapport ook bruikbaar is voor bestuurlijke toepassingen, vond halverwege het project een bestuurlijk ijkmoment plaats. De tussentijdse resultaten van de studie zijn op dat moment gepresenteerd aan bestuurders en vertegenwoordigers van Delfland, waarna is gediscussieerd over de bestuurlijke gevolgtrekking van deze resultaten.

5) Rapportage

Gedurende het project is doorlopend gerapporteerd door de experts. Na iedere terugkoppeling binnen het team van experts en met Delfland is de rapportage op iteratieve wijze verder aangevuld en afgestemd op de ontstane inzichten.

2.2 Wat is het fysieke systeem?

De studie is beperkt tot het inventariseren van effecten op 'het fysieke systeem'. Onder het fysieke systeem wordt het bodem- en (grond)watersysteem verstaan, de 'ondergrondlaag' uit de Lagenbenadering van de Nota Ruimte (waterbeheer, waterkeringen, waterkwaliteit, bodemgesteldheid en stabiliteit, grondwater enz.). Andere sectoren zijn geheel niet in de studie betrokken (mobiliteit, energie, economie), of zijn alleen indirect belicht in relatie tot een specifiek water- of bodemthema.

Gezien de druk die op het beheersgebied van Delfland wordt uitgeoefend door ruimtelijke ontwikkelingen (verstedelijking, glastuinbouw e.d.) en het belang van deze ontwikkelingen voor het bestuur, is hieraan een apart hoofdstuk gewijd (hoofdstuk 9). Daarin staat de driehoeksverhouding tussen klimaatverandering, effecten op het fysieke systeem en ruimtelijke ontwikkelingen centraal.

2.3 Toekomst verkennen met scenario's

Als er ontwikkelingen over een zeer lange termijn, zoals 50 jaar of meer, moeten worden geschetst, dan is er doorgaans sprake van grote onzekerheden. Deze onzekerheden kunnen inzichtelijk worden gemaakt door scenario's te ontwikkelen die alle even waarschijnlijk zijn, maar tot verschillende toekomstbeelden leiden. Ook voor klimaatverandering zijn dergelijke scenario's opgesteld.

Het KNMI heeft voor het rapport Advies Commissie Waterbeheer 21^{ste} eeuw (WB21) een drietal scenario's uitgewerkt (KNMI, 2001). Volgens het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) moeten waterschappen bij de inrichting van hun watersystemen ten minste uitgaan van de volgens het zogenaamde middenscenario in de toekomst te verwachten neerslaghoeveelheden. Het NBW gaf daarmee het WB21-middenscenario een speciale status in het Nederlandse waterbeheer. Op 30 mei 2006 zijn nieuwe KNMI klimaatscenario's (de 'KNMI'06 scenario's') gepubliceerd (KNMI, 2006). Deze verbeterde scenario's vervangen de scenario's die zijn opgesteld voor WB21¹.

De KNMI'06 scenario's zijn samengesteld op basis van de meest recente resultaten van het klimaatonderzoek. De klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van de range waarbinnen het toekomstige klimaat zich hoogstwaarschijnlijk zal bewegen. Zij gaan uit van natuurlijke klimaatschommelingen in de 21e eeuw, die niet beduidend groter zullen uitvallen dan waargenomen in de laatste honderd jaar. De klimaatscenario's zijn bedoeld om verkennende studies uit te voeren naar de effecten van klimaatverandering. Ze bieden voor diverse sectoren in Nederland de mogelijkheid beleid te formuleren (anticiperen, adapteren). De KNMI'06 scenario's vormen op het moment van schrijven de basis voor de klimaatverachtingen voor Nederland (zie paragraaf 3.3).

¹ In een recente studie is een inventarisatie wordt gemaakt van de overeenkomsten en verschillen tussen de effecten van de WB21 en KNMI'06 klimaatscenario's (Vuren van et al., 2007). In deze studie is bovendien een verkenning gemaakt van de mogelijke consequenties van de KNMI'06 klimaatscenario's per beleidsthema in het waterbeheer.

In deze studie zijn niet systematisch de kwantitatieve effecten van de 4 verschillende KNMI'06 scenario's onderzocht. Dit zou in een vervolgstap kunnen worden gedaan, op basis van de in deze studie geïdentificeerde effectmechanismen. Er is wel gebruik gemaakt van de 'klimaattrends' die in de KNMI'06 scenario's tot uiting komen. Deze worden in de paragraaf 3.4 beschreven. In tegenstelling tot de kwantitatieve invulling van deze trends (bijv. +1 graad temperatuurstijging of 35cm zeespiegelstijging), zal het karakter van de trends bij herziening van de scenario's naar verwachting niet veel veranderen². De uitkomsten van onderliggende studie zijn daarmee slechts in geringe mate afhankelijk van de cijfers in de actuele scenario's.

Omdat de studie was gericht op de relatie tussen klimaatverandering en het fysieke systeem, zijn geen sociaaleconomische scenario's in de analyse betrokken. Er is echter wel degelijk een sterke wisselwerking tussen maatschappelijke en economische ontwikkelingen, klimaatverandering, waterbeheer en het fysieke systeem. In een verdiepend vervolgonderzoek naar de kwantitatieve klimaateffecten in Delfland, zou daarom gebruik kunnen worden gemaakt van klimaatscenario's in combinatie met bijvoorbeeld de socio-economische scenario's die door de diverse planbureaus zijn opgesteld (CPB, 2004; CPB, MNP en RPB, 2006).

2.4 Het onderzoeksgebied

De studie richt zich op het volledige beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Delfland.



Figuur 2.1: Beheersgebied Hoogheemraadschap van Delfland (bron: www.hhdelfland.nl)

² Een onverkomelijke eigenschap van scenario's is dat zij gebaseerd zijn op kennis en modellen die door voortschrijdend inzicht aan verandering onderhevig zijn. Er zullen dan ook voortdurend nieuwe scenario's worden ontwikkeld, die uiteenlopende verwachtingen laten zien voor zaken als de hoeveelheid neerslag, temperatuurverandering en zeespiegelstijging.

Het beheersgebied heeft geen homogene karakteristieken. Onder andere op basis van ligging t.o.v. zee en rivier, bodemgebruik, bodemtype, maaiveldhoogte en watersysteem kunnen verschillende gebiedstypen worden onderscheiden. Omdat de effecten van klimaatverandering per gebiedstype kunnen verschillen, verdient het aanbeveling om deze waar mogelijk of gewenst, gebiedspecifiek inzichtelijk te maken. Op die manier kan worden bepaald in welk gebied de kleinste of grootste effecten zullen optreden. Daarmee wordt tegelijkertijd een op het niveau van het gehele beheersgebied zekere bandbreedte verkregen voor de te verwachten effecten. Deze bandbreedte draagt bij aan het beantwoorden van vragen over de grootte van risico's.

In overleg met Delfland is het beheersgebied op hoofdlijnen in een aantal karakteristieke eenheden verdeeld waarbinnen min of meer homogene effecten kunnen worden verwacht. Verschillen in fysisch geografische kenmerken en waterbeheerkenmerken zijn hierbij leidend geweest. Om de effectbeschrijving te faciliteren is gekozen voor twee gebiedsindelingen: op landgebruik en op de combinatie van ondergrond/grondwater/waterbeheer kenmerken. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de onderscheiden gebiedstypen. De figuren 2.2 en 2.3 tonen de ligging van de gebieden.

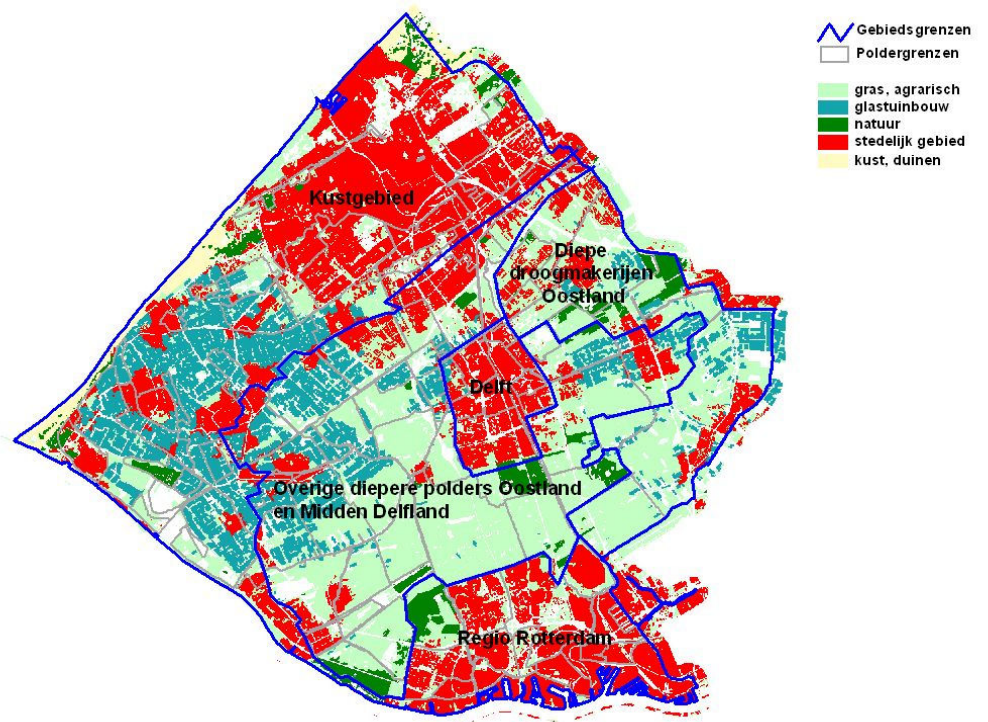
In de effectbeschrijving is afhankelijk van wat het meest bruikbaar is voor één van deze twee gebiedsindelingen gekozen, of voor een combinatie van beide. Er zijn overigens ook veel effecten die in geheel Delfland kunnen optreden.

Tabel 2.1: Onderscheiden gebiedstypen

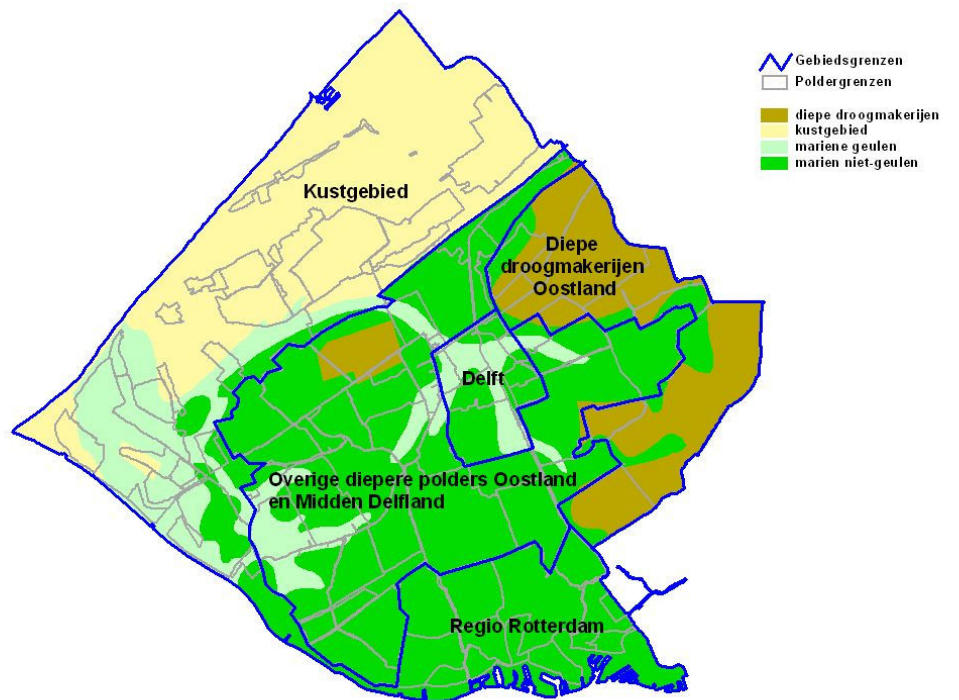
Landgebruik	Ondergrond/grondwater/waterbeheer
Glastuinbouw	Delft
Landbouw	Diepe droogmakerijen Oostland
Natuur	Overige polders Oostland en Midden Delfland
Stedelijk gebied	Kustgebied (evt. gesplitst in Haaglanden en Westland)
	Regio Rotterdam

De gebiedsindeling naar landgebruik is fragmentarisch. De gebiedsindeling naar ondergrond/grondwater/waterbeheer kenmerken is verwerkt in 5 à 6 (wanneer het kustgebied wordt gesplitst in Haaglanden en Westland) duidelijk afgebakende gebieden.

Voor sommige effecten is ook het onderscheiden van de zone langs de Nieuwe Waterweg als een apart gebiedstype van belang.



Figuur 2.2: Indeling van Delfland op landgebruik en op ondergrond/grondwater/waterbeheer.



Figuur 2.3: Indeling van Delfland op ondergrond/grondwater/waterbeheer kenmerken.

2.5 Evaluatie van taken en thema's

Om de beoordeling van de effecten te structureren en af te stemmen op de doelgroep van het rapport, is besloten om de effecten op het hoogste niveau niet te ordenen op klimaatvariabelen, maar op de kerntaken van het hoogheemraadschap. Tabel 2.2 geeft weer wat de kerntaken van het hoogheemraadschap zijn en welke werkvelden/thema's daarbinnen voor deze studie zijn onderscheiden.

Tabel 2.2: Onderverdeling van effecten naar taken en thema's ('bodem' behoort niet tot het takenpakket van het hoogheemraadschap maar is wel van indirect belang voor de taken)

Taken	Thema's / werkvelden
Waterkering en veiligheid	Kustverdediging Zeekering Rivierdijk (Nieuwe Waterweg) Boezem- en polderkaden
<i>Watersysteem</i>	
Waterbeheer	Peilbeheer (e.g. overlast) Wateraanvoer (e.g. droogte)
Waterkwaliteit	Emissies, AWZI, riooloverstorten Aquatische ecologie, land-/glastuinbouw Waterbodems
Grondwater	Landelijk gebied Stedelijk gebied Verzilting

Bodem	Bodemwaterkwaliteit Bodemdaling, bodemstabiliteit

Aan elk thema is een deskundige gekoppeld die de mogelijke effecten voor dat thema heeft geïdentificeerd, beoordeeld en beschreven.

2.6 Hoe zijn effecten beoordeeld?

Bij de inventarisatie en beoordeling van de effecten zijn de volgende stappen doorlopen:

1. *Analyseren van het fysieke systeem en de daarvan voor elk thema relevante kenmerken.*
2. *Per thema/werkveld bepalen van de klimaatrends die voor effecten kunnen zorgen.*
3. *Identificeren van effecten en beschrijven van de daarmee samenhangende mechanismen.*

Er is beredeneerd wat er bij de voorziene klimaatverandering gaat gebeuren in (de verschillende gebiedsdelen van) Delfland. Niet elk effect is even uitgebreid uitgewerkt. Inzet was om zoveel mogelijk effecten te signaleren, maar alleen de effecten 'die er echt toe doen' wat uitgebreider te beschrijven. Er is in de tijd gekeken naar de tijdshorizonten 2050 en 2100 én er is gelet kritieke punten³.

4. *Zo mogelijk bepalen van het relatieve belang van een effect.*
Het belang van een effect is afhankelijk van de kans dat een veroorzakende klimaatfactor optreedt (zie paragraaf 3.4) en het risico (kans x gevolg) van het effect. Een effect wordt tevens voor het hoogheemraadschap als organisatie belangrijker als hierdoor een formele taak niet meer (zonder extra inspanning) kan worden volbracht. Met name op dit laatste punt is in deze studie het belang van een effect gewogen.
5. *Indien van toepassing aanduiden van kennishiaten.*
Kennishiaten zijn op de eerste plaats simpelweg geïdentificeerd door het maken van de match tussen het optredende effect en de beschikbaarheid van papers, studies enz. Daarnaast is een kennishiaat aangeduid wanneer een effect voor Delfland zeer belangrijk blijkt te zijn en gebiedsgericht onderzoek wenselijk is.

³ De onzekerheden rondom klimaatverandering worden groot geacht. Groot en klein zijn echter relatieve begrippen. Om ons aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering is het vooral van belang om te weten of de veranderingen groot zijn ten opzichte van ons aanpassingsvermogen tegen een veranderend klimaat. Om adaptatiestrategieën te ontwerpen kan de problematiek dan ook van een andere kant worden benaderd, die niet afhankelijk is van actuele klimaatscenario's. Er wordt dan gezocht naar antwoord op de vraag: hoe ver moet een klimaatverandering gaan tot een moment wordt bereikt waarop (een onderdeel van) het systeem zal falen?

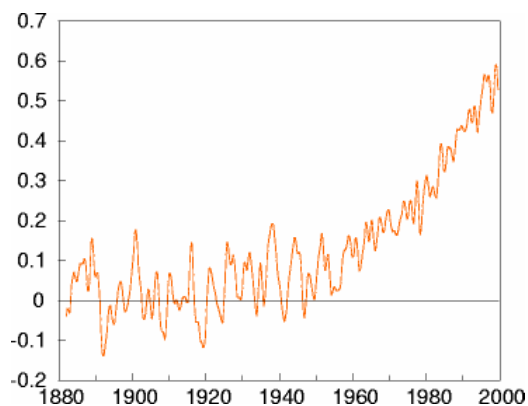
3 Hoe verandert het klimaat?

Het wordt steeds duidelijker dat het klimaat aan het veranderen is. Dit hoofdstuk beschrijft de achtergronden van de verandering, de opgetreden verandering, de mogelijke toekomstige veranderingen en de mogelijke gevolgen daarvan voor de zeespiegel, mondiaal en voor Nederland. In de afsluitende paragraaf wordt aangegeven welke klimaattrends van belang zijn voor het fysieke systeem in Delfland. Deze trends zijn gebruikt in de effectenstudie.

3.1 Achtergronden klimaatverandering

De mens heeft in de 20^e eeuw veel broeikasgassen in de atmosfeer gebracht. De concentratie van CO₂, het belangrijkste broeikasgas, is toegenomen van 280 ppm (=delen per miljoen delen lucht) vóór 1800 tot 380 ppm nu. Deze toename is vooral veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen, de productie van cement en grootschalige ontbossing. Andere menselijke activiteiten, zoals landbouw, veeteelt en gaswinning dragen ook bij tot de uitstoot van andere broeikasgassen zoals methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Luchtverontreiniging leidt via chemische reacties tot de vorming van ozon (O₃, ook een broeikasgas) nabij het aardoppervlak. Die andere gassen worden weliswaar in veel kleinere hoeveelheden in de atmosfeer gebracht, maar hebben veelal ook een veel sterker broeikaseffect dan CO₂. Het maakt niet veel uit waar de emissies plaatsvinden. Broeikasgassen mengen zich snel in de atmosfeer en verdwijnen slechts langzaam. Ze hebben een lange verblijftijd. De hogere concentraties broeikasgassen veroorzaken een versterkt broeikaseffect, dat wil zeggen dat ze bijdragen aan de toename van de gemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak (MNP, 2005a).

De mondiale gemiddelde temperatuur is sinds 1880 met circa 0,6 °C gestegen, waarbij de meeste stijging optrad in de tweede helft van de 20^e eeuw (zie figuur 3.1). De jaren 1995, 1997, 2001, 2002 en 2003 waren de warmste jaren sinds 1860 (MNP, 2005a). Uit modelberekeningen is geconcludeerd dat de opwarming in de afgelopen 30 jaar vermoedelijk vooral is veroorzaakt door de toename van broeikasgassen in de atmosfeer.



Figuur 5.1: De verandering van de gemiddelde temperatuur op aarde vanaf 1880, na correctie voor (1) variaties in zonnestraling, (2) vulkaanuitbarstingen en (3) El Niño. Bron: Website van KNMI, *Klimaat en klimaatverandering*, versie 4 juli 2007.

Waarschijnlijk zal de gemiddelde temperatuur op aarde in de 21^e eeuw nog 1,4 tot 5,8 °C toenemen. Wereldwijd gezien zal dit gepaard gaan met een toename van de hevigheid van regenbuien en een extra zeespiegelstijging die tussen de 9 en 88 cm kan bedragen (IPCC, 2001).

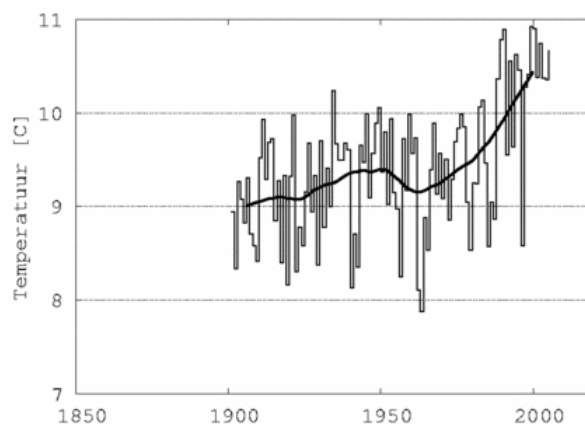
Voor Nederland heeft klimaatverandering belangrijke gevolgen. Nederland is door zijn ligging in de delta aan de kust vooral gevoelig voor stijging van de zeespiegel. Hierbij komt dat de bodem in West-Nederland daalt, hetgeen Nederland extra gevoelig maakt voor deze trend.

3.2 Reeds opgetreden klimaatverandering in Nederland

Stijging temperatuur

De temperatuur in Nederland loopt gemiddeld over perioden langer dan tien jaar grotendeels parallel met de mondiale gemiddelde temperatuur. De laatste tientallen jaren was de temperatuurstijging in Nederland groter dan circa 1,5 * het mondiale gemiddelde. Dit verschil hangt vooral samen met veranderingen in de overheersende windrichting. De wind bepaalt de temperatuurvariatie van jaar tot jaar en zelfs van dag tot dag. Zo is in de winter een oostenwind, die lucht aanvoert over land, koud en een westenwind, die lucht aanvoert over zee, zacht. In de zomer is dit precies omgekeerd. Uit welke hoek de wind waait, hangt samen met de ontwikkeling van lage en hoge drukgebieden boven de Noord-Atlantisch oceaan, de zogenaamde Noord-Atlantische Oscillatie: de wisseling in luchtdrukverschillen tussen IJsland en de Azoren. Deze is bepalend voor luchtstromingspatronen boven de Noordzee en het Europese vasteland. Deze patronen zijn niet lang van tevoren te voorspellen (MNP, 2005a).

In Nederland overheersten de koude weertypen meer tussen 1940 en 1970. De eerste 10 en laatste 30 jaar van de 20^e eeuw waren door toedoen van de wind beduidend warmer dan de wereldgemiddelde trend. In het bijzonder zijn de late winters en vroege lentes na 1980 aanmerkelijk warmer geworden door de toename van zuidwestelijke winden. Over langere perioden vervaagt de invloed van de wind, al is ze niet verwaarloosbaar (MNP, 2005a). De wereldwijde trend en de invloed van de overheersende windrichting verklaren in grote mate het in Nederland waargenomen temperatuurverloop (zie figuur 3.2).



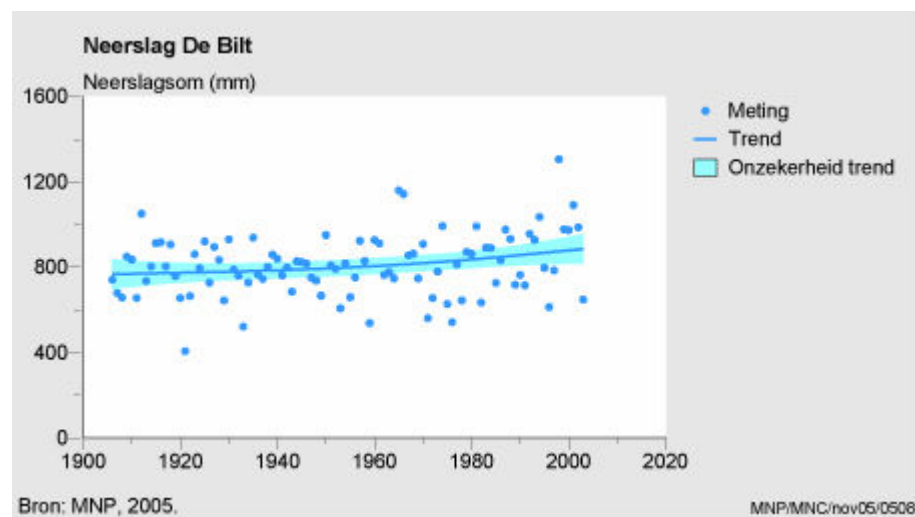
Figuur 3.2: Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005, evenals het voortschrijdend 30-jaar gemiddelde (dikke lijn). Bron: Website van KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 4 juli 2007.

De stijging van temperatuur resulteerde ook in een afname van het aantal vorstdagen en een toename van het aantal zomerse dagen, vooral na 1975. Echter, de sterke opwarming van de afgelopen decennia gaat vooral gepaard met een toename van het aantal warme dagen en in mindere mate met een afname van het aantal koude dagen (MNP, 2005a). Verder is ook de lengte van het groeiseizoen toegenomen. Deze lengte wordt bepaald door het aantal dagen per jaar dat ligt tussen de eerste periode van tenminste zes dagen met een gemiddelde temperatuur boven 5 °C en de eerste periode na 1 juli van zes dagen met een gemiddelde temperatuur onder 5 °C. Voor De Bilt was de lengte van het groeiseizoen in de periode 1961-1990 gemiddeld 269 dagen. Maar de laatste 15 jaar duurde het groeiseizoen gemiddeld 293 dagen, dus 24 dagen langer dan voorheen (MNP, 2002).

Toename neerslag

In de gematigde streken op het Noordelijk Halfrond, waartoe ook Noordwest Europa behoort, is de neerslag in de 20^e eeuw gemiddeld met 5 à 10% toegenomen. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt doordat warmere lucht meer waterdamp kan opnemen, maar ook het feit dat de luchtstroming meer westelijk is geworden speelt een rol. Verder is in Europa de hevigheid van extreme neerslag in de afgelopen 50 jaar toegenomen, evenals het aantal zeer natte dagen (met minimaal 20 mm neerslag).⁴

Ook in Nederland is de neerslag in de 20^e eeuw toegenomen. Uit een statistische trendanalyse blijkt dat het gemiddelde van de jaarsom van de neerslag in De Bilt 118 mm is toegenomen in de periode van 1906 t/m 2003 (zie figuur 3.3), een toename van 18%.



Figuur 3.3: Verloop van de jaarsom van de neerslag te De Bilt van 1906 t/m 2003, inclusief de geschatte trendlijn (en zijn betrouwbaarheidsinterval) voor het gemiddelde van deze jaarsom (MNP, 2005).

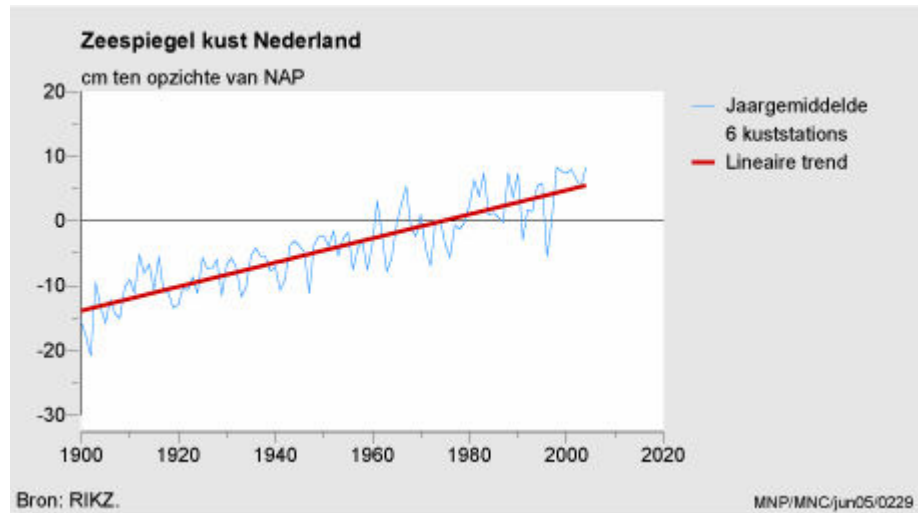
Deze toename komt voornamelijk voor rekening van de periode oktober-maart. De neerslagsom nam namelijk 26% toe in de winter, 21% in het voorjaar en 26% in de herfst, terwijl deze in de zomer nauwelijks is toegenomen (3%). In de winter nam ook de neerslaghoeveelheid in lange periodes met veel regen toe: de hoogste 10-daagse

⁴ Volgens de website van het KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 4 juli 2007.

neerslagsom per winter is sinds 1906 met 29% gestegen. In de zomer is daarentegen geen duidelijke trend in extreme neerslag vastgesteld.

Zeespiegelstijging

Door de stijging van de temperatuur op aarde is de zeespiegel voor de Nederlandse kust de afgelopen 100 jaar met circa 20 cm gestegen (zie figuur 3.4), oftewel gemiddeld met circa 0,2 cm per jaar. Dit is veroorzaakt door de stijging van de temperatuur op aarde in de afgelopen 100 jaar, die enerzijds heeft gezorgd voor het afsmelten van landijs en anderzijds voor het opwarmen en daardoor uitzetten van het oceaanaanwater.



Figuur 3.4: Verloop van de zeespiegelstand van 1900 t/m 2004, inclusief de geschatte lineaire trendlijn (MNP, 2005).

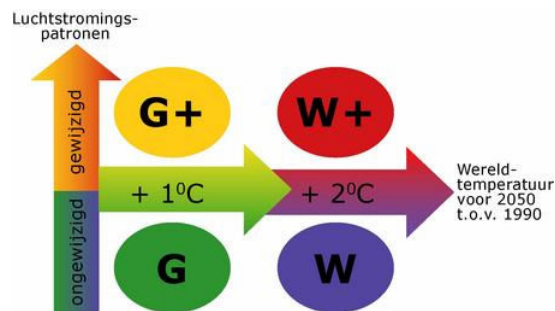
Over de periode 1993-2005 bedroeg de jaarlijkse zeespiegelstijging gemiddeld ruim 0,3cm, wat duidt op een recente versnelling. Maar het is niet uit te sluiten dat deze mede is veroorzaakt door natuurlijke schommelingen in het zeeniveau vanwege variaties in zeestromingen.

De relatieve zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust is het totale effect van zeespiegelstijging en bodemdaling. De bodemdaling in Nederland varieerde in de 20^e eeuw, afhankelijk van de plaats, gemiddeld tussen 0 en 0,4 cm per jaar.

3.3 Klimaatverwachtingen voor Nederland

In 2006 zijn door het KNMI klimaatscenario's voor Nederland gepubliceerd voor het jaar 2050, die zijn gebaseerd op de simulaties van globale klimaatmodellen voor het '4th Assessment Report' van de IPCC. Op basis van de IPCC-resultaten zijn regiospecifieke scenario's gemaakt voor de zeespiegelstijging in het oostelijke deel van de Atlantische Oceaan en voor de windsnelheden in het Noordzeegebied. Met de gemiddelde wereldwijde luchttemperatuur en de westelijke luchtcirculatie als belangrijke invoervariabelen zijn 4 verschillende klimaatscenario's voor Nederland gegenereerd. Deze scenario's leveren verwachtingen ten aanzien van neerslag, temperatuur en potentiële verdamping.

De scenario's zijn aangeduid als Gematigd, Gematigd+, Warm en Warm+ en verschillen in: (1) de mate van stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur van 1990 – 2050, namelijk hetzij 1 °C of 2 °C en (2) of er wel of geen wijziging optreedt in de luchtstromingspatronen boven West-Europa. De posities van de vier scenario's in het assenstelsel van deze twee sleutelonzekerheden zijn weergegeven in figuur 3.5.



Figuur 3.5: De posities van de vier klimaatscenario's in het assenstelsel van de twee sleutelonzekerheden (KNMI, 2006).

Samen omvatten de vier scenario's een groot deel van de mogelijke toekomst. Ze kunnen even waarschijnlijk worden geacht en zijn ook voldoende waarschijnlijk om als basis te kunnen dienen voor 'impact'-studies, die de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in beeld willen brengen.

Tabel 3.1 geeft de in de scenario's verwachte veranderingen. Deze zijn bepaald ten opzicht van het peiljaar 1990. Het klimaat in dit peiljaar is afgeleid uit weermetingen van 1976 tot 2005.

Doordat de KNMI'06-scenario's pas recent zijn gepubliceerd, zijn de meeste klimateffectstudies uitgegaan van de voorgaande klimaatscenario's van het KNMI, die in 2000 op basis van de toen beschikbare resultaten van klimaatonderzoek zijn samengesteld voor de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (KNMI, 2001). Deze zogenaamde WB21-scenario's zijn aangeduid als 'laag', 'midden' en 'hoog'. Het middenscenario gaat uit van dezelfde mondiale temperatuurstijging als het G-scenario en het G+-scenario, terwijl het hoog-scenario uitgaat van dezelfde mondiale temperatuurstijging als het W-scenario en het W+-scenario. In de WB21-scenario's is de temperatuurstijging in Nederland gelijk aan de mondiale temperatuurstijging, maar in de KNMI'06-scenario's niet. Vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen (G+ en W+) is de temperatuurstijging in Nederland groter dan de mondiale temperatuurstijging. De hevige neerslag in de winter neemt in de KNMI'06-scenario's minder toe dan in de WB21-scenario's.

Tabel 3.1: Klimaatscenario's rond 2050 voor Nederland ten opzichte van 1990 (KNMI, 2006).

2050		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	aantal natte dagen (≥0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Zomer	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen (≥0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Zeespiegel	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

In tabel 3.3 zijn de volgens de scenario's te verwachten veranderingen rond 2100 opgenomen.

De berekeningsresultaten van de vier scenario's zijn gelijk voor wat betreft de volgende kenmerken van klimaatverandering:

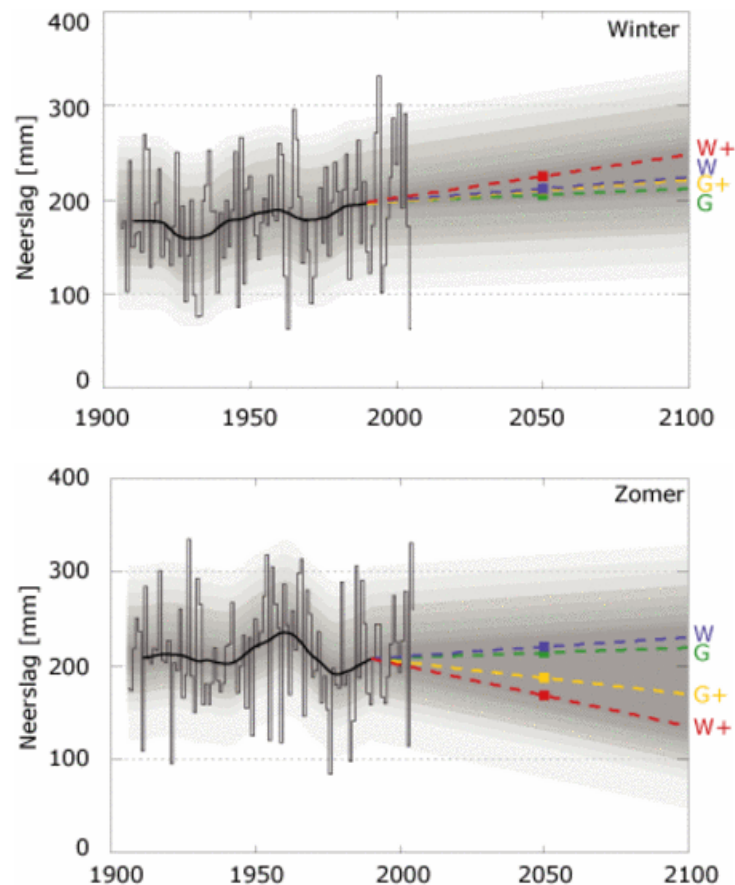
1. de opwarming zet door, waardoor zachte winters en warme zomers vaker voorkomen
2. de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe
3. de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder
4. de zeespiegel blijft stijgen
5. de rivierafvoer neemt toe.

1) Trends in winter- en zomertemperaturen

De vier scenario's tonen in 2050 een opwarming ten opzichte van het basisjaar 1990 die varieert van 0,9 °C tot 2,3 °C in de winter en van 0,9 °C tot 2,8 °C in de zomer.

2) Trends in winter- en zomerneerslag

In de scenario's zonder wijziging van de luchtstromingspatronen (G en W) neemt de neerslag zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging (zie figuur 3.6). In de scenario's mét wijziging van de luchtstromingspatronen scenario's (G+ en W+) neemt de neerslag nog meer toe in de winter (circa +7% per graad), maar juist af in de zomer (circa -10% per graad). De afname in de zomer komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. Er is dus nog veel onzekerheid of de neerslag in de zomer zal toenemen (G en W), of zal afnemen (G+ en W+).



Figuur 3.6: Winterneerslag (december-februari) en zomerneerslag (juni - augustus), van 1906 - 2005 en volgens de vier klimaatscenario's van 1990 - 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn is het voortschrijdend 30-jaarsgemiddelde van de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen (KNMI, 2006).

3) Trends in verdamping en neerslagtekort

In alle vier de scenario's neemt de potentiële verdamping⁵ toe in de zomermaanden (juni, juli en augustus). In 2050 zal deze toename liggen tussen 3% (G-scenario) en 15% (W+-scenario), ten opzichte van de situatie rond 1990.

Het neerslagtekort, gedefinieerd als de potentiële verdamping minus de neerslag, neemt in elk van de scenario's toe. De toenames lopen van 7 mm (+5%) in het G-scenario tot 76 mm (+53%) in het W+-scenario.

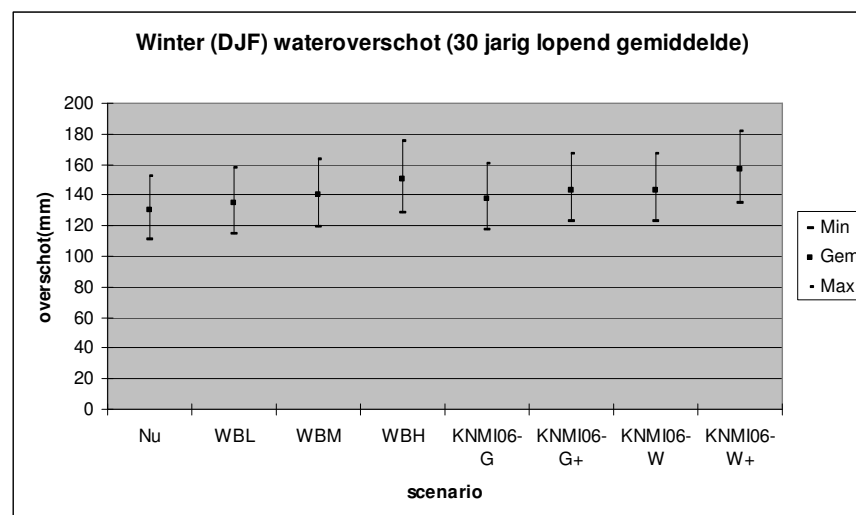
⁵ De potentiële verdamping is de verdamping bij optimale vochtvoorziening.

Tabel 3.2: Gemiddeld neerslagtekort in de periode 1906 – 2000 en mogelijk te verwachten rond 2050 volgens de vier KNMI'06-scenario's (KNMI, 2006).

1906 - 2000	G	G+	W	W+
144 mm	151 mm	179 mm	158 mm	220 mm

In de G+ en W+-scenario's is er een grotere kans op een tekort aan water in de zomer. Dit kan vooral op de hoger gelegen zandgronden leiden tot een lagere landbouwproductie. Deze scenario's hebben ook extra natte winters, waardoor vooral in het voorjaar in laag Nederland het grasland drassiger kan zijn, wat maaien of beweiden bemoeilijkt. De herhalingsstijd van een neerslagtekort zoals in 2003 (217 mm vanaf 1 april) neemt in elk scenario af ten opzichte van de huidige 9,7 jaar. In het G-scenario neemt deze af tot 7,9 jaar en in het W+-scenario tot 2,0 jaar.

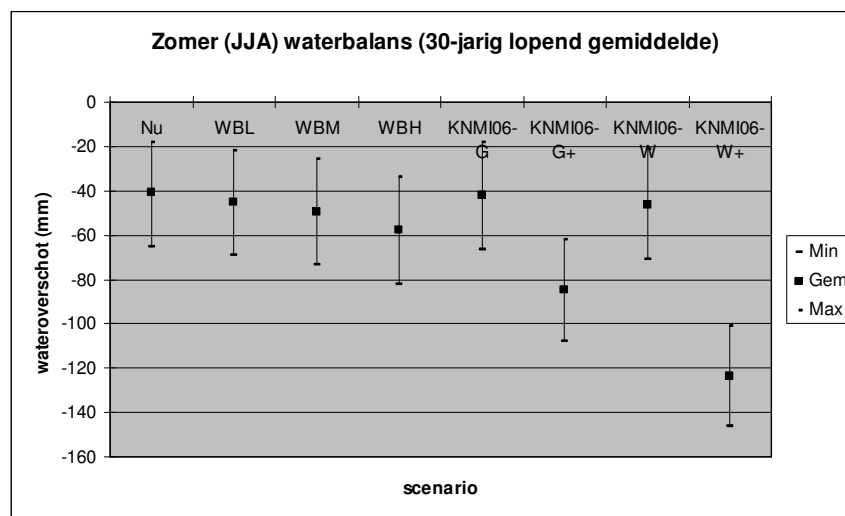
Om een indruk te geven hoe onderscheidend de scenario's zijn, is het wateroverschot in het landelijk gebied in de winter voor de verschillende scenario's in kaart gebracht. Hiertoe is voor de periode 1906-2001 voor elk jaar het wateroverschot voor de wintermaanden december-februari berekend. Deze series zijn geanalyseerd met behulp van een 30-jarig lopend gemiddelde. Van dit 30-jarig lopend gemiddelde zijn vervolgens de maximale en de minimale waarde vastgesteld. De spreiding tussen dit maximum en minimum vatten we op als de huidige natuurlijke variatie in de Nederlandse waterbalans van het landelijk gebied. Voor de periode 1906-2000 ('Nu') is deze spreiding geheel links weergegeven en ligt tussen ongeveer 150 en 110mm met een gemiddelde van 130mm. Voor elk van de scenario's is zowel de neerslagreeks als de verdampingsreeks aangepast met de gemiddelde scenario verandering. Als voorbeeld: voor WB21-midden (WBM) is voor elke wintermaand de winterneerslag in de reeks 1906-2001 verhoogd met 6% en de verdamping met 4%. Op grond hiervan is opnieuw per jaar de winter waterbalans berekend. Vervolgens is de serie met een 30-jarig lopend gemiddelde geanalyseerd en is een 30-jarig-gemiddelde, een -maximum en een -minimum vastgesteld. Deze gemiddelden, minima en maxima zijn voor elk van de scenario's in onderstaande figuur geplott.



Figuur 3.7: Spreiding in het wateroverschot gedurende de winter voor de WB21 en KNMI'06 scenario's.

Voor de zomerperiode is een vergelijkbare analyse uitgevoerd. Het potentiële watertekort in de zomer is voor de KNMI'06 scenario's vergeleken met de WB21 scenario's. Hiertoe is voor de periode 1906-2001 voor elk jaar het potentiële watertekort in de zomer berekend door het verschil te nemen tussen de totale neerslag en verdamping van de maanden juni-augustus.

Voor elk van de scenario's is zowel de neerslagreeks als de verdampingsreeks aangepast met de gemiddelde scenario verandering. Als voorbeeld: voor WB21-midden is voor elke zomermaand de neerslag in de reeks 1906-2001 verhoogd met 1% en de verdamping met 4%. Op grond hiervan is opnieuw per jaar de zomer waterbalans berekend. Vervolgens is de serie met een 30-jarig lopend gemiddelde geanalyseerd en is een 30-jarig-gemiddelde, een -maximum en een -minimum vastgesteld. De scenario's kunnen worden vergeleken door voor elk van de scenario's de 30-jarige gemiddelden en de spreiding, het 30-jarig gemiddelde minimum en maximum, te plotten.



Figuur 3.8: Spreiding in het watertekort (negatief wateroverschot) gedurende de zomer voor de WB21 en KNMI'06 scenario's.

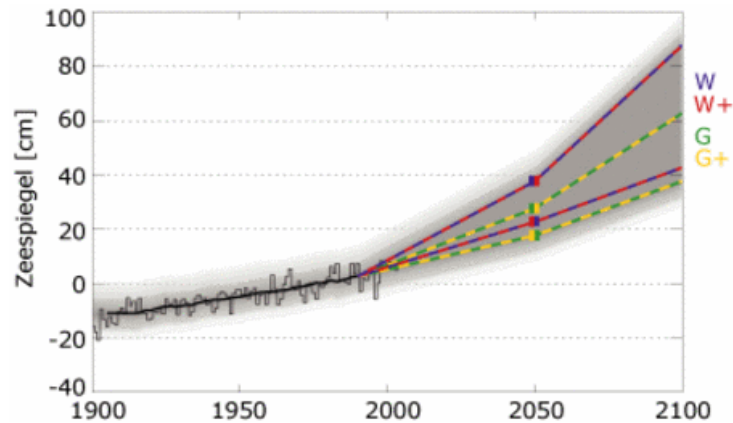
Een uitgangspunt in het Nederlandse waterbeheer is dat het goed is voorbereid op de historische variaties. Dus zolang de klimaatscenario's leiden tot veranderingen die binnen de historische variaties blijven, is te verwachten dat de veranderingen niet leiden tot zeer grote aanpassingen in het bestaande waterbeheer. Indien de veranderingen leiden tot condities buiten de historische variaties is er veel meer reden voor aandacht. Uit de twee figuren blijkt direct dat de grote veranderingen voor het waterbeheer te verwachten zijn onder de KNMI G+ en W+ scenario's. In deze scenario's zijn de veranderingen vooral in de zomer groter dan waaraan het waterbeheer gewend is.

NB. Het is overigens ook mogelijk dat de zomers minder droog zullen worden dan het KNMI in zijn scenariostudies heeft berekend. Er is namelijk geen rekening gehouden met het feit dat planten bij een hogere CO₂-concentratie van de atmosfeer efficiënter water gebruiken en daardoor minder transpireren (Witte et al., 2006).

4) Trend in zeespiegelstijging

Volgens de KNMI'06-scenario's zal rond 2050 de absolute zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust tussen de 15 en 35 cm bedragen ten opzichte van 1990 (zie figuur 3.9). Doordat oceanen traag reageren op opwarming van de lucht, zal de

zeespiegelstijging na 2050 sterker toenemen dan daarvoor. Tegen 2100 zal de stijging ergens tussen de 35 en 85 cm bedragen (zie tabel 3.3). Er is veel onzekerheid over de gevoeligheid van de zeespiegelstijging voor een verhoging van de luchttemperatuur, wat tot uiting komt in grote bandbreedtes. Het al of niet optreden van wijzigingen in de luchtstromingspatronen blijkt daarentegen geen invloed te hebben op de berekende zeespiegelstijging.



Figuur 3.9: Gemiddelde jaarlijkse zeespiegelstand [cm NAP] langs de Nederlandse kust, van 1900 - 2004 en volgens de vier klimaatscenario's van 1990 - 2100. De dikke zwarte lijn is het voortschrijdend 30-jaarsgemiddelde van de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Overgenomen van KNMI-website, Uitgebreide gegevens KNMI'06, Zeespiegel, versie 4 juli 2007.

NB. Volgens een recente Duits-Amerikaanse studie zijn de bovenvermelde voorspellingen onderschattingen en kan de zeespiegelstijging in het jaar 2100 zelfs tussen de 50 en 140 cm bedragen ten opzichte van 1990 (Rahmstorf, 2006).

5) Ontwikkeling in rivierafvoeren

De klimaatontwikkelingen betekenen een toename in de extremen van rivierafvoeren. Met de verhoging van de regenval neemt de afvoer van de Maas in de winter toe. Voor de Rijn wordt dit versterkt door de temperatuurstijging die leidt tot snellere afsmelting van de wintersneeuw in de Alpen en daarmee bijdraagt aan een verdere vergroting van de winterafvoer. In het winterhalfjaar is de afvoer toch al groot, wat betekent dat de kans op hoogwater toeneemt. Tegelijkertijd neemt de gemiddelde afvoer in de zomer af door de vergroting van de verdamping. Behalve hoogwaters zullen er ook frequentere en langere laagwaterperiodes zijn.

Om een indruk te krijgen van wat de verandering van het klimaat voor Nederland kan betekenen, kan het verwachte toekomstige klimaat in Nederland worden vergeleken met plaatsen in Europa waar dit klimaat al heerst. Tegen dergelijke vergelijkingen zijn altijd bezwaren aan te voeren. Zo is er geen geografische referentie die net zo laag ligt ten opzichte van de zeespiegel. Om de geo-ecologische context toch zoveel mogelijk vergelijkbaar te houden, zijn gebieden gekozen die laaggelegen zijn, dicht bij zee en bij voorkeur in een delta of riviervlakte. Op grond van de gemiddelde seizoensveranderingen gaat het toekomstige Nederlandse klimaat in de zomer lijken op het klimaat dat nu heerst aan de westkust van Frankrijk rond Bordeaux. De huidige winters in Bordeaux zijn wat warmer dan de verwachte winters in Nederland. Het toekomstige winterklimaat in Nederland gaat meer lijken op dat van de Po-vlakte in Noord- Italië (Milaan-Venetië) met een continentale invloed (Kwadijk et al, 2006).

Tabel 3.3: Klimaatscenario's rond 2100 voor Nederland ten opzichte van 1990 (KNMI, 2006).

2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging in 2050		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100		+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa		nee	ja	nee	ja
Winter	gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	koudste winterdag per jaar	+2,1°C	+2,9°C	+4,2°C	+5,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+7%	+14%	+14%	+28%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	0%	+2%	0%	+4%
	10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+8%	+12%	+16%	+24%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	-1%	+4%	-2%	+8%
Zomer	gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	warmste zomerdag per jaar	+2,1°C	+3,8°C	+4,2°C	+7,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-19%	+12%	-38%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-3%	-19%	-6%	-38%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+27%	+10%	+54%	+20%
	potentiële verdamping	+7%	+15%	+14%	+30%
Zeespiegel	absolute stijging	35-60 cm	35-60 cm	40-85 cm	40-85 cm

3.4 Welke klimaattrends zijn gebruikt in de Delfland studie?

Op hoofdlijnen komt klimaatverandering tot uiting in de variatie van de temperatuur, neerslaghoeveelheid en -intensiteit, veranderingen in windpatronen en zeespiegelstijging. De ligging, ondergrondkenmerken en het bodemgebruik in Delfland maken dat ál deze veranderingen relevant zijn voor het gebied.

Zoals al in paragraaf 2.3 werd aangegeven zijn voor de Delflandstudie niet de specifieke effecten van elk afzonderlijk KNMI'06 scenario onderzocht, maar is uitgegaan van de algemene klimaattrends die uit de scenario's naar voren komen. Deze trends zijn vermeld in tabel 3.4. Het Milieu- en NatuurPlanbureau heeft aan het optreden van de trends, veelal op basis van expert judgement, een waarschijnlijkheid (kans) verbonden. Dezelfde kans aanduidingen worden door het Intergovernmental

Panel on Climate Change gebruikt. De kanspercentages zijn schattingen op basis van expert judgement, rekening houdend met de meest recente stand van zaken in het klimaatonderzoek. De zichttijd van de voorspellingen is 2050 (Kwadijk et al, 2006; MNP, 2005a).

Tabel 3.4: Klimaattrends en kans van optreden (Kwadijk et al, 2006; MNP, 2005a) (* kans op basis van "verandering luchtstromingspatronen W-Europa" in KNMI'06 scenario's).

Klimaattrend	Kans optreden	Kans in %
stijging van de zeespiegel	zeer waarschijnlijk	> 90
toename van de temperatuur	zeer waarschijnlijk	> 90
afname van aantal dagen met vorst	zeer waarschijnlijk	> 90
toename van verdamping in de zomer	zeer waarschijnlijk	> 90
toename van aantal hittegolven	zeer waarschijnlijk	> 90
toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)	waarschijnlijk	66 – 90
afname van sneeuwval in de winter	zeer waarschijnlijk	> 90
afname van hoeveelheid neerslag in de zomer	waarschijnlijk	66 – 90
toename van intensiteit extreme zomerbuien	waarschijnlijk	66 – 90
toenemen van windsnelheid gedurende stormen	fifty-fifty	33 – 66
verandering van windrichting/patronen	fifty-fifty *	33 – 66

De kans van optreden is in de effecteninventarisatie gebruikt bij het komen tot een oordeel over het risico en relatieve belang van effecten.

Er zijn variabelen denkbaar die veroorzaakt worden door bovengenoemde klimaattrends, maar voor de Delfland studie eigenlijk ook de status 'oorzaak' van een effect verdienen. Voorbeelden daarvan zijn:

- toename van de oppervlaktewaterstanden en rivierafvoeren in de winter
- afname van rivierafvoeren in de zomer
- afname van de oppervlakte en grondwaterstanden in de zomer
- neerslagtoename door 'kusteffect' (relatief warm zeewater in najaar)

Deze variabelen zijn betiteld als 'indirecte klimaatvariabelen' in deze rapportage. Zij vormen een tussenstap richting de daadwerkelijke effecten op het fysieke systeem.

Ook zeespiegelstijging wordt vaak als een indirecte variabele aangeduid en niet tot de klimaatvariabelen gerekend, omdat de stijging in feite het gevolg is van de temperatuurtoename. In deze studie is zeespiegelstijging echter voor het gemak onder de verzameling van klimaattrends geschaard.

Om een beeld te geven van de variatie in het klimaat binnen Nederland heeft het KNMI de 'Klimaatatlas van Nederland' uitgebracht. In dit boek wordt het klimaat van Nederland beschreven aan de hand van langjarige gemiddelden (normalen) en extremen gemeten op KNMI-stations over het tijdvak 1971-2000. De atlas is inclusief kaarten ook te raadplegen op internet (<http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/index.html>).

4 Klimaatbestendigheid Nederland: uitkomsten Nulmeting

De ministeries van VROM, LNV, V&W en EZ en de BSIK-programma's Klimaat voor Ruimte (KvR), Leven met Water (LmW) en Habiforum/Vernieuwend Ruimtegebruik (Habiforum) zijn in 2005 gezamenlijk gestart met het geven van een impuls aan het klimaatbestendig maken van Nederland. De genoemde ministeries en Algemene Zaken (AZ) hebben, in nauwe samenwerking met de genoemde BSIK-programma's, het Nationaal Programma 'Adaptatie Ruimte en Klimaat' (ARK) geformuleerd. Het doel van het ARK is het klimaatbestendiger maken van Nederland. Dat betekent dat de Nederlandse ruimte zodanig wordt ingericht dat de effecten van klimaatverandering 'aanvaardbaar' zijn. Kernvragen die binnen het programma zullen worden beantwoord zijn:

- Wat is de aard en omvang van reeds waarneembare en te verwachten effecten van klimaatverandering voor verschillende thema's en sectoren?
- Welke ruimtelijke vraagstukken levert dat op?
- Op welke wijze kunnen deze ruimtelijke vraagstukken worden aangepakt?
- Tegen welke dilemma's (technisch, bestuurlijk, economisch, sociaal) lopen we aan bij het oplossen van deze ruimtelijke vraagstukken?

Om vragen te kunnen beantwoorden zijn de BSIK programma's een gezamenlijk traject gestart met als werknaam Routeplanner 2010-2050. Een van de deelprojecten van de routeplanner was de 'Nulmeting klimaatbestendigheid' (Kwadijk et.al., 2006). In dit deelproject is een methode ontwikkeld waarmee de mate van klimaatbestendigheid van Nederland kan worden bepaald en daarmee de behoefte aan maatregelen om gesteld te staan voor toekomstige situaties als gevolg van klimaatverandering in beeld te brengen. Verder is met behulp van deze methode een – voorlopige en grofstoffelijke – nulmeting uitgevoerd om inzicht te verschaffen over hoe het momenteel met de klimaatbestendigheid van Nederland is gesteld en wat het resultaat van adaptatiemaatregelen voor verschillende toekomstscenario's kan zijn. De resultaten van de Nulmeting zijn in dit hoofdstuk samengevat. Tevens is getracht de aanpak te vertalen naar de situatie voor Delfland.

4.1 Begripsbepaling: klimaatbestendigheid

Op de eerste plaats is in de 'Nulmeting klimaatbestendigheid' invulling gegeven aan de term klimaatbestendigheid. De term klimaatbestendigheid kan worden omschreven als:

- bestendigheid gegeven de variabiliteit van relevante klimaatsfactoren in het huidige klimaat = 'robuustheid', en
- bestendigheid tegen (een trendmatige) verandering van het klimaat over een langere periode = 'flexibiliteit'.

De twee aspecten robuustheid en flexibiliteit bepalen dus samen de klimaatbestendigheid. Ter toelichting:

1. Als een systeem/sector op dit moment al erg robuust is kan dit/deze vermoedelijk ook blijvend goed functioneren onder enigszins afwijkende klimaatsomstandigheden. Dan hoeft er verder niets te worden gedaan.

2. Is dit niet het geval, dan komt de vraag aan de orde of het systeem/de sector zo flexibel is dat dit/deze gemakkelijk en in korte tijd kan worden aangepast. Als dat het geval is kan men relatief zorgeloos achterover zitten om te kijken hoe de omstandigheden zich ontwikkelen.
3. Als geen van beide het geval is, is er alle reden om zich te bezinnen en te anticiperen: óf het systeem/de sector robuuster maken, óf klaarstaan om op te schuiven met het veranderende klimaat. In deze gevallen is sprake van (de noodzaak tot) verdere adaptatie.

De analyse in de 'Nulmeting klimaatbestendigheid' beschouwde voornamelijk directe gevolgen: lokale gevolgen die direct door het veranderen van het klimaat worden veroorzaakt. Een voorbeeld hiervan is het heviger worden van buien wat leidt tot wateroverlast in stedelijk gebied. Een voorbeeld van een indirect gevolg is dat een adaptatiestrategie van de ene sector invloed kan hebben op een andere sector. Dit speelt een belangrijke rol omdat veel adaptatiestrategieën ruimte kosten. Deze ruimte is dan nog maar beperkt bruikbaar voor andere doeleinden.

4.2 Aanpak Nulmeting

In de 'Nulmeting klimaatbestendigheid' zijn voor Nederland de volgende sectoren/onderwerpen geïdentificeerd waarvoor adaptatie aan klimaatverandering nodig zou kunnen zijn:

- veiligheid tegen overstromen
- volksgezondheid
- sommige algemene (nuts)voorzieningen (energievoorziening, drinkwatervoorziening, infrastructuur en bebouwing)
- natuur
- wateroverlast en droogte
- een aantal economische sectoren: (landbouw, transport, recreatie, verzekeringen en overige diensten en industrie).

Voor de genoemde sectoren/onderwerpen zijn in de Nulmeting de mogelijke gevolgen van klimaatveranderingen en zeespiegelstijging geschetst. Hierbij is een stapsgewijze aanpak gevolgd:

1. Bepaling van waarschijnlijkheid, snelheid en omvang van de verandering van de relevante klimaatfactoren (op grond van de klimaatscenario's);
2. Bepaling van de belangrijkste directe gevolgen; waar mogelijk wordt een maat voor hun waarschijnlijkheid gegeven.
3. Bepaling van de bestendigheid: hoe kwetsbaar/afhankelijk is de sector voor/van huidige (extreme) weerscondities
4. Bepaling van het aanpassingsvermogen van sectoren aan trendmatige veranderingen (vooral op grond van de snelheid en gemak waarmee een sector op veranderingen kan reageren als functie van bijvoorbeeld afschrijvingsduur van investeringen, flexibiliteit in aanvoerlijnen en productieproces).

Uit deze stappen volgt een oordeel over de relatieve belangrijkheid van klimaatverandering/zeespiegelstijging voor het betreffende thema.

Vervolgens is de feitelijke nulmeting uitgevoerd. Daarbij is voor alle sectoren/onderwerpen bepaald hoe robuust deze zijn, en hoe flexibel. In dat verband is kort aangegeven waar het vigerend beleid op is gericht en hoe het wordt uitgevoerd. In de tweede plaats is expliciet gemaakt in hoeverre klimaatverandering en zeespiegelstijging een plaats hebben gevonden in het beleid rond deze sectoren. De maat hiervoor is of deze klimaatfactoren herkend en erkend zijn, en of er adaptatiebeleid voor is geformuleerd, c.q. budget voor is begroot.

Ten behoeve van de beoordeling zijn de in paragraaf 4.1 geïntroduceerde begrippen ‘robuustheid’ en ‘flexibiliteit’ nader gedefinieerd:

Robuustheid van het systeem

Robuustheid is het vermogen (van een systeem) om goed te blijven functioneren onder de externe druk van de natuurlijke variabiliteit van het klimaat (bijv. droogte, extreme neerslag, storm). Robuustheid is daarmee een maat voor de ‘range’ waarbinnen het systeem ‘normaal’ blijft functioneren. Robuustheid kan worden gemeten door te kwantificeren – of kwalificeren – hoe vaak een systeem faalt, en hoe ernstig het dan faalt (als maat voor het herstelvermogen), gegeven de variabiliteit van het huidige en/of toekomstige klimaat. Als indicatoren voor het vaststellen van robuustheid worden vastgesteld:

- Kans op falen (door huidige klimaatvariabiliteit)
- Consequenties van dat falen

Flexibiliteit van het systeem

Flexibiliteit is het vermogen (de eigenschappen van) een systeem zich aan te passen aan veranderende omstandigheden. Daarbij gaat het er enerzijds om ontwikkelingen te kunnen bijhouden (voldoende snel kunnen aanpassen) en anderzijds geen spijt te krijgen van een achteraf bezien overmatige of onvoldoende aanpassing.

Aanpassingsvermogen is vooral nodig omdat omvang en tempo van klimaatverandering onzeker zijn. Flexibiliteit is dus geen systeemeigenschap op een bepaald moment, maar wordt veeleer bepaald door de beschikbaarheid van een veranderingsstrategie van een (beleids)sector c.q. een deel van de maatschappij.

Flexibiliteit kan worden gemeten door na te gaan of klimaatverandering door een bepaald beleidsterrein of sector expliciet als relevante factor is herkend, erkend en of er adaptatiebeleid is geformuleerd c.q. budget voor is begroot. Na de herkenning moet een analyse volgen van de relatieve belangrijkheid. Die relatieve belangrijkheid hangt af van de kwetsbaarheid van het systeem, de snelheid waarmee het klimaat verandert en de tijd nodig voor aanpassing van het systeem. Als (kwalitatieve) indicatoren voor het vaststellen van flexibiliteit zijn voorgesteld⁶:

- Herkenning van klimaat als belangrijke zaak
- Analyse van de relatieve belangrijkheid
- Formulering van beleid?
- Maatregelen in uitvoering?

⁶ Deze indicatoren houden nog geen rekening met de dimensie van ‘geen spijt’ ten aanzien van de omvang van de aanpassing

Uit de analyse blijkt dat de meeste aandacht dient uit te gaan naar water, en met name naar veiligheid tegen overstromen. In deze sector is er tot nu toe ook de meeste aandacht voor de mogelijke gevolgen van de klimaatverandering. Ook aan natuur wordt relatief veel aandacht besteed.

In andere sectoren is er weinig tot geen aandacht voor klimaatverandering. Nu lijken deze sectoren – binnen de marges van de verwachte klimaatveranderingen – ook tamelijk onafhankelijk van klimaatomstandigheden, of ze zijn veel afhankelijker van demografische en economische ontwikkelingen (vergrijzing, globalisering, liberalisering, privatisering, hogere comforteisen, etc.). Opgemerkt moet worden dat indirecte effecten van klimaatverandering wel grote gevolgen kunnen hebben voor deze sectoren. Hierbij kan gedacht worden aan gevolgen van klimaatverandering elders in de wereld waardoor productie van voedsel gevaar loopt of economische ontwikkelingen gehinderd worden door overstromingen of droogtes.

Dichterbij huis is een belangrijke vraag in hoeverre adaptief beleid op het gebied van water en veiligheid tegen overstromen beperkingen zal opleggen aan de activiteiten van bijvoorbeeld de sectoren infrastructuur en bouw. Dergelijke beperkingen zullen voornamelijk via de vraag naar ruimte en de invulling daarvan plaatsvinden. Andere sectoren (wonen, werken en mobiliteit) vragen in de toekomst ook meer ruimte, maar de achtergrond van deze vraag is veeleer een toenemende economische ontwikkeling, en niet een klimaatverandering.

4.4 Vertaling naar een nulmeting voor Delfland

Voor een vertaling van de nulmeting op nationale schaal naar Delfland kunnen in principe dezelfde aanpak, begripsdefinities en schaalverdelingen worden gehanteerd. Er wordt echter wel een ander, kleiner systeem beoordeeld. Dit betekent onder andere dat de sectoren en onderwerpen waarvoor klimaatverandering relevant is niet dezelfde zijn als die in de nulmeting op nationale schaal zijn beschouwd. Daarnaast moet meer rekening worden gehouden met regionaal beleid en de specifieke verantwoordelijkheden van het Hoogheemraadschap van Delfland.

Daarom is ervoor gekozen om bij de vertaling meer aan te sluiten bij de rol die het hoogheemraadschap als organisatie heeft in de regio. Er is uitgegaan van de taken die het hoogheemraadschap heeft en niet (i.t.t. de Nulmeting voor Nederland) van de sectoren/onderwerpen die in de regio Delfland spelen.

In tabel 4.2 is de methodiek van de Nulmeting toegepast op de Delflandse situatie. Bij het invullen van de tabel is voor de taken ‘waterkering’, ‘peilbeheer’ en ‘wateraanvoer’ gebruik gemaakt van de uitkomsten van de landelijke Nulmeting. Voor de taken ‘waterkwaliteit’, ‘grondwater’ en ‘bodem’ is gebruik gemaakt van parate kennis bij de experts in het projectteam over het gebied en beleid.

Tabel 4.2: Relatieve belangrijkheid van klimaatverandering voor taken van Delfland, robuustheid en flexibiliteit van het systeem waarop de taak zich richt, en de mate waarin beleid is ontwikkeld voor de rol van klimaatverandering binnen de taak.

Sector in Nulmeting Nederland	Taak waterschap	Relatieve belangrijkheid					Robuustheid					Flexibiliteit					Mate van beleids ontwikkeling				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Veiligheid tegen overstromen	Waterkering en veiligheid					X					X		X								X
Overig waterbeheer inzake wateroverlast en droogte	Peilbeheer (wateroverlast)					X					X			X							X
	Wateraanvoer (droogte)				X			X					X						X		
Niet gespecificeerd	Waterkwaliteit				X			X					X					X			
Niet gespecificeerd	Grondwater				X						X				X			X			
Niet gespecificeerd	Bodem				X						X		X					X			

5 Effecten op waterkeringen en veiligheid

5.1 Kustverdediging

In deze studie is de kustzone onderverdeeld in twee delen: de zeevering, welke bestaat uit duinen en de zeedijk langs de Nieuwe Waterweg (zie paragraaf 5.2), en de zone zeewaarts daarvan. Deze laatste zone, de kustverdediging, bestaat uit het strand en de beneden gemiddeld laagwater gelegen onderwateroever. De zone is apart beschouwd omdat effecten op de onderwateroever en het strand gevolgen hebben voor de zeevering en het achterland.

Klimaattrends die effect hebben op de kustverdediging zijn:

- Stijging van de zeespiegel
- Toenemen van windsnelheid gedurende stormen
- Verandering van windrichting/patronen

Effecten van zeespiegelstijging

- Toename gemiddelde waterdiepte, getijverschil neemt toe, hoogwater hoger
- Golven hoger en zwaarder, meer belasting kustprofiel/keringen
- Toename sedimentvraag bekkens/estuaria, versterkte erosie aangrenzende kust

Toename van de gemiddelde temperatuur op aarde leidt tot een absolute stijging van het zeeniveau. De daling van het landoppervlak door diverse oorzaken (zie paragraaf 8.2) versterkt de effecten hiervan. Het meest relevant is dus de *relatieve* zeespiegelstijging, de stijging van het gemiddeld zeeniveau ten opzichte van het land.

Stijging van het gemiddeld zeeniveau betekent een toename van de gemiddelde waterdiepte, wat leidt tot verhoging van de loopsnelheid van de getijgolf op zee waardoor de hoogwaters vroeger optreden. Tevens worden de hoogwaters gemiddeld hoger, waardoor het getijverschil toeneemt. Het gemiddeld laagwaterniveau blijft meestal min of meer gelijk. Het effect van deze veranderingen is gering.

Als gevolg van de toename van de gemiddelde waterdiepte zullen de windgolven, in het bijzonder tijdens storm, hoger en/of langer worden, waardoor het kustprofiel en de zeekeringen zwaarder worden belast. Hierop wordt reeds geanticipeerd door het periodiek bijstellen van de veiligheidrandvoorwaarden en het versterken van de zogenaamde Zwakke Schakels langs de kust.

Door stijging van het gemiddeld zeeniveau neemt op langere termijn de sedimentvraag in getijbekkens en estuaria toe, met als gevolg versterkte erosie van de aangrenzende kust. Voor Delfland is dit niet van belang, gezien het relatief kleine getijdebiet van de Nieuwe Waterweg en de havenbekkens. Bovendien sedimenteert hier vooral slib, hetgeen niet afkomstig is van de aanliggende kust. Eventuele extra erosie van de kust wordt in ieder geval gecompenseerd in het kader van de Kustlijn­zorg. Of stijging van de gemiddelde waterdiepte zal leiden tot ‘overdiepte’ en daarmee tot meer sedimentatie in de Nieuwe Waterweg is onduidelijk gezien de variatie in de afvoer van rivierwater en de baggerwerkzaamheden.

Op de zeer lange termijn, dat wil zeggen ná 2100, is een verdere stijging van het zeeniveau niet zozeer het probleem voor het handhaven van laaggelegen Nederland, waar delen van Delfland ook toe behoren, maar het tekort aan sediment. Laaggelegen kustgebieden in een natuurlijke situatie kunnen zich op langere termijn alleen handhaven als de relatieve zeespiegelstijging gecompenseerd wordt door sedimentatie. Kunstmatige ophoging van lage delen is dan ook een maatregel om de ongewenste lange-termijn gevolgen van relatieve zeespiegelstijging te bestrijden.

NB Zonder klimaatsverandering is de Nederlandse kust ook al onderhevig aan relatieve zeespiegelstijging (t.g.v. bodemdaling) waardoor de inspanning voor het reguliere kustonderhoud toe zal nemen.

Effecten van veranderingen in wind

- Wind sterker, duur langer, andere verlooprichting; effect op golfhoogte en op hoogte en duur windopzet; toename van belasting en erosie kustprofiel/kering
- Versterking stroomsnelheden en daarmee erosie
- Gemiddelde windrichtingen en windsterktes anders; effect op grootschalige sedimenthuishouding, o.a. golfwerking en verstuiwing strandzand

In de klimaatscenario's van het KNMI wordt gesteld dat de veranderingen in het windklimaat als gevolg van klimaatverandering klein zullen zijn, gezien de natuurlijke grilligheid van het windklimaat. Toch moet er rekening gehouden worden met een toename van de windsnelheden tijdens storm, en een verlenging van de periode van hogere snelheden. Bovendien zullen veranderingen in depressiebanen leiden tot een ander verloop van de windrichting tijdens storm, wat effect heeft op de groei van de golfhoogte en de hoogte en duur van de windopzet op de waterstanden, en daarmee op de stormvloedhoogten. Deze veranderingen zullen leiden tot een andere belasting van het kustprofiel en de zeeeringen.

Toename van de windsnelheden heeft tot gevolg dat de wind- en golfgedreven stromingen sterker worden, waarmee de erosie van de kust toe kan nemen.

Ook veranderingen in overheersende windrichtingen en gemiddelde windsnelheden tijdens gematigde condities zullen impact hebben op het kuststelsel. Door veranderingen in grootte en richting van de golfenergie en veranderingen in capaciteit en richting van zandtransport door wind op strand en duinen, kan de grootschalige sedimenthuishouding van de Nederlandse kust veranderen.

Aandachtspunten

Wijziging beleid kustonderhoud (Kustlijnzorg): Op dit moment zijn er geen problemen met de morfologie van de kust. Binnen het Kustlijnzorg-programma van Rijkswaterstaat wordt de positie van de maatgevende kustlijn (de zogenaamde 'momentane kustlijn') jaarlijks vergeleken met een referentiekustlijn (de 'basiskustlijn'). Bij geconstateerde overschrijding van de referentielijn wordt zand gesuppleerd in het betreffende kustvak waardoor de kustlijn weer verder zeewaarts komt te liggen. De Kustlijnzorg is een verplichting van de rijksoverheid, vastgelegd door middel van wetgeving. Het systeem blijkt buitengewoon succesvol: langs grote delen van de Nederlandse kust ontstaan nieuwe duinenrijen, opgestoven uit het gesuppleerde zand. In het kader van voorzorgsmaatregelen op een versnelde zeespiegelstijging wordt ook het kustprofiel beneden de brandingszone van extra zand voorzien.

Bij voortzetting van het huidige beleid zal klimaatsverandering niet direct grote gevolgen hebben voor het hoogheemraadschap. Echter, wijziging van het bestaande beleid kan leiden tot een geheel andere situatie. Er bestaat een zekere kans dat op termijn sommige taken richting het hoogheemraadschap worden gedelegeerd. Dat is op zich voldoende reden om beleidsontwikkelingen goed te monitoren en betrokken te blijven. Kennis van klimaatseffecten is gewenst om te kunnen anticiperen op beleidsontwikkelingen.

Bezuiniging op het jaarlijks beschikbare volume suppletiezand kan leiden tot vertragingen in het onderhoud. Als de verantwoording voor het kustonderhoud naar lagere overheden gedelegeerd wordt, ontstaat in potentie het risico van versnippering van budgetten, inspanning en methodiek, waardoor structureel onderhoud in gevaar kan komen.

Onderhoud kustplannen: Er bestaan ambitieuze plannen voor de Delflandse kust. Door met name zeewaartse verplaatsing van de kustlijn als onderdeel van deze plannen, kan het benodigde onderhoud fors toenemen. Op dit moment is niet duidelijk of een eventuele extra onderhoudsinspanning afgedekt moet worden door het Kustlijnzorgprogramma. Bovendien moet de beheerder beducht zijn op de gevolgen van zogenaamde “uitgestelde aanleg”, het bewust (te) krap dimensioneren van een ontwerp om op de aanlegkosten te besparen. Dit leidt op termijn vaak tot (voorspelbaar) extra onderhoud, dat uit het onderhoudsbudget betaald moet worden.

5.2 Zeewering

De zeewering is onder te verdelen in het duingebied en het buiten de Maeslantkering gelegen gedeelte van de Delflandse dijk. Een bijzonder punt vormt de dunne duinreep in Ter Heijde, een duin maar bijna een dijk.

Klimaattrends die effect hebben op de zeewering zijn:

- Stijging van de zeespiegel
- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van aantal hittegolven
- Toename van de neerslag in de winter
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien
- Toenemen van windsnelheid gedurende stormen

Effecten

Effecten die voornamelijk op de duinen van invloed zijn:

- Meer regen en hogere temperaturen geven verandering van de vegetatie
- Zeespiegelstijging en meer wind geeft meer duinafslag door hogere en zwaardere golven tijdens storm
- Hogere windsnelheden geven meer mobiliteit van zand (verstuiwing)
- Neerslag met hogere intensiteit geeft meer aantasting
- Hogere grondwaterstanden kunnen leiden tot vernatting van droge duinpannen en verdieping van de zoetwaterbel.

Effecten die op de zeedijk van invloed zijn:

- Stijging van zeespiegel is van belang voor de faalmechanismen overloop, overslag, binnenwaartse macrostabiliteit en theoretisch ook voor piping (de breedte van deze dijk is echter zo groot dat piping maar kleine rol speelt)
- Meer wind is van invloed op golfhoogte en daarmee op erosiebestendigheid
- Warmere en drogere omstandigheden hebben invloed op scheurvorming in bekleding waardoor de doorlatendheid toeneemt, op de grondwaterstand in de waterkering en op de binnenwaartse macrostabiliteit
- Drogere omstandigheden zijn van invloed op kwaliteit van de grasmat en daarmee op de erosiebestendigheid
- Optreden van hevige buien is van invloed op stijging van grondwaterstand in de waterkering en op binnenwaartse macrostabiliteit en op erosiebestendigheid
- Snellere val van het water betekent meer kans op grootschalige oeverinscharingen (zettingsvloeiing)

Risico's en belang

Voor zowel de zeewering als voor de rivierwaterkering en overige dijken en kades geldt dat het reserveren van ruimte voor versterking/uitbreiding een aandachtspunt is. Dit betekent dat nauw contact moet worden onderhouden met ontwikkelingen in de ruimtelijke ordening.

Kennishiaten

Fundamentele kennis van klei in de onverzadigde zone is er wel, maar in de praktijk wordt hier vaak geen gebruik van gemaakt. Daarnaast zijn gangbare rekenmodellen in Nederland geheel gebaseerd op volledig verzadigd met water verzadigde grond. In de onverzadigde zone zijn dergelijke modellen ontoereikend.

Van de invloed van extreme droogte op de afdekkende vegetatie is nog weinig bekend.

Een belangrijk effect is de kans op scheurvorming in de dijkbekleding. De huidige kennis hierover is beperkt. Scheurvorming betreft een verschijnsel op een zodanige schaal dat het alleen goed kan worden onderzocht aan de hand van grootschalige monsters. Scheuren die eenmaal zijn opgetreden kunnen zich later bij weersomstandigheden waarbij veel uitdroging optreedt op dezelfde plaats opnieuw ontwikkelen. In een worstcase scenario moet rekening worden gehouden met het aanbrengen van nieuwe bekleding van hoogwaardiger materiaal. Ook de beschikbaarheid van geschikte klei is in dat geval een zorgpunt.

5.3 Rivierdijk (Nieuwe Waterweg)

De dijk langs de Nieuwe Waterweg, aan de binnenzijde van de Maeslantkering, onderscheidt zich niet van die aan de buitenzijde van de Maeslantkering. De golfaanval is er wat minder en de hoogste waterstanden worden afgetopt wanneer de kering wordt gesloten. De optredende mechanismen zijn geheel vergelijkbaar. De zich in de dijk bevindende sluizen, uitwateringsgemalen, tunnels en leidingkruisingen maken deel uit van de waterkering.

Klimaattrends die effect hebben op de rivierdijk zijn voornamelijk:

- Stijging van de zeespiegel
- Toename van de neerslag in de winter (hogere rivierafvoer)
- Toenemen van windsnelheid gedurende stormen

Effecten

Een van de voorspelde gevolgen van klimaatsverandering is meer neerslag, met name in het winterseizoen. De kans dat hoge rivierafvoeren als gevolg van die extreme neerslag samenvallen met storm op zee, waardoor de afvoercapaciteit kleiner wordt, neemt hierdoor ook toe. Dit leidt tot langduriger hoge waterstanden langs de benedenrivieren, met de bijbehorende extra belasting van de waterkeringen.

Stijging van het gemiddeld zeeniveau leidt tot verdere landinwaartse doordringing van het getij. Hierdoor stijgen de waterstanden in het benedenrivierengebied, waardoor de dijken verhoogd moeten worden.

Andere effecten die op de rivierdijk van invloed zijn:

- Door hogere buitenwaterstanden wordt de standzekerheid ongunstig beïnvloed
- Door hogere buitenwaterstanden kunnen onderloopsheid en achterloopsheid optreden, stroming onder respectievelijk langs constructies waar de bestaande onderloopsheid- en achterloopsheidschermen niet op zijn gedimensioneerd
- Hogere grondwaterstanden hebben een ongunstige invloed op het verticaal evenwicht van diepe constructies zoals tunnelbakken
- De sterkte van de keermiddelen zelf kan bij toenemende buitenwaterstanden ontoereikend worden
- De verticale stabiliteit van de waterbodems van de toegangskanalen tot een gemaal wordt bij hoge buitenwaterstanden ongunstig beïnvloed
- Invloed op niet waterkerende elementen (bijv. kabels en leidingen)
- Stabiliteit van de Maasdijk (de secundaire rivierwaterkering) vormt een aandachtspunt (constructie, gebruik) bij heviger neerslag (korte intensieve buien)

‘Opdrijven’ is voor rivierwaterkering Delfland van minder betekenis. De bodemcondities leiden niet tot zorg op dit punt (er is een voldoende dikke deklaag).

Risico's en belang

Alle genoemde mechanismen dragen ertoe bij dat de faalkans van de waterkering toeneemt. Het functioneren en de toekomst (o.a. sluitingsbeleid) van de Maeslantkering vormen een belangrijk kader voor het beheer en onderhoud van de rivierwaterkering. Het belang voor Delfland ligt erin meer inzicht te verwerven in de grootte van de genoemde risico's en tijdig erop in te spelen.

Kennishiaten

De kennisleemte ligt in het kwantificeren van de grootte van de genoemde effecten.

5.4 Boezem- en polderkaden

In Delfland zijn drie soorten kaden te onderscheiden:

1. Compartimenteringsdijken (binnenwaterkeringen)
2. Boezemkaden
3. Polderkaden

Compartimenteringsdijken hebben als voornaamste functie in geval van een doorbraak de omvang van het geïnundeerde gebied te beperken. In Delfland betreft het de Maasdijk c.a., de oude waterkering achter de Delflandsedijk.

Boezemkaden zijn kaden die zijn opgeworpen om polders tegen water uit de boezem te beschermen. Zij zijn samengesteld uit divers materiaal.

Polderkaden zijn kaden die droogmakerijen tegen het water uit een binnenboezem moeten beschermen. Zij zijn niet gemaakt van opgeworpen materiaal, maar zijn gevormd uit niet ontgraven restmateriaal in een polder. Aangezien de droogmakerijen meestal zijn gevormd door het ontgraven van veen zijn de polderkaden meestal veenkaden.

Klimaattrends die van invloed zijn op boezem- en polderkaden zijn:

- stijging van de zeespiegel
- toename van verdamping in de zomer
- toename van hittegolven
- toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)
- afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- toename van intensiteit extreme zomerbuien
- toenemen van windsnelheid gedurende stormen
- verandering van windrichting/patronen

Een indirecte klimaatfactor die van invloed is op kaden:

- Toename van stijghoogten in watervoerend pakket door hogere zeespiegel en bodemdaling.

Effecten

Klimaatverandering heeft de volgende effecten op de kaden:

- Toename kans op deformaties in natte perioden
- In lange droge periode grotere kans op deformatie en instabiliteit door uitdroging van organische componenten (gevaar voor vervormingsverschillen in geval van uitdroging vooral in combinatie met constructies zoals keerwanden en gevaar voor hydraulische grondbreuk met als gevolg grote stijghoogte in zandpakket)
- Door hogere stijghoogten in pleistoceen zand kunnen diepere glijvlakken gaan optreden
- Toename golfaanval door toename wind
- Hogere waterstand door windopzet (windrichting, duur)

- Uitspoeling gronddeeltjes door heviger neerslag (kaden zonder erosiebescherming)

Deze effecten zijn hiernavolgend per kadetype nader gespecificeerd.

Compartimenteringdijken

Van de kering achter de Delflandsedijk zijn twee belangrijke ervaringen bekend. De Maasdijk zelf is in 2001 in het dorpje Maasdijk bezweken na zeer hevige regenval, met als meest waarschijnlijke oorzaak het overschrijden van de vloeigrens van het relatief fijne dijkmateriaal. De Maassluisdijk in de gemeente Vlaardingen had jaren te lijden van veel deformaties die deels worden toegeschreven aan hoge grondwaterstanden in de dijk en deels aan te hoge verkeersbelastingen in combinatie met een te licht gedimensioneerd weglichaam. Hoe dan ook, hoge grondwaterstanden in deze dijk hebben geleid tot grote vervormingen. Verder is de ontwatering in het tussendijks gebied in Maasdijk slecht: hevige regenval heeft hier geleid tot veel wateroverlast. Omdat de dijk niet direct kerend is, is de veiligheid als waterkering nooit in gevaar geweest. De verkeersveiligheid is dat wel. Met het toenemen van regenval zullen de risico's voor deze dijk toenemen.

Boezemkaden

Met de boezemkaden in Delfland zijn zowel in zeer natte perioden als in zeer droge perioden problemen opgetreden. In de zeer natte periode betrof het Maasland (Commandeurskade, Schipluiden (Korpershoek) en Schipluiden (Hodenpijl)). In de zeer droge periode de Woudse polder (zuidkade Zweth), de Commandeurspolder (Middenwetering), de Dorppolder (kade langs de Zijde), Vlaardingen Holyweg (Vlaardingervaart) en de Dorpskade in Wateringen.

Dat er bij deze kaden in de natte perioden problemen optraden was het gevolg van de kleine marges in de binnenwaartse macrostabiliteit, soms in combinatie met lek in de kaden en de ongunstige gevolgen van een hoge grondwaterstand in de kade op de toch al marginale stabiliteit.

De problemen werden verergerd doordat als noodmaatregel werd gecompartmenteerd. De compartimenteringsschermen maakten het afmalen van gemalen tussen de schermen onmogelijk en de normale waterafvoer werd door de schermen verhinderd. Tenslotte maakte harde wind uit de verkeerde hoek het afstromen naar het gemaal nog moeilijker. Meer neerslag en meer wind maakt in de toekomst de kans op dit probleem groter.

Dat er bij deze kaden in de droge perioden problemen optraden was het gevolg van scheurvorming door uitdroging van organische componenten in het kademateriaal na langdurige, zeer warme perioden zonder neerslag. Scheurvorming heeft in Delfland wel geleid tot lek (het meest bij de Zijde) maar niet tot doorgaande scheuren. Voor waterintrede via dergelijke scheuren en stabiliteitsverlies werd wel gevreesd maar deze zijn niet opgetreden, al traden in de Commandeurspolder (zuiden van de Middenwetering) wel aanzienlijke vervormingen op en was de draagkracht van het zompige maaiveld aan de binnenzijde miniem. Langere, warme perioden en intensieve zomerbuien zullen het risico van dit probleem zeker vergroten.

Meer wind zal leiden tot meer golven, maar slechts voor een beperkt aantal boezemkaden speelt golfaanval een rol (bijvoorbeeld voor de Vlaardingervaart).

Hevige neerslag kan leiden tot uitspoeling van gronddeeltjes (bijvoorbeeld bij de met struikgewas begroeide boezemkade Dorpskade Wateringen), maar de meeste kaden zijn voorzien van een behoorlijke erosiebestendige grasmat.

Een grotere stijghoogte in het pleistoceen zand kan betekenen dat met faalmechanismen ten aanzien van de binnenwaartse macrostabiliteit langs lange diepe glijvlakken rekening moet worden gehouden, een fenomeen dat tot nu toe in Delfland doorgaans niet maatgevend is geweest.

Polderkaden

Met de polderkaden in Delfland zijn in zeer droge perioden problemen opgetreden. Het betrof Pijnacker Noordkade, de Noordeindse weg in Berkel en de Rozendaallaan in Rodenrijs. Het betreft uitgesproken veenkaden, waarnaar in het verleden nauwelijks onderzoek is gedaan. Soms betreft het flauwe taluds (Pijnacker), soms zijn de taluds ook nog steil (Berkel en Rodenrijs). Bij deze kaden is na deformaties alarm geslagen. De oorzaak is toegeschreven aan uitdroging van het veen, het gevaar bestond naast ver voortgeschreden dwarsscheuren (Berkel), opbollend maaiveld aan de binnenzijde (Rodenrijs) en gevaar voor het fietsverkeer (Pijnacker) uit het risico dat door horizontale krimp van het veen een verbinding tussen het water uit de binnenboezem en het pleistoceen zou ontstaan, wat zou hebben geleid tot stabiliteitsverlies en inundatie. Dit risico zal met het toenemen van lange, droge zomers ook toenemen.

Polderkaden zijn lange tijd gezien als kaden van ondergeschikte betekenis, hoewel deze kaden juist de diepste delen van Delfland moeten beschermen. De zeggenschap van Delfland over deze kaden en het beheer ervan zijn altijd minimaal geweest, en de afwerking met erosiebestendig materiaal laat te wensen over. De kaden zijn bijgevolg relatief gevoelig voor erosie ten gevolge van veel regen.

Door de lage ligging van het binnendijs maaiveld en door het geringe gewicht van de kaden zal een grotere stijghoogte in het pleistoceen zand bij deze kaden nog in versterkte mate betekenen dat met faalmechanismen ten aanzien van de binnenwaartse macrostabiliteit langs lange diepe glijvlakken rekening moet worden gehouden.

Risico's en belang

De stabiliteit van kaden is voor zowel nattere als voor drogere omstandigheden gevoelig. In natte situaties betreft het een combinatie van de toename van het aandrijvend moment en de afname van het tegenwerkend moment waardoor de stabiliteit in gevaar komt. In droge situaties betreft het krimp van organische bestanddelen, waardoor de kans op lek door de kade of naar het diepe zand toeneemt. In het laatste geval kan plotseling een hoge waterspanning in de onderliggende zandlaag optreden, als gevolg waarvan het door uitdrogen lichter geworden binnentalud van een kade al opdrijvend afschuift (zoals ook in Wilnis is gebeurd).

Het belang van de stabiliteit van polderkaden wordt wegens de verandering van het achterliggende gebied van een agrarische bestemming in woongebied steeds groter. Bovendien worden ook de kaden zelf als aantrekkelijk om te wonen gezien en verhoudt het belang van Delfland in de toekomst de kaden te kunnen aanpassen zich niet met een woonbestemming.

In de binnenstad van Delft komen nauwelijks of geen boezemkaden of polderkaden voor. Er kan bij hevige regenval wel wateroverlast optreden in laaggelegen stadsdelen maar de veiligheid is dan niet in het geding.

Kennishiaten

Over het in Wilnis opgetreden mechanisme bij polderkaden is het laatste woord nog niet gezegd, maar over de invloed van droogte op boezemkaden is nog maar nauwelijks iets geschreven. Hetzelfde geldt voor de invloed van extreme neerslag op kaden. Weliswaar is getracht empirische relaties vast te stellen over de invloed van neerslag op de grondwaterstand in de kade, maar deze relaties bleken zeer inconsistent. Momenteel bestaat er nog onvoldoende kennis t.a.v. de samenstelling van kades (constructie) en mogelijke methoden voor versteviging van kadeconstructies (benodigde bekleding, taludverflauwing, ruimtereservering). Dit alles vormt een belangrijke kennishiaat.

Er is onvoldoende kennis over de samenstelling van het kademateriaal (onderzoek op zeer gedetailleerd niveau).

Ook ten aanzien van de versteviging van kadeconstructies bestaat een kennishiaat (benodigde bekleding, taludverflauwing, ruimtereservering). Met ruimtereservering is een (deel van) de oplossing voor potentiële instabiliteit te bereiken. Delfland hanteert daartoe nu al een restrictief beleid ten aanzien van het bouwen op veenkaden.

Een externe factor die naast klimaatverandering via grondwaterstanden van invloed is op kadestabiliteit is (variatie in) industriële bemaling (DSM).

De marge van stabiliteit in boezem- en polderkaden is relatief klein. Dit maakt de kaden en het gebied die door hen wordt beschermd, kwetsbaar. Kennishiaten over kadestabiliteit worden vanzelfsprekend nog belangrijker wanneer de bestemming van het achterland verandert, zoals van agrarisch gebruik in wonen.

Het kwantificeren van de beschreven effecten op de kaden is een gecompliceerde zaak en geen onderdeel van deze studie. Soms is een veronderstelde relatie zelfs nog niet goed te becijferen (zoals neerslag en stijghoogte in een dijklichaam). Het lopende research en development onderzoek gaat wel steeds meer deze kant op. In het kader van dit onderzoek wordt een zeer groot aantal kaden beschouwd, aan de hand van met fli-map gegenereerde dwarsprofielen, aan de hand van de mogelijke grondopbouw en de mogelijke variaties daarin en aan de hand van mogelijke scenario's ten aanzien van de waterspanningen (droog en nat). Daaruit worden dan weer risico's berekend. Het is mogelijk om die scenario's in het kader van de klimaatveranderingen nog wat zwaarder te maken. Vooralsnog moet echter eerst worden gezien hoe de resultaten er voor de huidige situatie uitzien.

6 Effecten op het watersysteem

6.1 Waterkwantiteit en peilbeheer

Waterbeheer houdt zich bezig met water zoals dat zichtbaar en onzichtbaar een rol speelt in de ruimtelijke ordening, het garanderen van veiligheid tegen overstromingen en bij het ondersteunen van onder meer natuur, landbouw scheepvaart en recreatie. Uiteindelijk gaat waterbeheer daarbij over het nemen van maatregelen die het functioneren van watersystemen verbeteren. De noodzaak voor verbeteren kan voortkomen uit nieuwe eisen die aan het functioneren worden gesteld en uit veranderingen in de belasting van systemen. Oorzaken kunnen zijn verandering in de gestelde doelen, klimaatverandering of ontwikkelingen in de ruimtelijke ordening.

Veranderingen in het peilbeheer zijn in principe gericht op functieondersteuning. Omdat de houdbaarheid van de huidige functies ook op termijn niet ter discussie staat om reden van klimaatverandering, zal de invloed op het operationeel beheer beperkt zijn. Concreet zal meer vanuit de schaarsheidsgedachte met het doorspoel instrument worden omgegaan: geoptimaliseerde inlaatstrategieën, verbeterde sturing van polder- en boezem gemalen (geautomatiseerd, transparant en consistent).

Het peilbeheer zal voornamelijk worden beïnvloed door de volgende klimaattrends:

- Toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien

Effecten

De toename van neerslag in het beheersgebied zal (evenals veranderingen in de investeringen in het gebied) invloed hebben op de kans op hoge waterstanden en daarmee op de hoogte van het jaarlijkse risico van wateroverlast. Beide grootheden zijn met modelberekeningen in te schatten en vragen geen acute actie. Deze maatregelen vallen onder het 'alledaagse' waterbeheer dat ook wordt toegepast bij het vaststellen van maatregelen met betrekking tot de NBW normen.

Voor stedelijk gebied zullen de maatregelen waarschijnlijk minder alledaags zijn. Door toename van neerslagpieken in de zomerperioden zal, wanneer niet wordt ingegrepen, vaker water op straat blijven staan en zullen overstortingen vanuit rioolstelsels op het open water vaker voorkomen. Deze effecten zullen op de bekende knelpunten vaker gaan optreden. Er zullen afhankelijk van de neerslagspreiding ook nieuwe en wisselende probleemlocaties optreden.

Enige winst in overstort reductie is te halen met behulp van sturing van rioolgemalen die lokaal beschikbare bergingscapaciteit kan vergroten door reductie van toestroom uit andere gebieden die minder zwaar worden belast. Water op straat kan echter niet of nauwelijks met deze techniek worden voorkomen. Lokale piekintensiteiten zijn slechts lokaal op te vangen. Het is daarbij trouwens maar de vraag of het water zo snel mogelijk in het rioleringsstelsel moet instromen. Relatief schoon water kan wellicht beter op straat worden geborgen en pas als er weer afvoercapaciteit beschikbaar is

worden afgevoerd. Opzettelijk vasthouden van water op straat (toeritdosering) zou wellicht overbelasting kunnen voorkomen.

Zeker is dat naar nieuwe concepten van neerslagafvoer (ondergrondse of bovengrondse opvang, grootschalige afkoppeling van verhard oppervlak) zal worden gezocht en dat de aloude discussie over de juiste ontwerpbuien weer zal oplaaien. Waterketenspecialisten van het waterschap zullen zich, voor zover dat al niet het geval is, in deze discussie moeten mengen waarbij ook de adaptatiemaatregel 'acceptatie' niet uit het oog moet worden verloren.

Reageren op effecten

Bij het reageren en anticiperen op veranderingen is het steeds de vraag met welke maatregelen de veranderingen moeten worden beantwoord. Belangrijk hierbij is de grootte van de verwachte verandering. Wanneer deze zodanig groot zijn dat naar verwachting niet meer aan de randvoorwaarden met betrekking tot de ondersteuning van een functie kan worden voldaan, zijn zeer ingrijpende maatregelen als functieaanpassing nodig. Hierbij gaat het dan om het participeren in de discussie over welke ruimtelijke functie in het beheersgebied moeten worden ondersteund. De verantwoordelijkheid voor deze keuze ligt uiteindelijk bij de Provincie maar een technisch inhoudelijke inbreng van het waterschap is essentieel.

Bij kleinere veranderingen moeten maatregelen worden genomen om de bestaande functie beter te ondersteunen. Dit kunnen constructieve maatregelen zijn variërend van gemaaluitbreiding tot het scheppen van extra berging, maar ook kleine aanpassingen in het operationele beheer zoals voormalen en aangepaste waterinlaatstrategieën. Bij de verwachte klimaatverandering is het van belang voor de waterbeheerder onderscheid te maken tussen deze typen ingrepen, niet alleen omdat ze een verschillende strategie vereisen maar ook omdat het verwerven van gronden voor berging en het bepalen van waterverdelingsstrategieën veel tijd vergen.

Taken en ambities worden concreet in gebiedsuitwerkingen en peilbesluiten, zo ook in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Delfland. In de gebiedsuitwerking moet duidelijk worden hoe doelen op de hogere niveaus van watersysteem en polder worden vertaald in maatregelen op het niveau van plangebieden. Het beleid en de keuzen die op de verschillende niveaus worden geformuleerd moeten natuurlijk consistent zijn. Pas dan is het gebiedsplan te verantwoorden in het licht van strategische keuzen die op hoger systeemniveau worden gemaakt.

6.2 Wateraanvoer en droogte

De Wateraanvoer Droogte wordt beïnvloed door de volgende klimaatrends:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer

Effecten

De zoetwaterbehoefte aan zoet water neemt toe als gevolg van langduriger droge periodes met hoge temperaturen. Het zoete water is nodig om tekorten aan te vullen

(peilhandhaving), om verzilting te bestrijden en om de waterkwaliteit te verbeteren door middel van doorspoeling.

Het zoete water wordt via twee routes aangevoerd naar Delfland: via de Brielse leiding uit het Brielse meer en via Leidschendam uit het Hoogheemraadschap van Rijnland. In extreem droge jaren kan het aanbod van zoet water afnemen doordat de beschikbare voorraden in het Brielse meer en bij Rijnland uitgeput raken dan wel verzilten.

Indien de droogte optreedt in het gehele stroomgebied van de Rijn en/of de Maas, dan neemt de aanvoer van zoet water via de grote rivieren ook af. De grote rivieren zijn de bron voor de zoetwatervoorziening in Nederland. Bij lage afvoeren neemt ook de verzilting van de riviermondingen toe, als gevolg van binnendringend zeewater.

Risico's

De risico's van een toename van de zoetwaterbehoefte en een afname van het aanbod van zoetwater zijn:

- Teruglopende opbrengsten in de landbouw als gevolg van gewasschade.
- Een verslechterende kwaliteit van het oppervlaktewater als gevolg van verzilting, afbraak van organisch materiaal en algengroei.

Kennishiaten

Om goed zicht te krijgen op veranderingen in de zoetwatervoorziening als gevolg van klimaatverandering is het van belang om de volgende variabelen goed te kwantificeren:

- De toekomstige zoetwaterbehoefte, in samenhang met het toekomstig landgebruik in het gebied. Bijvoorbeeld: het kassengebied stapte steeds meer over op een eigen zoetwatervoorziening (opvang regenwater, drinkwater) en een deel van de landbouwgrond krijgt de functies natuur en wonen. De behoefte aan zoet water kan daardoor per saldo gelijk blijven of zelfs afnemen.
- Anderzijds kan in extreem lange droge perioden, nadat de door tuinders in eigen beheer opgebouwde voorraad regenwater is opgebruikt, de behoefte aan oppervlaktewater voor gebruik als gietwater toenemen. Bepaald moet worden bij welk scenario deze behoefte optreedt.
- Het voorraadbeheer in het Brielse meer. De voorraad wordt aangevuld met water uit de grote rivieren. Als de afvoer van de grote rivieren voor lange tijd laag is en de Rijn-Maasmonding begint te verzilten dan komt mogelijk ook de voorraadvorming in het Brielse Meer in gevaar.
- Het aanbod vanuit Rijnland via de route 'Leidschendam'.

De essentie is dat de zoetwatervraag, het zoetwateraanbod en de voorraadvorming veranderen ten gevolge van klimaatverandering én autonome ontwikkelingen in de ruimtelijke ordening van het gebied. Geadviseerd wordt om te trachten waterbalansen op te stellen voor bijvoorbeeld 2050 en 2100 om meer inzicht te krijgen in de toekomstige waterbehoeften.

Samenhang met andere ontwikkelingen

De zoetwaterbehoefte hangt af van de functies en het landgebruik in het gebied. Autonome ontwikkelingen in het gebied kunnen ertoe leiden dat de behoefte aan zoet water afneemt, of dat andere eisen aan de kwaliteit worden gesteld (het water enigszins toestaan te verzilten).

6.3 Emissies, AWZI's en riooloverstorten

Klimaattrends die van invloed zijn op emissies van stoffen naar het oppervlaktewater zijn:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien

Klimaattrends die voornamelijk van invloed zijn op het functioneren van afvalwaterzuiveringsinstallaties en riooloverstorten zijn:

- Toename van de temperatuur
- Toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien

Effecten

Puntbronnen

De capaciteit van het ontvangende oppervlaktewater voor het ontvangen van lozingen (stoffen, koelwater) neemt mogelijk af ten gevolge van klimaatverandering. In warme, droge zomers zal de verversing van het oppervlaktewater beperkt zijn en de temperatuur van het ontvangende oppervlaktewater hoger. Wellicht dat in warme, droge zomers lozingsrestricties noodzakelijk zijn om schade aan het aquatisch ecosysteem te voorkomen (te vergelijken met de koelwaterproblematiek op de Rijkswateren).

Diffuse bronnen

De uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgronden (incl. glas-/tuinbouw) hangt samen met de weersgesteldheid: in natte jaren is de uit- en afspoeling van nutriënten hoger dan in droge jaren. Mogelijk leidt een netto verhoging van de neerslag als gevolg van klimaatverandering tot een verhoogde uit- en afspoeling van nutriënten.

Bij een hogere temperatuur verlopen de bodemprocessen die leiden tot de afbraak van stikstofverbindingen sneller, waardoor meer stikstof als stikstofgas naar de atmosfeer verdwijnt. Door de hogere temperatuur en het langere groeiseizoen nemen de gewassen meer nutriënten op uit de bodem. Het effect van een hogere temperatuur is tegengesteld aan het effect van een hogere neerslag.

AWZI's

Het aanbod van afvalwater bij de AWZI wordt onregelmatiger als gevolg van een onregelmatiger neerslagpatroon. De totale hoeveelheid afvalwater neemt ook toe als de neerslaghoeveelheid toeneemt. Het aandeel regenwater (RWA) in het afvalwater wordt groter.

Riooloverstorten

Als gevolg van hogere neerslagintensiteit treden riooloverstorten vaker in werking. Bij een toename van de hoeveelheid neerslag als gevolg van intensievere en langduriger buien neemt ook het volume overstortwater toe. Beide effecten leiden tot een grotere

belasting van het oppervlaktewater met zuurstofconsumerende stoffen. De zuurstofconcentratie daalt na afloop van overstortingen als gevolg van de afbraak van zuurstofconsumerende stoffen. Door de hogere temperatuur van het oppervlaktewater zal de afbraak van zuurstofconsumerende stoffen sneller verlopen, waardoor de zuurstofconcentratie sneller daalt. In warmer water lost bovendien minder zuurstof op.

De combinatie van bovenstaande effecten leidt ertoe dat de zuurstofconcentratie in het oppervlaktewater vaker, sneller en sterker afneemt als gevolg van overstortingen uit het rioolstelsel. Lage zuurstofconcentraties en zuurstofloosheid leiden tot vissterfte en stankoverlast.

Tijdens een overstorting uit het rioolstelsel worden niet alleen zuurstofconsumerende stoffen geloosd, maar ook nutriënten, zware metalen, organische microverontreinigingen, zwevende stof, ziekteverwekkers en toxische stoffen. Een toename van de belasting van het oppervlaktewater met deze stoffen leidt tot een versterking van de effecten die deze stoffen hebben op de waterkwaliteit en het aquatisch ecosysteem. Hogere nutriëntenconcentraties leiden tot een versterkte algengroei en daarmee tot een vertroebeling van het water en het uitblijven van waterplantengroei. Zware metalen en organische microverontreinigingen accumuleren in de waterbodem. Ziekteverwekkers en toxische stoffen zijn schadelijk voor mens en dier.

Risico's

Een risico voor AWZI's is dat het zuiveringsrendement afneemt bij een groter aanbod van RWA.

Voor riooloverstorten geldt dat de maatregelen die in het kader van de basisinspanning en het waterkwaliteitsspoor zijn getroffen, wellicht moeten worden bijgesteld.

Kennishiaten

De relatie tussen klimaatverandering en uit- en afspoeling van nutriënten uit de landbouwgronden is nog onvoldoende onderzocht. Het verdient aanbeveling om bij lange termijnonderzoek naar de effecten van het landbouwbeleid ook de effecten van klimaatverandering op de hydrologie in beschouwing te nemen.

Het effect van hogere temperaturen op het zuiveringsrendement van AWZI's is nog niet duidelijk. Door de hogere temperatuur neemt de biologische activiteit toe. De oplosbaarheid van zuurstof neemt af bij hogere temperaturen, waardoor het mogelijk meer energie kost om zuurstof in te brengen in het water.

De concentratie van zuurstofconsumerende stoffen in overstortwater worden tot op heden vaak als een constante beschouwd: een groter volume overstortwater leidt dan automatisch tot een grotere vuiluitworp. Meetgegevens wijzen echter uit dat de concentraties sterk kunnen variëren. De factoren die leiden tot die variatie zijn nog onvoldoende in beeld gebracht. Effecten van klimaatverandering op de concentraties van stoffen in het overstortwater zijn daarom lastig vast te stellen. De hogere temperaturen versnellen mogelijk ook de afbraakprocessen in het riool zelf. Bij langdurige, intensieve regenval volgt na de first flush (waarbij het riool wordt schoongespoeld) mogelijk een periode waarin het overstortwater schoner is. Het verdient aanbeveling om de samenstelling van het overstortende rioolwater te bemeten in een landelijk onderzoek (Stowa / Rioned).

Samenhang met andere ontwikkelingen

Als gevolg van het mestbeleid neemt de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten geleidelijk af. Deze afname is geleidelijk, omdat de bodem van landbouwgronden nog is opgeladen als gevolg van hogere mestgiften in het verleden.

De afvalwaterketen, bestaande uit de rioolstelsels, de AWZI's en het oppervlaktewater waarop overstortwater, effluent en neerslag geloosd worden, dient in onderlinge samenhang bekeken te worden. De berging, afvoercapaciteit en zuiveringscapaciteit van AWZI, riolering en oppervlaktewater zijn op elkaar afgestemd. De afvalwaterketen vervult bovendien meerdere functies tegelijk, die soms strijdig zijn met elkaar (inzamelen en behandelen van afvalwater versus berging en afvoer van overtollige neerslag).

Door het afkoppelen van verhard oppervlak van de riolering en het aanleggen van verbeterd gescheiden rioolstelsels wordt een groter deel van de neerslag direct op het oppervlaktewater geloosd, zonder opmenging met huishoudelijk afvalwater. Dit betekent ook dat het aanbod van RWA bij AWZI's daalt.

Bodemdaling, zetting en variatie in de grondwaterstanden als gevolg van klimaatverandering kunnen ook van invloed zijn op de fysieke conditie van het rioolstelsel (verzakking, leidingbreuk).

6.4 Waterkwaliteit en aquatische ecologie

De specifieke effecten van klimaatsverandering op de waterkwaliteit en aquatische ecologie zijn nog weinig onderzocht. Hierdoor zijn veel uitspraken hierover nog onzeker. Recentelijk is door Wetterskip Fryslan een overzicht gemaakt van de effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit (Loeve et al., 2006). Door gebruik te maken van bestaande kennis en ervaring (literatuur, ervaringen uit het verleden met extreme weerscondities) over klimaat en ecosystemen en dit te combineren met kennis over de specifieke situatie in Delfland kan – zij het speculatief - wel een verwachting worden uitgesproken over mogelijk optredende effecten.

Klimaatrends die van invloed zullen zijn op de aquatische ecologie zijn:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van aantal hittegolven
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien
- Toename van de neerslag in de winter (gemiddeld natter en toename extreme neerslaghoeveelheden)
- Afname van aantal dagen met vorst
- Stijging van de zeespiegel

Effecten

Verwachte effecten op waterkwaliteit in relatie tot aquatische ecologie zijn:

- Versterkte kwelflux naar de waterlopen in kwelgebieden. Ecologisch effect is afhankelijk van grondwatertype (brak of zoet).
- Bij extreem natte condities: verslechtering waterkwaliteit door riooloverstorten (nutriënten) en toename oppervlakkige afvoer (nutriënten, zware metalen).
- Bij extreem droge condities: verslechtering waterkwaliteit door indamping (hogere concentraties in regionaal watersysteem)
- Bij hogere temperaturen (met name in de zomer): algenbloei, O₂ tekort met als gevolg afname waterplanten (hydrofyten), vissterfte en verandering samenstelling vispopulatie.
- In stilstaande wateren: verhoogd risico op botulisme (vis- en vogelsterfte, gezondheidsrisico's).
- In niet geïsoleerde wateren: toename inlaat systeemvreemd water, met name in de zomer. Ecologisch effect is afhankelijk van type inlaatwater.
- In geïsoleerde wateren: verhoogd risico op droogval
- In veel watergangen: grotere inspanning vereist voor beheer en onderhoud door versnelde groei van waterplanten
- Verschuivingen in soortensamenstelling (binnen voedselweb).
- Opkomst exoten en plaagsoorten.

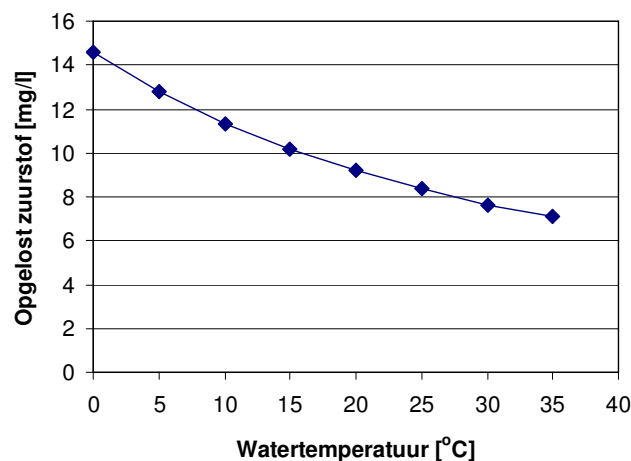
In zijn totaliteit is de verwachting dat klimaatverandering zorgt voor een verhoogd risico op verslechtering van de chemische en ecologische toestand van de waterlichamen in Delfland.

Hiernavolgend worden de effecten, onderverdeeld naar de initiërende klimaattrends, nader beschreven.

Hogere temperaturen

Hogere luchttemperaturen zullen zorgen voor een opwarming van het oppervlaktewater. Dit is inmiddels door eerdere studies bevestigd. Daarnaast is in de literatuur beschreven dat ook een verhoging van de straling leidt tot een hogere watertemperatuur (Loeve et al., 2006). Ondiepe watersystemen zullen daarbij sneller opwarmen dan diepe watersystemen waar wellicht menging mogelijk is vanuit dieper gelegen waterlagen. In diepe plassen zal een sterkere stratificatie in temperatuur ontstaan.

De hogere temperatuur is ongunstig voor vissen. Bij een hogere temperatuur kan het oppervlaktewater namelijk minder opgelost zuurstof bevatten (zie figuur 6.1).



Figuur 6.1 – Relatie opgelost zuurstof en watertemperatuur.

De hogere temperatuur zal ook leiden tot een hogere activiteit (stofwisseling) bij de vissen waardoor er juist sprake zal zijn van een grotere zuurstofbehoefte. Vissen vereisen een minimum van 6 mg opgelost zuurstof per liter water, beneden de 5 mg treedt stress op en bij minder dan 2 à 3 mg is sprake van acute vissterfte (OVB, 2002). Bepaalde vissoorten zijn beter bestand tegen zuurstofarme condities dan andere. Snoek, Voorn, Baars en Snoekbaars zijn relatief gevoelig voor een tekort aan zuurstof, terwijl Karper, Kleine modderkruiper en Zeelt relatief goed tegen weinig zuurstof kunnen. Ook de Meerval is goed bestand tegen zuurstofarm en warm water (MNP, 2005).

De hogere temperatuur zorgt er ook voor dat het oppervlaktewater gevoeliger wordt voor voedingstoffen en daarmee samenhangende algengroei. Het water zal bij eenzelfde gehalte aan voedingstoffen sneller troebel worden doordat algen sneller groeien en andere waterplanten gaan overwoekeren. Het EU SWALE⁷ project heeft hiervoor aanwijzingen gegeven. Waarschijnlijk zal versnelde algengroei ook eerder in het seizoen gaan optreden. Ook een hogere CO₂ concentratie in de atmosfeer en in het water kan, in geval andere nutriënten niet limiterend zijn, hierbij een stimulerende factor vormen.

Een bijkomende kwestie met algenbloei is de blauwalgenproblematiek. Sommige algensoorten (bijv. *Microcystis*, *Anabaena* en *Aphanizomenon*) vormen bij explosieve groei drijfvlagen waarin giftige stoffen worden geproduceerd die een probleem kunnen opleveren voor mens en dier. Door algen geproduceerde toxinen kunnen verantwoordelijk zijn voor vogelsterfte onder watervogels (bijv. eenden, ganzen, zwanen, meeuwen, etc) en zijn ook in staat de vitaliteit van vissen te verminderen via aantasting van de kieuwen. Dergelijke problemen zijn in het verleden opgetreden gedurende warme zomers in sommige oppervlaktewateren (bijv. het Volkerak-Zoommeer en de Oostvaardersplassen), maar met de klimaatverandering bestaat het risico dat dit probleem zich in meer wateren en ook frequenter gaat manifesteren. Uit de waterkwaliteitsmetingen voor Delfland blijkt dat over de periode 1994 t/m 2004 al sprake is van een toename van blauwalg (Delfland, 2004). Door de betere weerscondities in Nederland neemt de behoefte aan buitenshuis recreëren toe, waardoor meer mensen vaker last zullen hebben van de blauwalgenproblematiek

Naast algen kan ook de vorming van kroos sneller optreden waardoor geen zonlicht meer kan doordringen in het water en waterplanten gaan afsterven. De waterplanten zijn van belang voor het verhogen van het zuurstofgehalte in het water en het opnemen van voedingsstoffen uit het water. Wanneer deze planten worden overwoekerd en afsterven levert dit een extra factor op voor zuurstoftekorten. Bij afbraak van dit organisch materiaal, wat bij hogere temperaturen ook sneller kan optreden door een verhoogde bacteriologische activiteit, zal het zuurstofgehalte afnemen met risico op zuurstofloosheid.

Nattere, zachte winters

De combinatie van hogere temperaturen met meer neerslag, dan wel neerslag met een heviger intensiteit kan het probleem van een verminderde zuurstofbeschikbaarheid verergeren. Regenwater heeft namelijk een laag zuurstofgehalte. In algemene zin mag bij een hogere neerslag ook een toename van uit- en afspoeling van stoffen vanuit de bodem naar het oppervlaktewater worden verwacht. Extreme buien gaan vaak gepaard

⁷ SWALE = Shallow Wetland lake function and restoration in a changing European environment

met meer oppervlakkige afvoer waardoor stoffen op of bovenin de bodem (o.a. fosfaat en koper) in het oppervlaktewater komen. Meer neerslag in de winter betekent ook meer vernatting van de bodem en hogere grondwaterstanden waardoor de mobiliteit van fosfaat toeneemt en deze vervolgens kan uitspoelen. Voor stikstof betekent hoge grondwaterstanden een toename van de denitrificatie, wat bij hogere temperaturen ook versterkt optreedt. Mogelijk kan hierdoor de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater afnemen. Daar staat tegenover dat hogere temperaturen leiden tot een verhoogde afbraak van organisch materiaal waardoor meer organisch stikstof en koolstof beschikbaar komt. Aan opgelost organisch koolstof (DOC) kunnen zich vaak zware metalen binden die zo in het oppervlaktewater terecht komen.

Extreme buien geven ook een grotere kans op het overstromen van riooloverstorten waardoor extra vervuiling, nutriënten en slib in het oppervlaktewater terecht kan komen. Dit kan met name in de zomer leiden tot een verhoogd risico op algenbloei en zuurstoftekort.

Naast hogere grondwaterstanden kan een toename in de neerslag ook leiden tot meer grondwateraanvulling en versterking van kwelstromen. De effecten op de waterkwaliteit zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van het grondwater. Daar waar het ondiepe grondwater relatief schoon is kan dit leiden tot een verbetering van de waterkwaliteit in het oppervlaktewater (bijvoorbeeld langs de duinrand).

Door het vaker optreden van zachte winters is er een grotere kans op overleving van exoten. Deze exoten kunnen hinderlijke gevolgen hebben voor het waterbeheer. Een bekend voorbeeld van een hinderlijke exoot is de Grote Waternavel (*Hydrocotyle ranunculoides*) die kan zorgen voor het dichtgroeien van watergangen. Een ander voorbeeld is de opkomst van de giftige tropische blauwalg *Cylindrospermopsis raciborskii*. Mogelijk kunnen er meer exoten verschijnen door klimaatsverandering, maar het is lastig aan te geven welke soorten met name een probleem gaan geven in het beheersgebied van Delfland. Hoe dan ook, verwacht mag worden dat soorten uit met name de warmere gebieden de komende eeuw in opmars zullen zijn. De toename van nieuwe soorten kan ook als positief worden opgevat (toename biodiversiteit) wanneer dit verder niet gepaard gaat met negatieve effecten.

Als de soortensamenstelling in het aquatisch ecosysteem verandert door klimaatverandering, dan is het wellicht noodzakelijk om de KRW-doelstellingen en KRW-maatlatten in heroverweging te nemen.

Droge, hete zomers

De nieuwe KNMI scenario's gaan uit van het vaker optreden van droge, hete zomers. Tijdens dergelijke perioden is er een verhoogd risico op watertekorten. Door een verhoogde watervraag en de sterkere verdamping dreigen peilen in de waterlopen lager komen te staan (wat bij een stabiel peilbeheer zal moeten worden gecompenseerd door wateraanvoer van buiten het gebied). De concentraties van verschillende stoffen zullen door indamping gaan toenemen. Ook de temperatuur en de instraling op de waterbodem zullen toenemen waardoor sprake zal zijn van een verhoogde afbraak van organisch materiaal. In droge perioden zal uit- en afspoeling vanuit de percelen minder zijn, wat een positief effect kan hebben op de waterkwaliteit.

Om voor de watertekorten te compenseren is aanvoer van water nodig. Voor veel watersystemen is dit mogelijk. De vraag is wat met de kwaliteit van het in te laten water

zal gebeuren in de komende eeuw. Door de geografische ligging van Delfland is het mogelijk dat het inlaatwater in de toekomst in toenemende mate te maken krijgt met verzilting (via Haringvliet en/of brakwater via Spui in laagwater perioden). Tevens zal mogelijk minder doorspoeling kunnen plaatsvinden wanneer sprake is van waterschaarste. Ook dit zal negatieve gevolgen hebben voor de waterkwaliteit. Bij onvoldoende kwaliteit van het aangevoerde water kan de schade door inlaat van dit water groter zijn dan de schade door droogte.

Voor watersystemen waar aanvoer niet mogelijk is (kleine geïsoleerde wateren) dreigt gedeeltelijke of gehele droogval. Een eenmaal drooggevallen watersysteem blijkt zich evenwel vaak na verloop van tijd weer te kunnen herstellen. Voor sommige kwetsbare soorten betekent droogval echter dat zij definitief uit het ecosysteem verdwijnen. Onbekend is wat voor levensgemeenschappen verwacht mogen worden wanneer droogval frequenter gaat optreden. Mogelijk zal dit voor veel soorten een stressvol milieutype zijn, gekenmerkt door grote temperatuurschommelingen waar minder soorten in kunnen overleven (soortverarming).

Onder warme, zuurstofloze condities met veel organisch afval in het water is er een verhoogd risico op botulisme. Botulisme wordt veroorzaakt door de bacterie *Clostridium botulinum*. De mens is vooral gevoelig voor de, gelukkig zeldzame, typen A, B, E, en F. De laatste tijd is in geval van botulisme vrijwel altijd sprake van type C, welke vooral schadelijk is voor watervogels. Botulisme verspreidt zich vooral via besmette kadavers. Gezonde watervogels nemen weefseldeeltjes en vliegenlarven (maden) op van de kadavers en worden hierdoor ziek (verlamming gevolgd door sterfte). De bacterie kan ook rechtstreeks uit de bodem worden opgenomen

Door de afwisseling van natte winters en droge zomers zijn ook grotere wisselingen in het waterpeil mogelijk. Dit kan een gunstig effect hebben op de ontwikkeling van oevervegetatie. Sommige plantensoorten zijn bijvoorbeeld voor de kieming afhankelijk van tijdelijke droogval. Het effect van flexibel peilbeheer is vooral groot bij een flauw talud (bijv. ondiepe wateren, natuurvriendelijke oevers). Daar staat weer tegenover dat dit in de toekomst mogelijk ook meer inzet voor beheer en onderhoud gaat vragen.

Zeespiegelstijging

Door zeespiegelstijging en de bodemdaling zal de kweldruk in het beheersgebied van Delfland gaan toenemen. Met name langs de kustzone zal sprake zijn van een toename, maar ook langs de Nieuwe Waterweg. Op locaties waar de deklaag minder sterk is kunnen doorbraken mogelijk zijn (wellen) waarlangs brak, marien water omhoog kwelt. Dit zal grote gevolgen hebben voor de saliniteit en voedselrijkdom van de daar aanwezige binnendijkse oppervlaktewateren. Ook voor het veenweide gebied (Midden Delfland) is een toename van de kweldruk mogelijk. Afhankelijk van de kwaliteit van het ondiepe grondwater aldaar kan dit een gunstig of ongunstig effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit. Al met al is er een toenemend risico op verzilting van het oppervlaktewater in Delfland.

Risico's en belang

Klimaatsverandering lijkt een beperkende factor te zijn voor het bereiken van de lange termijn doelen voor de KRW, 'een goede chemische en ecologische toestand van de oppervlaktewaterlichamen'. Op den duur zou de definitie van 'goede ecologische toestand' kunnen gaan verschuiven als gevolg van klimaatverandering.

De voornaamste risico's van klimaatverandering voor de waterkwaliteit en aquatische ecologie zijn geassocieerd met eutrofiering en zuurstofloosheid. Daarnaast zullen ook onvermijdelijk verschuivingen plaats gaan vinden in de samenstelling van ecosystemen. Het bovenstaande betekent dat het streven naar verbetering van de waterkwaliteit en dan met name het terugdringen van de voedselrijkdom extra prioriteit moet krijgen. Wat dat betreft is het bestaande beleid beschreven in het Beheerplan 2005-2009 Hoogheemraadschap van Delfland en het "Programma Ecologie: Water als dager van de natuur" gericht op een meer ecologische inrichting en beheer van het watersysteem (o.a. ecologisch baggeren en natuurvriendelijke oevers) een stap in de goede richting. Dergelijk beleid zou, met het oog op de klimaatsverandering, geïntensiveerd moeten worden, zeker aangezien de waterkwaliteit nog ver verwijderd is van de gewenste toestand.

Kennishiaten

In deze studie zijn de effecten op de waterkwaliteit doorvertaald naar effecten op de aquatische ecologie. Daarbij is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur. De verwachte effecten zijn daardoor nog tamelijk *globaal* ingeschat en *relatief onzeker*. Wat nu de exacte betekenis van klimaatverandering is voor het aquatisch ecosysteem in relatie tot de verschillende wettelijke verplichtingen (o.a. EU-KRW en VHR) is nog grotendeels onbekend. In welke mate en op welke termijn gaat klimaatverandering het aquatisch ecosysteem beïnvloeden? In hoeverre kan dit getroffen maatregelen frustreren? Wat betekent dit voor de haalbaarheid van doelstellingen? Het zijn relevante vragen waarop we nu nog het antwoord veelal schuldig moeten blijven.

Het feit dat ecosystemen veelal complexe systemen zijn met vele (deels onbekende) interacties maakt dat meer gedetailleerde voorspellingen moeilijk te maken zijn. Dit pleit ervoor om vooral ook aandacht te besteden aan een goed gestructureerde langjarige monitoring waarbij zowel biotische als abiotische parameters gelijktijdig bepaald worden. Hiermee kan kennis worden vergaard van lange-termijn ontwikkelingen zoals klimaatverandering en biedt ook perspectieven voor prognose. Dergelijke informatie kan behulpzaam zijn bij het opstellen van relevante ingreep-effect relaties. Daarnaast dient ook geïnvesteerd te worden in ecologisch onderzoek zodat meer kennis wordt opgebouwd ten aanzien van effecten en gevoeligheid van organismen voor klimaatverandering.

6.5 Waterkwaliteit en landbouw

In het beheersgebied van Hoogheemraadschap van Delfland is landbouw vooral vertegenwoordigd door glastuinbouw en graslanden (veenweide). Met name in het glastuinbouwgebied van het Westland is de water(bodem)kwaliteit slecht. Vooral vervuiling met nutriënten, zware metalen en bestrijdingsmiddelen is een probleem. In deze paragraaf worden effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterkwaliteit op de landbouw beschreven. Paragraaf 8.1 behandelt effecten op de bodemwaterkwaliteit, en daarmee indirect op de oppervlaktewaterkwaliteit, die onder andere in landbouwgebieden kunnen optreden.

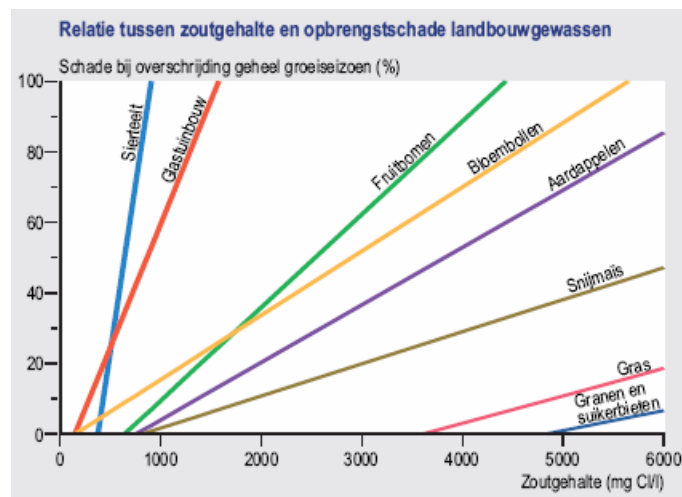
Klimaattrends die van invloed zullen zijn op de wisselwerking tussen waterkwaliteit en landbouw zijn:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Stijging van de zeespiegel

Effecten

Door klimaatverandering zijn een aantal effecten op de oppervlaktewaterkwaliteit te verwachten waarbij met name verzilting voor landbouw (glastuinbouw en grondteelt) een relevant probleem kan zijn.

- Verslechtering waterkwaliteit binnendijkse wateren (interne en externe verzilting) waardoor een verhoogd risico bestaat op zoutschade (zie figuur 6.2).
- Toename waterbehoefte voor bestrijding interne verzilting en watertekorten.
- Toename van kans op verzilting van voor o.a. de agrarische sector belangrijke waterinnamepunten (Brielse Meer).



Figuur 6.2: Zoutschadefuncties voor landbouwgewassen (MNP, 2005a).

6.6 Waterbodems

Effecten van klimaatverandering op waterbodems zijn hoofdzakelijk indirect het gevolg van klimateffecten op waterkwaliteit en waterkwantiteit. Effecten die van belang kunnen zijn voor de sanering en het beheer & onderhoud van de waterbodems worden in deze paragraaf uitgelicht.

De volgende klimaattrends zijn van invloed op de waterbodems:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van de neerslag in de winter

- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien
- Toenemen van windsnelheid gedurende stormen

Effecten

De ontwikkeling van de kwaliteit van waterbodems is sterk afhankelijk van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Alle effecten die leiden tot een afname van de oppervlaktewaterkwaliteit zullen daarom indirect een afname van de waterbodemkwaliteit kunnen veroorzaken. Daarnaast kan klimaatverandering leiden tot een versnelde ophoping van slib en organisch materiaal in de watergangen, waardoor de frequentie van onderhoudsbaggerwerk moet worden verhoogd.

In perioden van langdurige droogte kan de waterbodemkwaliteit afnemen door indamping of de inlaat van gebiedsvreemd water. De inlaat van brak water vergroot flocculatie (samenklonteren) van slibdeeltjes (zwevend stof). Doordat samengeklonterde deeltjes zwaarder zijn, bezinken zij in deze toestand sneller en neemt de aangroei van het slibvolume op de bodem toe.

Door de stijgende temperatuur neemt de groei van planten en algen toe. Dit leidt weer tot een snellere ophoping van organisch materiaal op de waterbodem. Botulisme bacteriën vermenigvuldigen zich snel in vuil, warm en ondiep stilstaand water. Hogere zomertemperaturen zijn een belangrijke stimulerende factor voor botulisme. Echter het wegnemen van andere gunstige omstandigheden voor de snelle vermenigvuldiging van de bacterie kan leiden tot het minder voorkomen van botulisme, ook bij hogere temperaturen. Hierbij moet voornamelijk gedacht worden aan het saneren (baggeren) van (vervuilde) waterbodems.

In perioden van verhoogde neerslag zal de waterbodemkwaliteit verslechteren door het regelmatig in werking treden van riooloverstorten en de toename van oppervlakkige afvoer (nutriënten, zware metalen). De verwachte neerslagtoename stelt tevens hogere eisen aan het bergend vermogen en de afvoercapaciteit van het watersysteem. Daardoor zal het onderhoudsbaggerwerk mogelijk moeten worden geïntensiveerd en is het in sommige gevallen noodzakelijk om het doorstroomprofiel van watergangen te vergroten.

De noodzaak voor intensivering van sanering en onderhoudsbaggerwerk leidt vervolgens tot een stijging van de behoefte aan depotcapaciteit. Voor de schone en licht verontreinigde baggerspecie zal evenwel ook vaker een bestemming kunnen worden gevonden in de vorm van ophoogmateriaal. Bijvoorbeeld bij klimaatbestendige bouwprojecten.

Klimaatverandering kan op termijn leiden tot een verschuiving in de normering van de waterbodemkwaliteit doordat de biologische beschikbaarheid van verontreinigingen in waterbodems en zwevend stof als gevolg van de klimaatverandering toeneemt. Aan deze gedachte ligt het volgende principe ten grondslag: microverontreinigingen (metalen, organische stoffen) kunnen in opgeloste vorm, gecomplexeed en geadsorbeerd aan zwevend stof en in de waterbodem voorkomen. De biologische beschikbaarheid (en daarmee de risico's) van microverontreinigingen die in het water zijn opgelost, is groter in vergelijking met geadsorbeerde of gecomplexeerde verontreinigingen. De verhouding tussen geadsorbeerde en in het water opgeloste verontreinigingen is afhankelijk van de concentratie zwevend stof, chemische condities

zoals pH, redox condities, (zuurstofgehalte), saliniteit, opgelost organisch materiaal en de slibkarakteristieken. En deze factoren hangen weer nauw samen met klimaatgebonden variabelen als watertemperatuur, verzilting, algen- en plantengroei en in suspensie komen van sediment door verhoogde afvoer en windgolven.

Risico's en belang

Reageren op de effecten van klimaatverandering op waterbodems komt feitelijk neer op gedegen beheer en onderhoud. Enerzijds om de afvoercapaciteit van de watergangen op peil te houden of te vergroten, en anderzijds om de waterkwaliteit te borgen. Het beheer en onderhoud zal langzaamaan moeten worden geïntensiveerd en kan meegroeien met de optredende klimaattrends. Op korte termijn zijn in principe geen specifieke maatregelen nodig, tenzij er sprake is van een baggerachterstand of een knelpunt in de afvoercapaciteit.

Kennishiaten

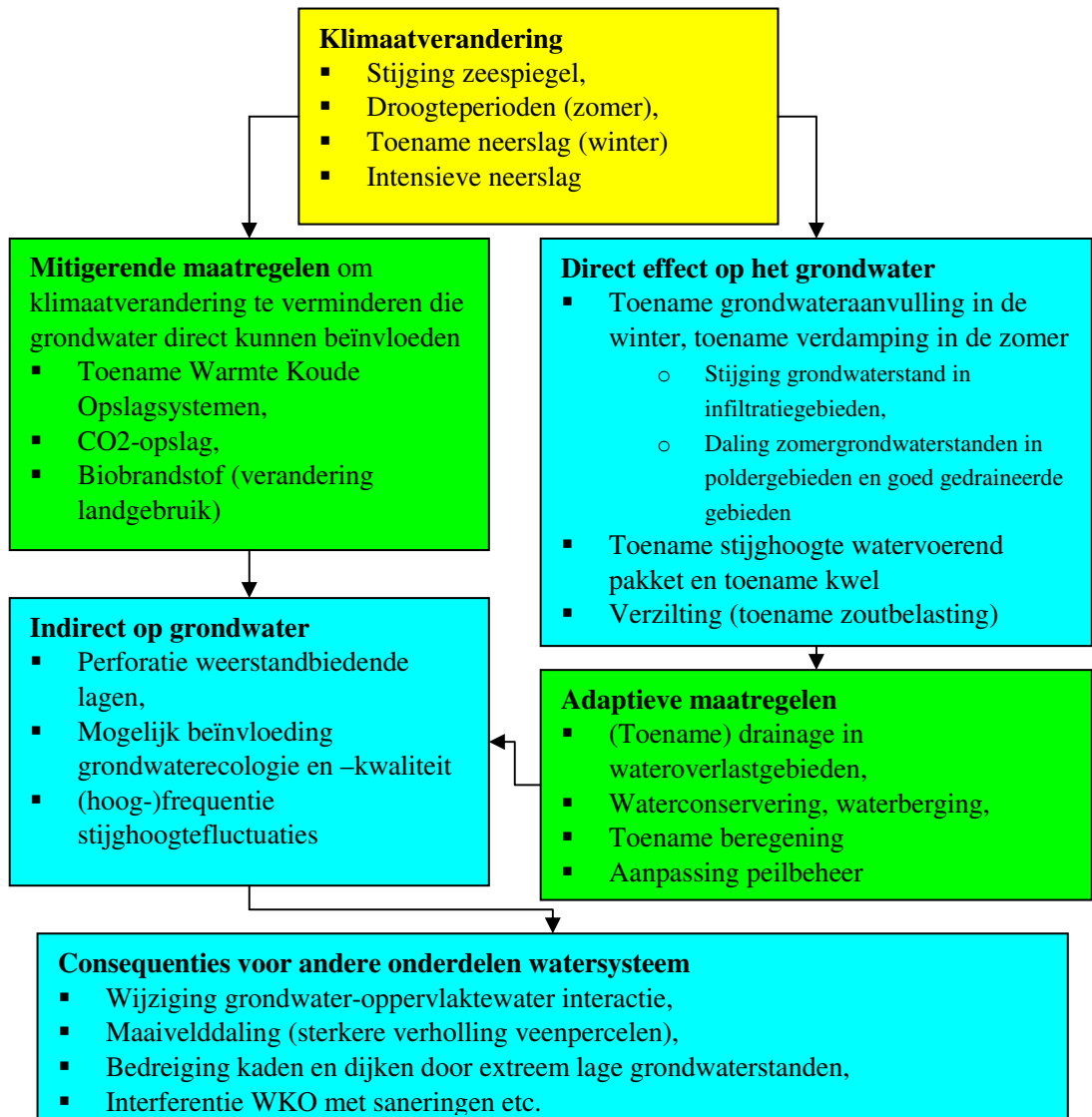
Naar de effecten van klimaatverandering op waterbodems is nagenoeg geen gericht onderzoek gedaan. Mogelijke effecten moeten daarom indirect worden afgeleid uit studies naar de effecten op waterkwaliteit en waterkwantiteit. Van alle beschreven effecten is het effect op de toename van de biologische beschikbaarheid van verontreinigingen het meest afhankelijk van specifieke omstandigheden en met de meeste onzekerheden omgeven. Op dit punt is op nationaal niveau (of Europees i.v.m. de KRW) meer onderzoek wenselijk.

7 Effecten op het grondwater

Klimaatverandering kan op verschillende manieren van invloed zijn op het grondwatersysteem. Direct door:

- Stijging van de zeespiegel
- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van de neerslag in de winter
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien

En indirect als gevolg van mitigerende en adaptieve maatregelen, zoals de toename van Warmte Koude Opslag (WKO) installaties en een toename van beregening uit het grondwater. Onderstaand schema geeft een overzicht van de directe en indirecte effecten van klimaatverandering op het grondwatersysteem. In de volgende paragrafen worden deze effecten nader beschreven.

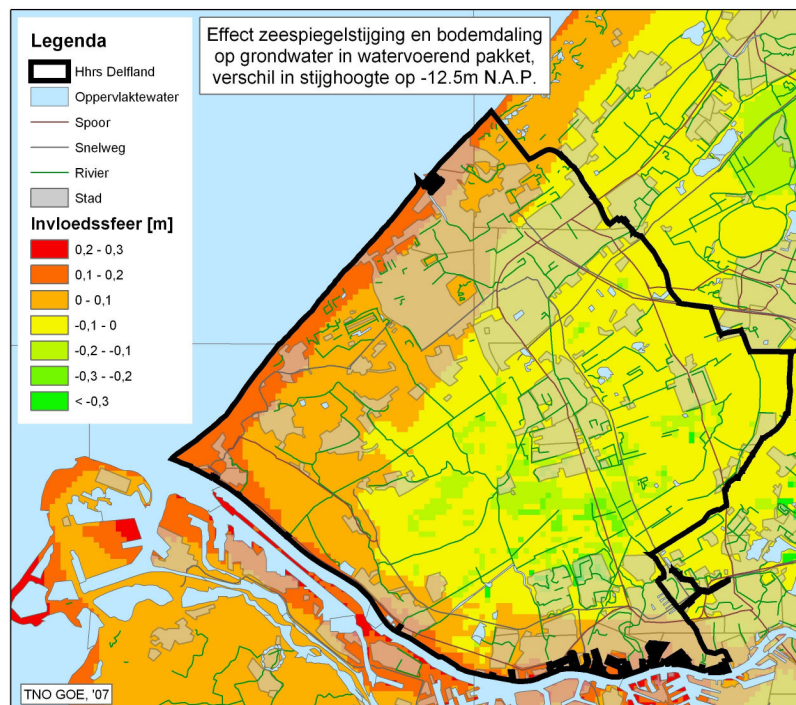


Invloedssfeer van zeespiegelstijging op grondwatersysteem

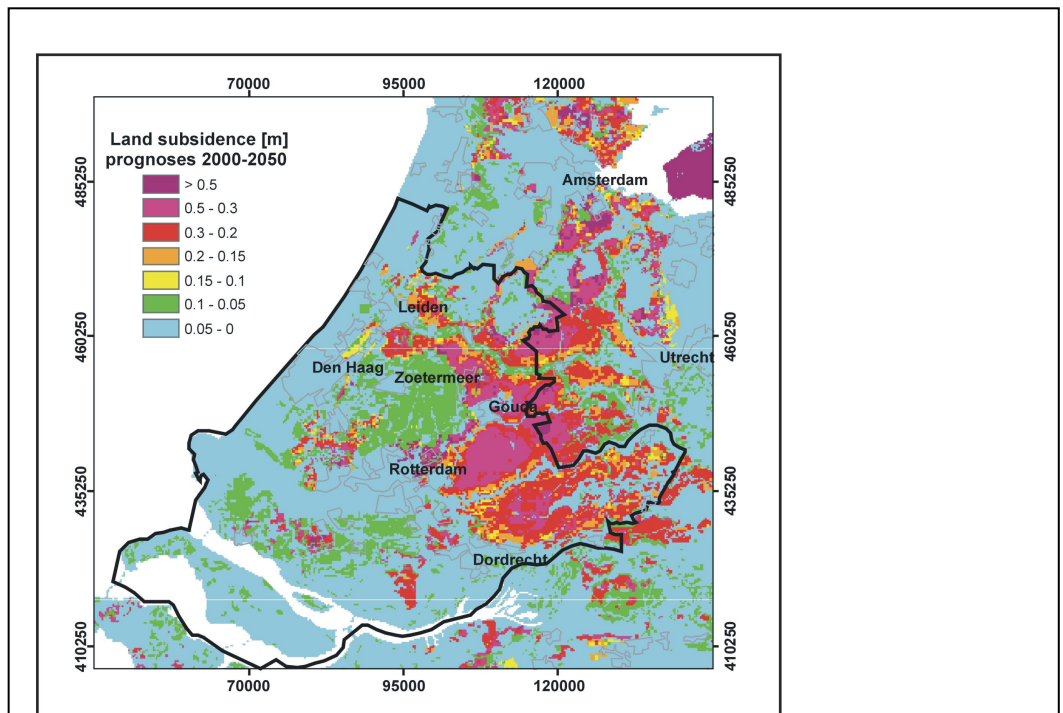
Figuur 7.1 toont de invloedssfeer van de zeespiegelstijging en de bodemdaling in het beheersgebied van Delfland (Minnema et al., 2004). Het betreft de regionale verandering in stijghoogte in het eerste watervoerend pakket op -12.5 m N.A.P. Voor de zeespiegelstijging is in de studie van 2004 0,3 m aangehouden en voor de bodemdaling de prognose van het RIZA (zie figuur 7.2). Met deze uitgangpunten kan de situatie in 2050 worden gemodelleerd.

Direct langs de Noordzeekustlijn en in het Rotterdamse Havengebied is een significante verhoging van de stijghoogte te verwachten. Het effect van een zeespiegelstijging dempt echter richting het binnenland relatief snel uit; binnen 6 km vanaf de Noordzee is de invloed te verwaarlozen (zie ook Oude Essink, 1996 en Kwadijk et al., 2007). De dunne deklaag en de daarbij horende lage hydraulische weerstand nabij de Noordzeekustlijn van het hoogheemraadschap veroorzaken deze snelle demping (figuur 7.3). Daarnaast zorgen zandbanen in het gebied ervoor dat lokaal de hydraulische weerstand significant kleiner is.

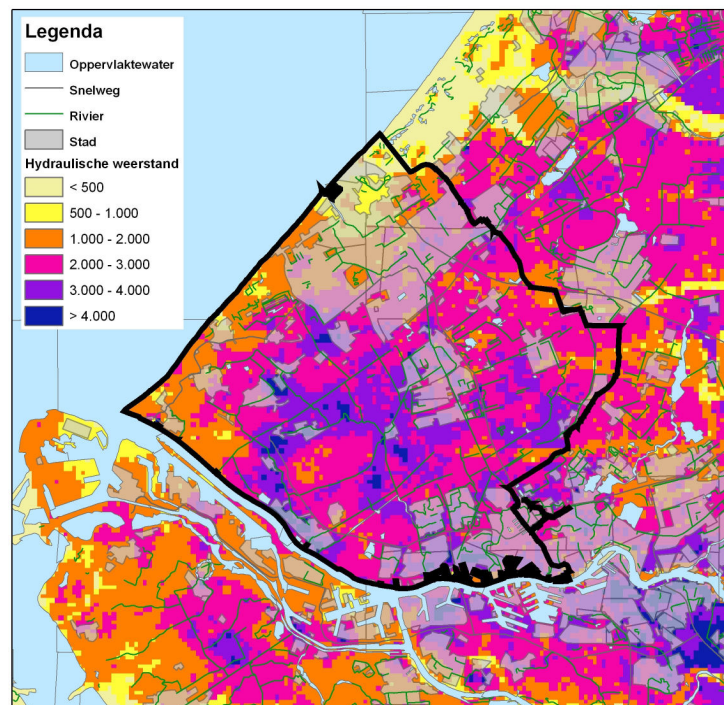
In met name het oostelijke deel van het studiegebied veroorzaakt de bodemdaling een regionale verlaging van de stijghoogte. Er is daarbij aangenomen dat landbouwkundige wensen en daarmee waterhuishoudkundige instellingen, zoals ontwateringsdiepte en drooglegging, onveranderd blijven. Dit betekent dat polderpeilen lokaal evenredig dalen met de bodem. De daling van de polderpeilen beïnvloedt tevens de stijghoogte. Deze gaat, gedempt door de weerstand van de Holocene deklaag, mee met het polderpeil.



Figuur 7.1: de invloedssfeer van een zeespiegelstijging en bodemdaling in de provincie Zuid-Holland: verschil stijghoogte [m] tussen 2000 en 2050 op een diepte van -12.5 m N.A.P. (Minnema et al., 2004). Ten behoeve van deze studie is de modellering van de invloedssfeer opnieuw uitgevoerd. Daarbij is extra aandacht besteed aan de effecten die langs de Nieuwe Waterweg optreden.



Figuur 7.2: gehanteerde (hoge) bodemdalingprognose: 2050 t.o.v. 2000, in m (bron: RIZA).



Figuur 7.3: de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag in het studiegebied.

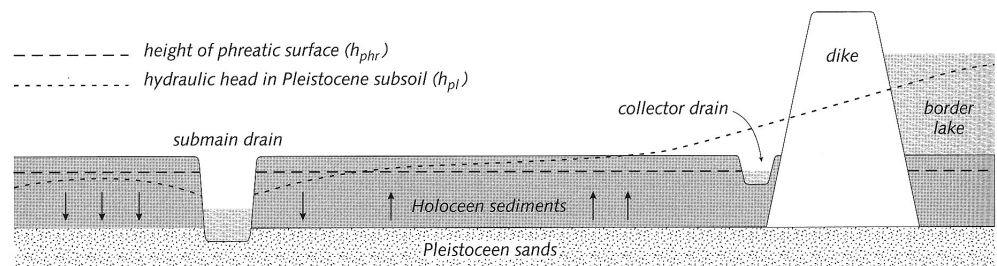
7.1 Landelijk gebied

De gevolgen van seizoensveranderingen in neerslag- en verdamping voor het grondwatersysteem kunnen ruimtelijk sterk verschillen. De ontwateringsdiepte (grondwaterstand t.o.v. maaiveld) en slootafstand (drainagedichtheid) en de doorlatendheid van de bodem spelen hierbij een belangrijke rol.

Kustgebied

Voor gebieden met een grote slootafstand en een relatief diepe grondwaterstand, zoals in het kustgebied (duinen, strandwallen) mag worden verwacht dat de grondwaterstand in het gehele jaar zal stijgen. Dit geldt vooral voor infiltratiegebieden in de duinstreek. Mede als gevolg hiervan kunnen relatief lagere gebieden (o.a. strandvlakten) binnen dit gebied wateroverlast krijgen of in natuurgebieden juist tot een toename van natuurwaarden leiden. Verwacht mag worden dat ook de overgangszone van deze gebieden naar de aangrenzende laaggelegen (polder-)gebieden risico's loopt op wateroverlast, of kansen biedt voor verhoging van de natuurwaarden.

Door de stijging van de grondwaterstand zal ook de stijghoogte in de watervoerende pakketten toenemen. Als gevolg hiervan mag worden verwacht dat kwel in deze streek toeneemt. De kwelflux zal in de toekomst ook toenemen in kwelgebieden, of liever gezegd kwelwater ontvangende waterlopen, dicht bij zee en dicht bij de Nieuwe Waterweg. Dit als gevolg van zeespiegelstijging en/of tijdelijk hoge rivierpeilen (figuur 7.4).



Figuur 7.4: het verloop van de stijghoogte (hydraulic head) en grondwaterstand langs de kust met een dunne duinenrij of langs de Nieuwe Waterweg. De stijghoogte neemt snel af door drainerende waterlopen. De meeste kwel zal daarom langs de dijken plaatsvinden. Dit is dan ook het gebied dat kwetsbaar is voor opbarsting van de ondergrond.

Glastuinbouwgebied

In het glastuinbouwgebied worden als gevolg van klimaatsverandering geen sterke veranderingen in de grondwatersituatie verwacht. Vooral langs de kust en De Nieuwe Waterweg treedt plaatselijk meer kwel op door een verhoging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Vaak liggen de drainagebuizen in de glastuinbouwgebieden dieper dan de slootpeilen. De kweltoename manifesteert zich in dat geval vooral in de toename van buisdrainage. Het is niet bekend of er in de glastuinbouwgebieden die aan de zeereep grenzen, zoals polder Waalblok, op termijn risico voor verzilting ontstaat. Er mag verwacht worden dat in reactie op de klimaatverandering er een toename gaat plaatsvinden van ondergronds ruimtegebruik, zoals voor Warmte-Koude-Opslag en gietwateropslag.

Kwel is in sommige gebieden nu al een probleem. Het overtollige water, dat in (glas)tuinbouwgebieden nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen kan bevatten, wordt geloosd op het oppervlaktewater. Door de toenemende kwel zal het volume van de lozingen ook toenemen.

Overige diepe polders Oostland en Midden Delfland

In gebieden met een relatief ondiepe grondwaterstand en een geringe slootafstand en dicht drainagestelsel mag worden verwacht dat, zowel in winter als zomer, tijdens perioden met intensieve neerslagbuien tijdelijk extreem hoge grondwaterstanden optreden. Omdat de freatische bergingscapaciteit dan uitgeput is zal een groot deel van de neerslag ‘overland’ afstromen naar het oppervlaktewater.

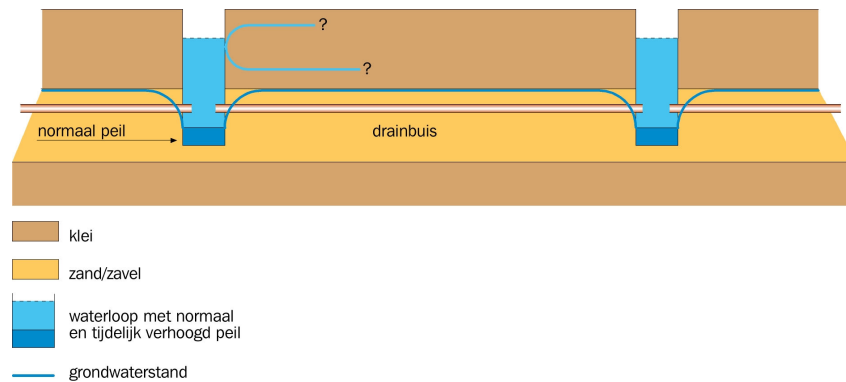
Ondanks de verwachte toename van de winterneerslag mag worden verwacht dat door het aanwezige drainagesysteem de gemiddelde wintergrondwaterstand niet sterk zal wijzigen. De extra neerslag wordt namelijk verwerkt en afgevoerd door het drainagesysteem. Als gevolg daarvan zal het oppervlaktewaterstelsel in de winter meer water moeten verwerken.

In de zomerperiode, en dan in het bijzonder tijdens langdurige droogten, mag in dit gebied worden verwacht dat de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) dieper komt te liggen. Naar verwachting hebben de meeste percelen in Delfland 's zomers een holle waterspiegel⁸. Deze zal als gevolg van klimaatverandering ‘holler’ worden. Daardoor zal maaiveld daling worden versterkt (vorming holle percelen).

Diepe droogmakerijen

De diepe droogmakerijen worden gekarakteriseerd door de relatief lage ligging waardoor ze het gehele jaar onder kwelinvloed staan. Het gebied wordt hoofdzakelijk ontwaterd door een dicht stelsel van drainagebuizen met een onderlinge afstand van 8-12 meter, op ca 100-120 cm onder maaiveld. Dit buisdrainagesysteem beheerst de freatische grondwaterstand en watert vooral zoet, door landbouwactiviteit beïnvloed water af. In de diepe sloten stijgt ‘diepe’ kwel op vanuit het watervoerende pakket onder de deklaag. Dit grondwater is brak. Een zeer groot deel van de kwel stijgt zeer geconcentreerd op via wellen. Omdat bij deze wellen ‘opkegelen’ van de zoet-zout overgang plaatsvindt is dit ‘welwater’ veel zouter. De aanvoer van brak grondwater via wellen speelt een belangrijke rol bij de verzilting van het oppervlaktewater.

⁸ Bij een holle waterspiegel is de grondwaterstand in het perceel lager dan het oppervlaktewaterpeil. De grondwaterstand in het midden van het perceel ligt meestal het diepst. Holle grondwaterspiegel komen bijna altijd in (infiltrerende) boven- of oeverlanden voor, maar ook in droogmakerijen met kwel.



Figuur 7.5: Veel voorkomende grondwatersituatie in een perceel van een droogmakerij. De stijghoogte ligt boven de grondwaterstand (er heerst een kwelsituatie). Het is onbekend hoe de grondwaterstand tijdens het droge seizoen reageert op tijdelijk hoge oppervlaktewaterpeilen tijdens intensieve buien.

In de toekomst mag worden verwacht, dat ondanks het intensieve buisdrainagesysteem, tijdens perioden met intensieve neerslag, vaker tijdelijke grondwateroverlast gaat optreden. Dit wordt veroorzaakt door de lage (primaire) doorlatendheid (en geringe freatische bergingscapaciteit) van klei. Dit zal leiden tot meer gewasschade (o.a. bij aardappelen).

Onbekend is wat hierbij de rol van secundaire doorlatendheid kan zijn. In (zware) kleigronden ontstaan tijdens het droge jaargetijde centimetersbrede krimpscheuren, die meer dan een meter diepte kunnen bereiken. Deze scheuren kunnen de doorlatendheid van de klei enorm (meer dan 100-maal) verhogen. Onduidelijk is hoe de relatie grondwater-oppervlaktewater-drainagebuizen tijdens de aanwezigheid van krimpscheuren is. Drainagebuizen bevinden zich vaak in een zand of zavelaag direct onder de bovenste kleilaag, de krimpscheuren doorsnijden vermoedelijk de kleilaag tot aan deze drainagebuizen. Tijdelijk hoge oppervlaktewaterpeilen kunnen als gevolg van watertransport via krimpscheuren een veel grotere invloed op de freatische grondwaterstand hebben dan tot nu toe wordt aangenomen. Verwacht mag worden dat de diepte en breedte van krimpscheuren in de toekomst als gevolg van drogere perioden zal toenemen.

In de droogmakerijen zal in de toekomst meer behoefte bestaan aan berekening. Niet alleen voor vochtvoorziening (verdamping) maar ook voor afkoeling van gewassen (aardappelen). Het grondwater is hiervoor niet geschikt (brak-zout). Een oplossing kan bestaan uit het vasthouden van 'winterwater' (kost ruimte), aanvoer van zoet water (is knelpunt tijdens droogte perioden) of opslag van zoet 'winterwater' ondergronds.



Figuur 7.6: Een voorbeeld van kleischeuren in de zomerperiode. In de herfst zwellen de scheuren weer dicht. Naarmate de klei zwaarder is (hoog lutumgehalte), neemt het voorkomen van scheuren toe.

Risico's

Op korte afstand van de zee en de Nieuwe Waterweg kan kwel toenemen en bestaat de kans dat hieraan gekoppeld verzilting ontstaat. Mogelijk vormt dit plaatselijk een bedreiging voor de glastuinbouw;

In de landbouwgebieden kunnen in de winter hogere grondwaterstanden optreden, terwijl in de zomer de grondwaterstand dieper kan uitzakken. Dit kan nadelig zijn voor landbouw maar ook maaiveld daling beïnvloeden.

In de duinstreek kunnen in gebieden met weinig waterlopen structureel hogere grondwaterstanden ontstaan.

Het risico op waterschade tijdens intensieve neerslagperiodes (vooral in de zomer) kan groter worden

Kennishiaten

Er is nog weinig bekend over de relatie grondwater-oppervlaktewater in kleigebieden, vooral bij 'scheurende' kleigronden.

Er is niet bekend wat het verziltingsrisico is voor de glastuinbouwconcentraties direct langs de zeereep en de Nieuwe Waterweg.

Het is niet bekend wat het ondergronds ruimtegebuik (WKO, gietwateropslag) in het glastuinbouwgebied voor gevolgen heeft voor het (grond)watersysteem.

7.2 Stedelijk gebied

Voor het stedelijk gebied gelden dezelfde processen zoals beschreven in de vorige paragraaf 'landelijk gebied'.

Stedelijk gebied op duingronden (o.a. strandwallen) kan een structureel hogere grondwaterstand verwachten. Of dit zal leiden tot wateroverlast is afhankelijk van de huidige ontwateringsdiepte. Echter, het mag worden aangenomen dat structurele wateroverlast in bijna alle stedelijke gebieden zal toenemen. De afgelopen decennia is 'bouwrijp maken', en dan vooral wat betreft de grondwateraspecten, stiefmoederlijk behandeld. Hierdoor is meestal de slootafstand relatief groot, zijn buisdrainagesystemen

niet of slecht aangelegd en heeft al helemaal geen onderhoud van deze drainagesystemen plaatsgevonden. Als deze stedelijke gebieden nu al wateroverlast kennen mag verwacht worden dat deze door klimaatsverandering versterkt worden. Op plaatsen met een venige of veen-klei bodem zal structurele maaiveldaling deze vernatting versterken⁹. Het wordt waarschijnlijk noodzakelijk om deze gebieden beter te draineren, waarbij vooral buisdrainage zal worden gebruikt en het gedraineerde grondwater op het oppervlaktewater wordt geloosd.

In de droge zomerperioden is het mogelijk dat de grondwaterstand dieper uitzakt dan nu het geval is. Dit kan leiden tot schade aan houten funderingen als gevolg van droogstand (schimmelaantasting). Deze schade ontstaat geleidelijk door cumulatie van de droogstanddagen in de tijd. Geschat wordt dat een cumulatieve droogstand van circa 10-20 jaar tot schade zal leiden.

Tuinen en groenvoorziening hebben vaker behoefte aan berekening tijdens de droogteperioden. Mogelijk gaat ook meer behoefte bestaan aan bluswater. Recente nieuwsberichten tonen dat de beschikbaarheid van bluswater in nieuwbouwlocaties een knelpunt vormt. Het nieuwe waterleidingnet is aangelegd met ('zelfreinigende'¹⁰) buizen van een geringe diameter, waardoor tijdens brand te weinig capaciteit kan worden geleverd. Dit bluswaterknelpunt kan worden bestreden door de aanleg van een nieuw leidingstelsel.

Langs de Nieuwe Waterweg en in stedelijke gebieden direct aan zee moet meer dan nu rekening worden gehouden met een toename van de stijghoogte in het watervoerende pakket onder de Holocene Deklaag. Vooral tijdens 'hoogwater' (zee en rivier) kan deze stijghoogte tijdelijk sterk toenemen. Aan de oostzijde van de duinstreek zal de stijghoogte toenemen als gevolg van de verwachte stijging van de grondwaterstand in de duinstreek.

Steden zullen in toenemende mate last krijgen van 'water op straat'. Dit wordt veroorzaakt door een toename van intensieve buien, maar zeker ook door de staat van onderhoud van wegdek en rioolsysteem. De bestijding van dit probleem kan weer gevolgen hebben voor het grondwater. Denk aan waterconservering, afkoppelen van regenwaterafvoer, gescheiden rioolsystemen waarbij regenwater kan infiltreren. De stedelijke ondergrond zal actiever worden gebruikt. Denk aan tunnels en ondergrondse parkeergarages. Echter de klimaatproblematiek zal er ook toe leiden dat het aantal WKO-systemen in steden sterk zal toenemen (zie kader).

Risico's

Gebieden met bebouwing op houten funderingen of met funderingen 'op staal' zijn kwetsbaar voor schade door verlaging van de zomergrondwaterstanden.

Kennishiaten

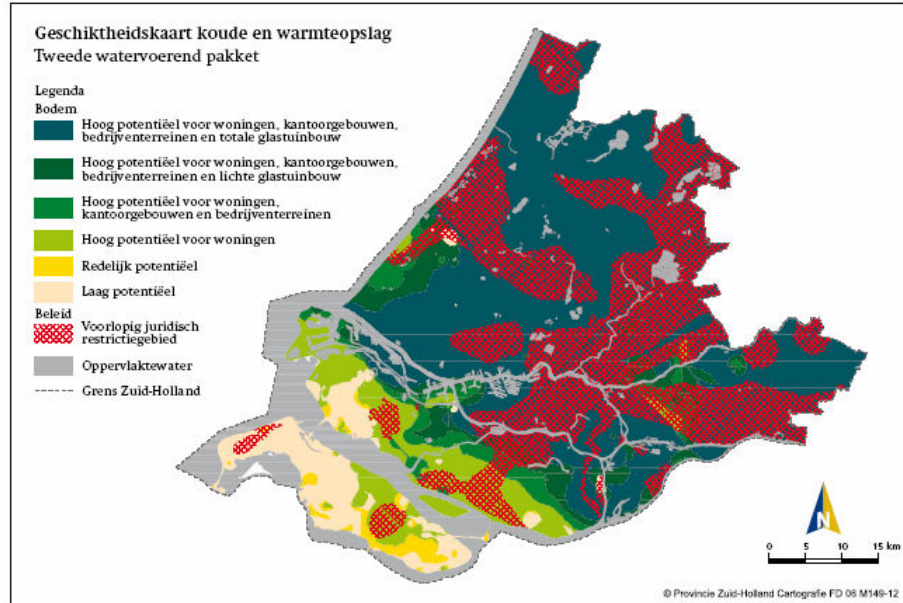
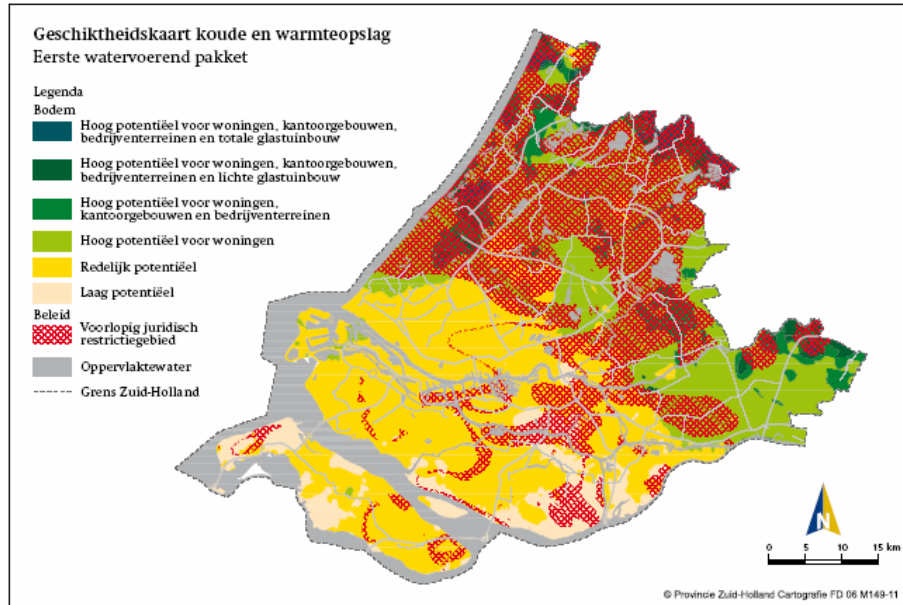
Over het effect van het intensieve gebruik van de ondergrond op het grondwatersysteem is nog maar weinig bekend.

Er is meer kennis gewenst over de noodzaak en mogelijkheden om zomergrondwaterstanden te verhogen in risicogebieden voor funderingsschade.

⁹ Ook rioolrenovatie zoals op veel plaatsen in de planning zit zal vaak leiden tot stijging van de grondwaterstand.

¹⁰ De zogenaamde zelfreinigende buizen hebben een geringere diameter waardoor de stroomsnelheid groter is en minder snel bezinking en aanklontering van deeltjes in het leidingsysteem plaatsvindt.

Een mitigerend effect van klimaatverandering is de toename van het gebruik van Koude Warmte Opslag, met name in het stedelijk en kassengebied. Afhankelijk van het soort systeem (open of gesloten) zal de toename van het aantal installaties meer of minder effecten hebben op het grondwater.



Figuur 7.7 Geschiktheid koude/warmte opslag

Bron: TNO-kaarten, bewerkt door IF-Technology (rapport analyseontwikkeling koude/warmte opslag tot 2020). De kaarten dienen als indicatie voor het bepalen van de kans voor een koude/warmte opslagsysteem. Voor een concreet project dienen nog aanvullende onderzoeken uitgevoerd te worden in het kader van de vergunningaanvraag voor de Grondwaterwet.

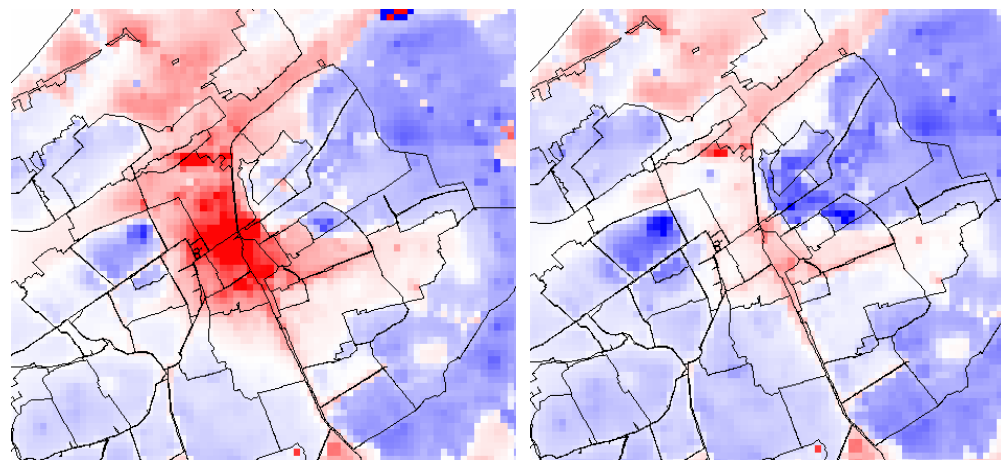
De opslag van energie vindt plaats in een watervoerende zandlaag, waarvan de eerste laag in Zuid-Holland op ruwweg 20 meter diepte zit. De tweede en derde laag, die veelal samenvallen, kunnen op 60 meter of dieper zitten. De mogelijkheden van de bodem voor koude-warmteopslag zijn vertaald in

verschillende categorieën per gebruiksdoel. Alles vanaf lichtgroen is in principe geschikt voor woningen, vanaf groen ook voor kantoren en bedrijventerreinen. Donkergroen is ook geschikt voor een deel van de glastuinbouw, zoals grondkoeling van fresia's, terwijl het zeer donkergroen ook voor de zwaardere toepassingen in de glastuinbouw geschikt is. In de gearceerde gebieden staat de provincie in principe koude-warmteopslag niet toe om bijvoorbeeld zoet grondwater te behouden of door waterwinning. Deze restrictiegebieden kunnen op basis van beleid, dat nog in ontwikkeling is, wijzigen.

7.3 Verzilting (zoet-brak-zout)

Naast klimaatverandering zijn er nog andere processen die invloed hebben op de ontwikkeling van de grondwatersaliniteit in Delfland. Het grondwatersysteem van Delfland bevindt zich momenteel wat betreft de zoet-brak-zout verdeling nog niet in een dynamische evenwichtstoestand. Hier liggen twee processen aan ten grondslag:

1. *De huidige DSM-onttrekking te Delft veroorzaakt momenteel een verregaande verzilting van het eerste watervoerende pakket in de regio rondom de onttrekking. In een groot gebied vindt bovendien infiltratie plaats van zoet neerslagwater. Na een flinke reductie van de DSM-onttrekking zal dit beeld kunnen veranderen. Een nieuw stijghoogtepatroon zal zich instellen. Daarnaast zal de zoutbelasting door kwel op het oppervlaktewater toenemen.*



Figuur 7.8: Omslag van overwegend infiltratie (rood) naar overwegend kwel (blauw) in en rond Delft bij aanwezigheid (links) en afwezigheid (rechts) van DSM onttrekking (bron: TNO).

2. *De autonome verzilting van de ondergrond is een omvangrijk, langzaam en nauwelijks omkeerbaar proces. Zelfs bij een constante zeespiegel zal het autonome verziltingproces nog een aantal eeuwen kunnen duren. Het peilverschil van één a twee meters tussen het zeeniveau en het achterliggend land veroorzaakt dat zeewater de watervoerende pakketten binnendringt en dat zout grondwater vanuit diepere (mariene) watervoerende pakketten opwelt (zie figuur 7.9a). Dit verziltingsproces is reeds eeuwen aan de gang en wordt veroorzaakt door de continue daling van het maaiveld en daaraan gelieerd de daling van het oppervlaktewaterpeil. Natuurlijke ontwikkelingen en antropogene activiteiten liggen hieraan ten grondslag. Door ontwatering van de bodem (een traag en continu*

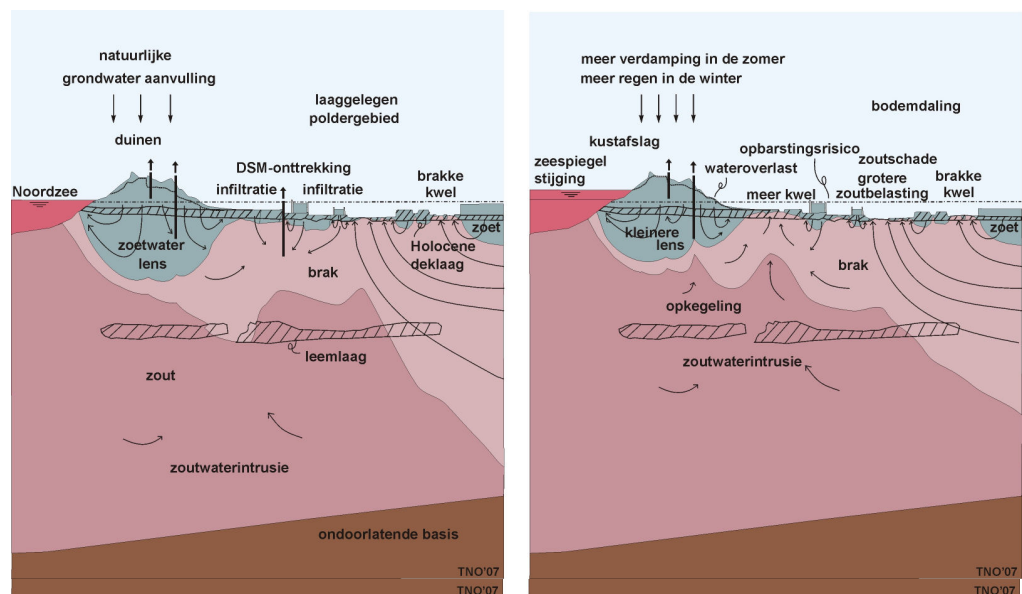
proces) en de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen gedurende de 17^{de}-19^{de} eeuw (een relatief abrupte verandering in het maaiveld) is de bodem gedaald in de veen- en kleigebieden in het midden en het noordoosten van het studiegebied. Deze ontwikkelingen in het verleden hebben nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater.

Naast bovengenoemde processen zullen de volgende klimaatrends invloed uitoefenen op de zoet-brak-zout verdeling:

- Stijging van de zeespiegel
- Toename van verdamping in de zomer
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer

Effecten

De verwachting is dat de verzilting van het grondwatersysteem op regionale schaal zal toenemen, met name vanuit de diepere (mariene) watervoerende pakketten (figuur 7.9b). Voorlopig levert het grote na-ijleffect van de verschillende inpolderingen en de voortgaande bodemdaling in deze droogmakerijen de grootste bijdrage aan het verziltingsproces. Door zeespiegelstijging zal op de middellange tot lange termijn (>2050) in het westen nog meer zout grondwater gaan opwellen.

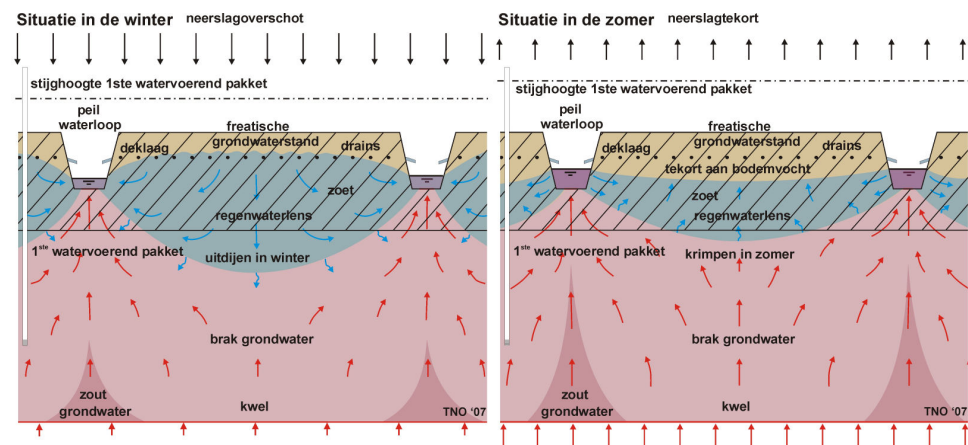


Figuur 7.9: Vereenvoudiging van het regionale grondwatersysteem in het Hoogheemraadschap van Delfland: a. huidige situatie en b. toekomstige situatie. Zoutwaterintrusie, oftewel het binnendringen en omhoog komen van zout grondwater in het grondwatersysteem, vindt op regionale schaal plaats omdat het gemiddeld polderpeil enkele meters lager ligt dan het gemiddeld zeeniveau.

In een kwelgebied in het westen van Delfland vindt op de lokale schaal van een landbouwperceel de volgende processen plaats. In de winter (figuur 7.10a) infiltrteert zoet regenwater op het landbouwperceel en wordt een regenwaterlens gevoed. Ter plaatse van sloten kwelt grondwater op met een relatief sterke intensiteit (minimaal enkele mm/dag) omdat de afscheidende deklaag tussen het grondwater- en het oppervlaktewatersysteem ter plaatse dun is. In het westen van Delfland is het

grondwater en dus de kwel brak (figuur 7.11). In de zomer (figuur 7.10b) zal een neerslagtekort leiden tot een krimpende regenwaterlens, terwijl nog steeds brak grondwater naar de sloot kwelt.

In de toekomst zal door een zeespiegelstijging en door de stopzetting of reductie van de DSM-onttrekking de stijghoogte in het westen en uiterste zuiden van het studiegebied worden verhoogd. Het oppervlak waar kwel plaatsvindt, alsmede de kwelintensiteit zullen toenemen. Er is hierdoor te verwachten dat de zoutbelasting op het oppervlaktewater zal toenemen. Dit zal kunnen leiden tot het moeten creëren van een grotere doorspoelcapaciteit van het oppervlaktewatersysteem. Eventueel zal een hogere chloride concentratie in het oppervlaktewatersysteem geaccepteerd moeten worden.



Figuur 7.10: lokale verziltingsprocessen buiten de directe invloedssfeer van de DSM-onttrekking: gedurende het gehele jaar stroomt brak grondwater naar de sloten omdat het slootpeil laag ligt ten opzichte van de stijghoogte in het watervoerend pakket.

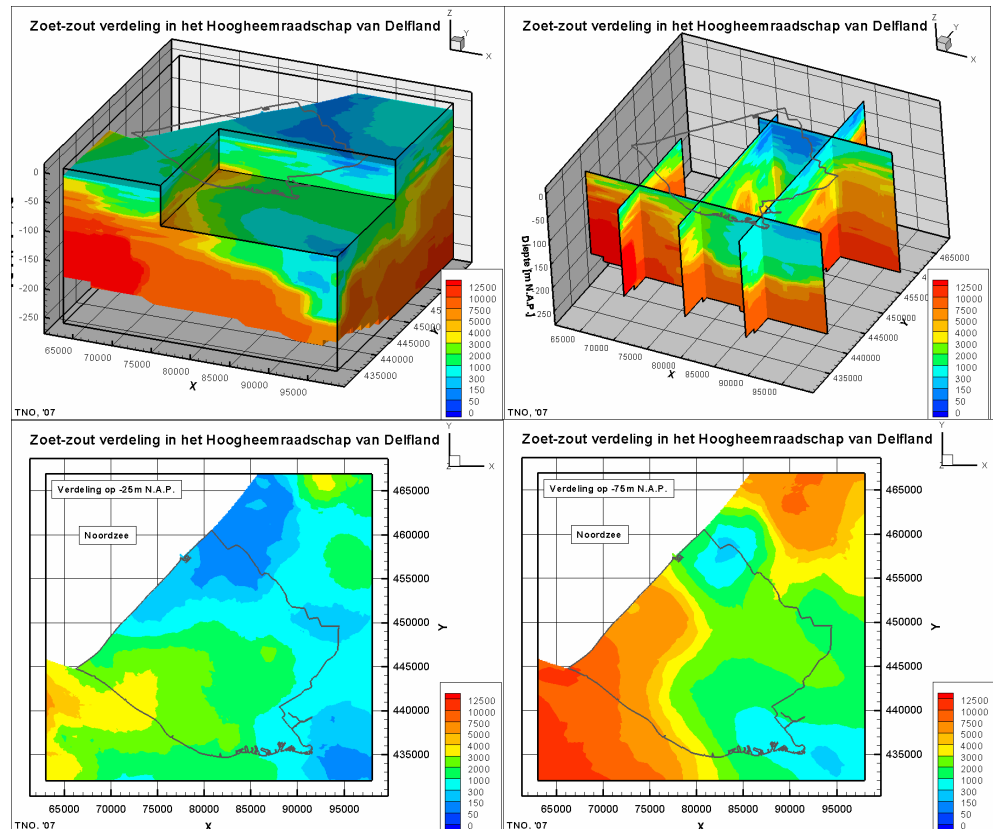
Risico's

Risico's van verzilting ontstaan in kwelgebieden. De positie van deze gebieden binnen het oppervlaktewatersysteem bepaalt waar en in welke mate het oppervlaktewater wordt bedreigd. De kwel in Delfland, met uitzondering van gebieden aan de oostelijke rand van het beheersgebied, bezit hoge chloridegehalten (brak-zout). Deze gehalten zouden ook zonder klimaatverandering al toenemen. Als gevolg van zeespiegelstijging zal de kwel in het zuidwesten, grotendeels glastuinbouw extra toenemen. Waar kwel diffuus uittreedt, zijn de hoeveelheden relatief gering. Op plaatsen waar natuurlijke of kunstmatige kortsluitingen (wellen, zandige geulen) bestaan tussen het brakke watervoerend pakket en het oppervlaktewatersysteem, vindt de sterkste verzilting plaats.

De invloed van brakke kwel kan worden verkleind door peilverhogingen, mogelijk in combinatie met (regen-)water vasthouden, of door in de meest kritische periode (de zomermaanden) minder water uit te slaan waardoor het waterpeil in de sloten verhoogt. Hierdoor vermindert de kwel en hoeft minder kwelwater in deze periode, waarin de concentraties chloride het hoogst zijn, te worden uitgeslagen op de boezem. Als een goed ruimtelijk beeld beschikbaar komt van de gebieden waar de hoogste zoutvracht wordt gegenereerd, is het mogelijk met technische- of ruimtelijke maatregelen deze verzilting te verminderen.

Stedelijke vernieuwing en transformatie naar glastuinbouw bieden kansen om verzilting te verminderen door het aanleggen van voorzieningen om regenwater op te vangen en te infiltreren in de bodem en door verhoging van het polderpeil. Stedelijke vernieuwing

kan evenwel ook de verzilting vergroten, namelijk wanneer voor de berging van regenwater waterpartijen worden gegraven. In kwetsbare gebieden leidt dit tot een toename van de verzilting. Voorkomen moet worden dat deze waterpartijen onnodig diep worden ontgraven en vermeden moet worden dat deze op plaatsen met intensieve kwel worden gepland.



Figuur 7.11: 3D chloride concentratie verdeling van het diepe grondwater in het Hoogheemraadschap van Delfland, gebaseerd op alle aanwezige chloride concentratie monsters, boorgatmetingen en Verticale Elektrische Sonderingen In het noorden van

8 Effecten op de bodem

8.1 Bodemwaterkwaliteit

Bodemwater is het water dat zich in het bovenste deel van het bodemprofiel bevindt. Dit is de zone waarin planten wortelen, bodemfauna leeft en bodemvormende processen plaatsvinden.

De onderstaande klimaatrends zijn van invloed op de bodemwaterkwaliteit:

- Toename van de temperatuur
- Toename van verdamping in de zomer
- Toename van de neerslag in de winter
- Afname van hoeveelheid neerslag in de zomer
- Toename van intensiteit extreme zomerbuien

Effecten

Er is nog weinig bekend over de lange termijn gevolgen van klimaatsverandering voor de bodemwaterkwaliteit. De beschreven effecten zijn dan ook verwachting, gebaseerd op expert judgement.

De voornaamste effecten van klimaatverandering op de bodemwaterkwaliteit en de zone waarin het bodemwater zich bevindt zijn naar verwachting:

- Sneller verlopen van bodemvormende processen
- Toename mobiliteit van verontreinigingen en nutriënten
- Verschuivingen in samenstelling bodemfauna

De bodemtypen binnen Delfland bestaan vooral uit kalkhoudende, droge zandgronden in de duinregio en langs de Nieuwe waterweg, kleigronden (deels zware zeeklei) in het Westland en Midden-Delfland. Daarnaast komen in Midden-Delfland en de oostelijk gelegen droogmakerijen ook veengronden voor (weideveen, vlierveen). Midden-Delfland is een inversielandschap met hoger gelegen kreekruigen (met vaak bebouwing) en lager gelegen klei/veenpolders gekenmerkt door hoge grondwaterstanden.

In algemene zin verwacht men dat de bodemvormende processen bij hogere temperaturen sneller zullen verlopen. Een hogere bodemtemperatuur leidt veelal tot verhoogde microbiële activiteit. Voor veengronden is aangetoond dat er sprake is van verhoogde afbraak van organisch materiaal bij hogere temperaturen (Freeman et al., 2002). Hierdoor neemt het aandeel opgeloste organische stof (dissolved organic carbon of DOC) toe in het bodemwater. DOC kan goed zware metalen en andere stoffen aan zich binden die vervolgens kunnen uitspoelen naar het oppervlaktewater.

Door de afwisseling van natte, zachte winters en hete, droge zomers mag een grotere dynamiek in de grondwaterstand worden verwacht, met name midden in de percelen. Door hogere grondwaterstanden in de winter zullen hoger in het bodemprofiel vaker anaërobe, reducerende omstandigheden ontstaan. Dit is gunstig voor denitrificatie, maar

zorgt er ook voor dat fosfaat en zware metalen mobiel worden. Bij een meer intensieve neerslag wordt de afvoer van opgeloste stoffen naar het oppervlaktewater versterkt. In de zomerperiode kunnen grondwaterstanden dieper uitzakken. Hierdoor zal het oxiderend milieu dieper in het bodemprofiel kunnen doordringen. Voor organisch rijke bodems betekent dit een verhoogde mineralisatie dieper in het profiel waardoor koolstof, stikstof en fosfaat in oplossing gaat en de bodem verder inklinkt. Een sterke uitdroging van de toplaag zal echter niet voor een versterkte afbraak zorgen, aangezien de activiteit van het bodemleven (bodemfauna, micro-organismen) dan sterk zal afnemen. Voor kleibodems zal de toename van natte en meer extreem droge condities zorgen voor een vaker en mogelijk sterker optredende zwel-krimp reactie.

Wat de nieuwe omstandigheden precies gaan betekenen voor de ontwikkeling van de bodemfauna gemeenschap is nog niet duidelijk, maar verwacht mag worden dat hierin verschuivingen gaan optreden.

Naast een verandering in de grondwaterstandendynamiek wordt ook een sterkere infiltratie en kwelflux verwacht, wat gevolgen kan hebben voor de bodemwaterkwaliteit. Sterkere infiltratie door overvloedige neerslag leidt tot sterkere uitspoeling. Voor de drogere zandgronden betekent dit vermoedelijk een sterkere uitspoeling van o.a. kalk. Een toename van kwelflux kan verschillende effecten opleveren afhankelijk van de kwaliteit van het ondiepe grondwater. Daar waar sprake is van schoon, basenrijk grondwater (duinrand) kan dit een kwaliteitsverbetering betekenen voor het bodemwater. Daar waar sprake is van verzilt grondwater, zal dit leiden tot een toename van het chloride gehalte in het bodemwater. Voor kleigronden is bekend dat een teveel aan natrium de grond laat zwellen en “dichtslaan” waardoor zuurstoftekorten in de wortelzone ontstaan (Roest et al., 2003).

Risico's en belang

Veranderingen in de bodemwaterkwaliteit zijn voor Delfland vermoedelijk van gering belang. De effecten kunnen deels onder controle worden gehouden door middel van waterhuishoudkundige maatregelen (bijv. grondwaterwinning Delft en effect op kwel). Op sommige effecten beschreven in deze paragraaf kan het hoogheemraadschap niet ingrijpen (versterkte uitspoeling droge zandgronden), maar de vraag is ook of het om een ernstig probleem gaat dan wel of er überhaupt sprake is van een effect. Het verloop van bodemvormende processen is daarentegen ook van belang in relatie tot bodemdaling door klink en veenoxidatie. Hier wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

Kennishiaten

Verhoogde uitspoeling bij de droge zandgronden en verandering in de bodemfaunasamenstelling door klimaatverandering zijn kennishiaten.

8.2 Bodemdaling en -stabiliteit

Klimaattrends die van invloed zijn op bodemdaling en -stabiliteit zijn:

- toename van verdamping in de zomer
- toename van hittegolven
- toename van de neerslag in de winter
- afname van hoeveelheid neerslag in de zomer

- toename van intensiteit extreme zomerbuien

Indirecte klimaatfactoren die van invloed zijn:

- Toename van stijghoogten in watervoerend pakket door hogere zeespiegel.

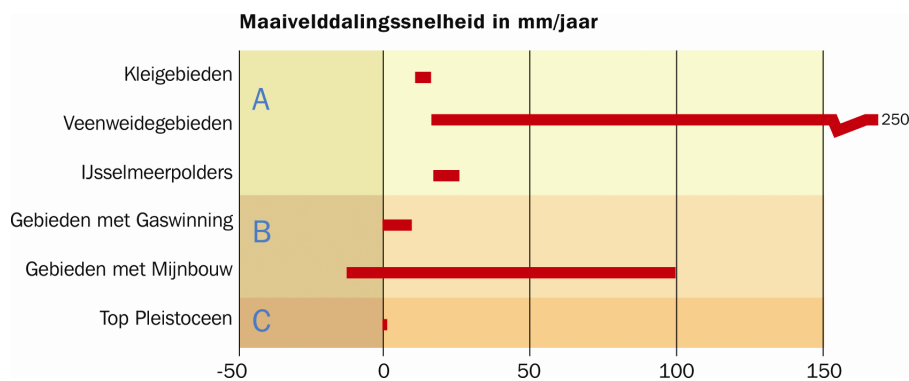
Effecten

Het klimaat is direct en indirect van invloed op de mate van *bodemdaling*. Een indirect gevolg van het veranderende klimaat is de reactie van de grond op veranderd peilbeheer als gevolg van de klimaatverandering. Directe invloeden hebben betrekking op oxidatie van veen, uitdroging. Belangrijke variabelen zijn hierbij hogere regenval, temperatuur en evapotranspiratie, in mindere mate zeespiegelstijging.

De *bodemstabiliteit* komt tot uitdrukking in de opbarstgevoeligheid van de bodem. De verhouding tussen het totaal gewicht van de deklaag en de stijghoogte in de eerste watervoerende laag bepaalt of een bodem stabiel is. De klimaatvariabelen zijn gelijk aan die bij bodemdaling, maar zeespiegelstijging is hierbij belangrijker door de invloed van de stijghoogte op de stabiliteit.

Bodemdaling

Bodemdaling in laag Nederland is een gevolg van een aantal factoren, variërend van tektonische daling tot klink en venoxidatie veroorzaakt door waterbeheer. Laatstgenoemde factoren zijn in Delfland dominant.



Figuur 8.1: Relatieve bodemdalingssnelheden van verschillende processen. De potentieel hoge waarden voor de maaiveldalingsnelheid in veenweidegebieden kunnen tijdelijk voorkomen bij grote peilverlaging (zoals is uitgevoerd in Friesland bij ruilverkavelingen), door het logaritmische verloop van de zetting.

Een warmer klimaat met drogere zomers heeft vooral gevolgen voor veenweidegebieden (Midden Delfland). Oxidatie van organische bestanddelen wordt veroorzaakt door bacteriële activiteit. Deze neemt toe met hoger wordende temperatuur. Drogere zomers zullen bij gelijkblijvend peilbeheer tot gevolg hebben dat de grondwaterspiegel in de zomer verder uitzakt, waardoor een grotere dikte belucht kan worden en kan oxideren. Dit effect wordt versterkt wanneer de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket ook lager wordt, waardoor de kwel afneemt.

Proefondervindelijk is er een sterke relatie tussen de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand en de maaiveldalingsnelheid door oxidatie. In de winter is door de vernatting van de veenweide de oxidatie tot praktisch nul gereduceerd. De beheersing van de GLG

bepaalt de snelheid en de manier waarop de oxidatie plaats zal vinden. Door de uitzakking van de grondwaterspiegel zullen veel percelen hol trekken. Een plas/dras beheer vertraagt de oxidatie optimaal. De effectiviteit van het opzetten van zomerpeilen neemt in de loop van een jaar af, door de afnemende doorlatendheid van slootwanden. Om oxidatie tegen te gaan zal dus het zomerpeil vroeg in het jaar opgezet moeten worden. In de toekomst zal de uitzakking van de grondwaterspiegel echter effectiever gereguleerd kunnen worden door beregening of infiltratie met drainagesystemen. Wanneer geen totale vernatting wordt gekozen voor deze gebieden zal er een dynamischer peilbeheer gevoerd moeten worden.

In het huidige klimaat houdt ook de lage temperatuur de oxidatie tegen. Wanneer het winterpeil laag wordt gehouden kan bij een stijgende gemiddelde wintertemperatuur een grotere oxidatie ontstaan dan nu, maar door de natter wordende winter zal dit effect nauwelijks merkbaar zijn door het neerslagoverschot.

Effecten van bodemdaling zijn an sich in Delfland beperkt. Alleen gebieden in Midden-Delfland met veen in de top van het bodemprofiel zijn zeer gevoelig voor bodemdaling. Bodemdaling versterkt echter wel andere effecten, zoals wateroverlast, door nadelige effecten van bodemdaling op de drainage en opvoerhoogte.

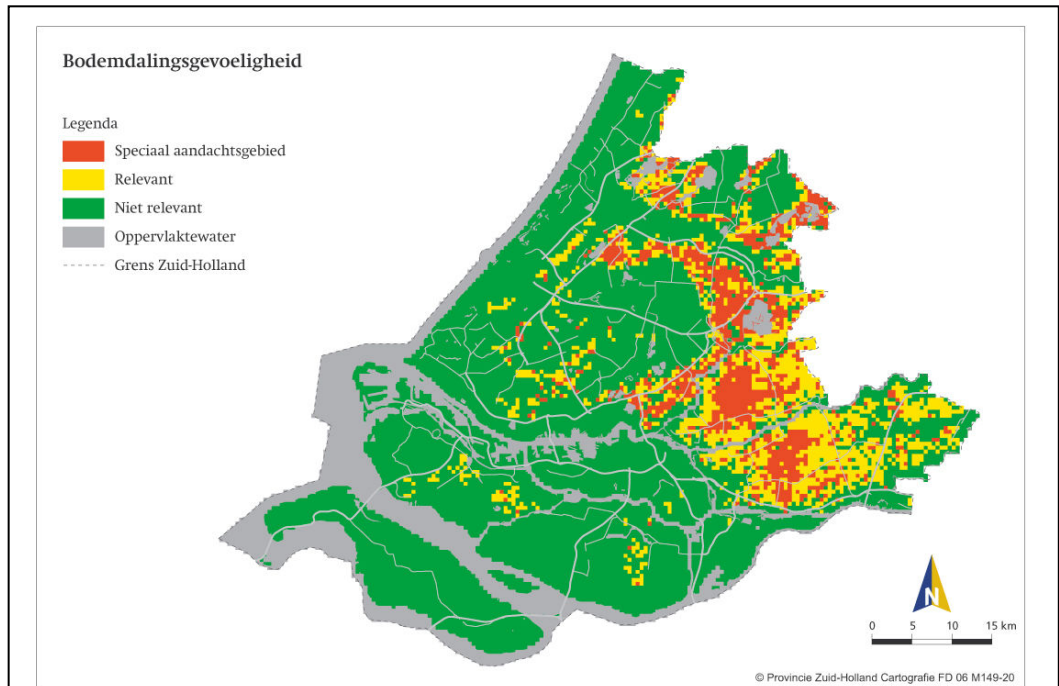
Risico's en belang

In voor bodemdaling gevoelige gebieden zal door klimaatverandering, bovenbelasting en ontwatering de bodemdaling voortgaan, vooral door de voortschrijdende oxidatie van veen.

Bij voortzetting van het traditionele waterbeheer in de 'veenpolders' zal de spiraal van peilverlaging → bodemdaling → peilverlaging niet worden doorbroken en is de functie niet duurzaam. In landbouwgebieden zullen plaatselijk de financieel-economische gevolgen van een weinig draagkrachtige bodem moeten worden geaccepteerd. Door aanpassingen aan landbouwtrekkers en -machines (licht materiaal op brede banden) kunnen de gevolgen worden beperkt. Bodemdaling kan worden gestopt door het permanent opzetten van water, bijvoorbeeld voor natte natuur met eventueel de mogelijkheid van veengroei. Infiltratie van water in veenpolders tijdens droogtes kan bodemdaling vertragen.

Een transformatie naar glastuinbouw in voor bodemdaling gevoelige gebieden wordt ontraden. Verglazing leidt tot afdekking van de bodem. Hierdoor infiltreert minder regenwater in de bodem, waardoor afhankelijk van de wijze waarop geteeld wordt, het grondwaterpeil kan dalen. Dit leidt tot verdere verdroging en oxidatie van het veen en tot versnelling van de bodemdaling.

In stedelijke gebieden moet rekening worden gehouden met blijvende meerkosten voor onderhoud en herstel van zaken als kades, wegen, nutsleidingen, openbaar groen en tuinen. Door aanpassing van waterbeheer (verhoging van oppervlaktewaterpeil, opvang van regenwater en het op peil houden van het grondwater door infiltratie van water in de bodem) en gebruik van ophoogmateriaal met een laag volumegewicht kan bodemdaling worden vertraagd.



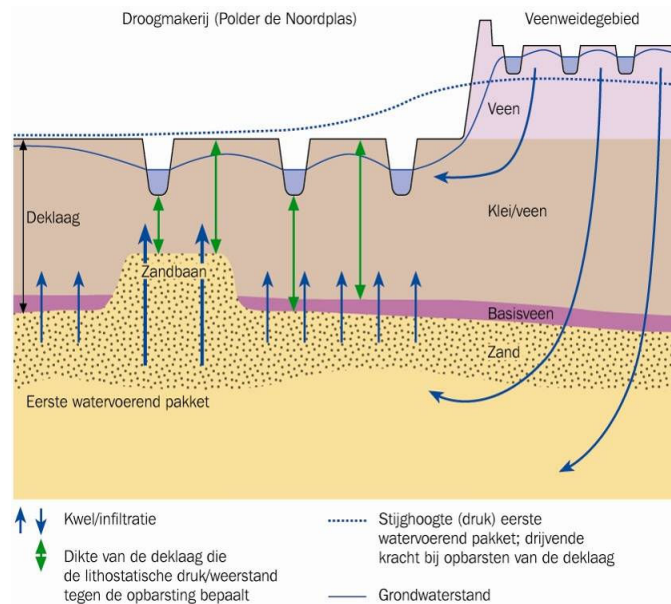
Figuur 8.2: Bodemdalinggevoeligheid van Zuid-Holland. Rood = speciaal aandachtsgebied, sterk gevoelig; geel= maaiveld daling relevant, matig gevoelig; groen= maaiveld daling minder relevant, weinig tot niet gevoelig (Bron: Bodemvisie Provincie Zuid-Holland, 2006)

Bodemdaling in Zuid-Holland heeft een zeer sterke samenhang met waterbeheer. Daarom is het niet mogelijk om realistische voorspellingen te doen voor bodemdaling over langere perioden. In plaats daarvan is de bodemdalinggevoeligheid in kaart gebracht. Hiervoor is uitgerekend hoeveel veenoxidatie en klink er theoretisch zou optreden over een periode van 100 jaar, bij een vaste ontwateringsdiepte van 1 m en handhaving van de huidige stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. Van de berekeningsuitkomsten zijn vervolgens drie klassen gemaakt: 'niet relevant', 'relevant' en 'speciaal aandachtsgebied'. De klassen weerspiegelen variaties in de opbouw van de ondergrond. Waar vooral zand voorkomt, is bodemdaling niet relevant. In klei- en veengebieden speelt bodemdaling wel een belangrijke rol. Kleigebieden en gebieden met een relatief dunne veenlaag vallen in de klasse 'relevant'. Het 'speciaal aandachtsgebied' omvat de tien procent van het provinciaal landoppervlak met de grootste bodemdalinggevoeligheid. Het gaat hierbij vooral om gebieden met een dikke veenlaag.

Uit de kaart voor bodemdalinggevoeligheid blijkt dat een groot deel van de veenweidegebieden vanuit het thema bodemdaling om speciale aandacht vraagt bij inrichting en waterbeheer. Dit geldt vooral voor die gebieden waar het veen direct aan maaiveld voorkomt en niet wordt bedekt door klei (o.a. delen van Midden-Delfland). In de droogmakerijen is het veen verdwenen door vervening en is bodemdaling minder relevant. Ook langs de Oude Rijn, op de Zuid-Hollandse eilanden en in een brede zone langs de Noordzeekust, met uitzondering van de laagten tussen de strandwallen, is bodemdaling niet relevant.

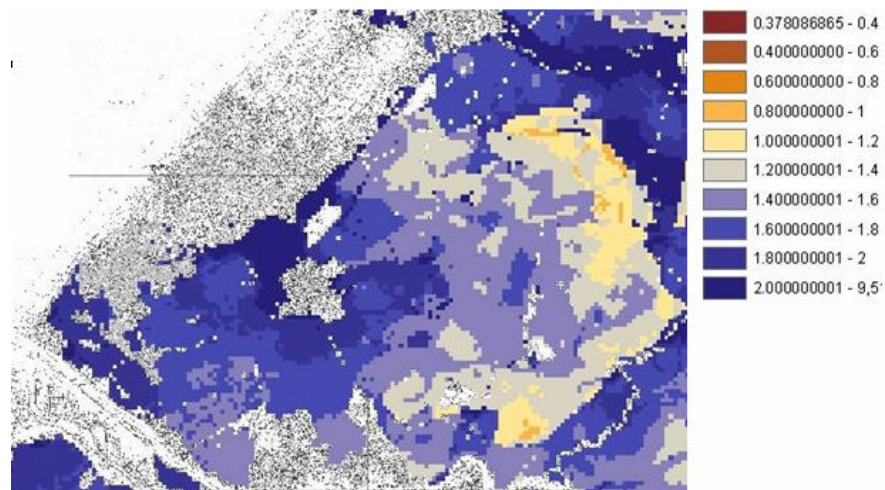
Bodemstabiliteit

De bodemstabiliteit komt in het geding wanneer het gewicht van de deklaag van de bodem (de lithostatische druk) geen weerstand meer biedt tegen de opwaartse of zijdelingse druk van het grondwater. Hierdoor kan opbarsting van de bodem optreden, veelal in de vorm van plaatselijke ‘wellen’.



Figuur 8.3: Schematische weergave van drukverhoudingen tussen deklaag en grondwater aan rand van diepe droogmakerij.

In een inventarisatie van de opbarstgevoeligheid in Zuid-Holland is door TNO een kaart gemaakt van de evenwichtsverhouding tussen het gewicht van de deklaag en de opwaartse grondwaterdruk in het eerste watervoerend pakket (figuur 8.3).



Figuur 8.4: Opbarstindex. Hoge index (blauw) = minder kans op opbarsting, lage index (rood) = meer kans op opbarsting.

De opbarstindex is een goede indicator voor de bodemstabiliteit en heeft een directe relatie met de stabiliteit van met name de veenkades (de Wilnis case).

Uit de kaart blijkt dat vooral langs de randen van de diepe polders de opbarstindex het laagst is. Hier komen ook de meeste wellen voor in de sloten. Gebleken is dat wellen voorkomen bij een opbarstindex lager dan 1,2. Bij een toenemende stijghoogte in het eerste watervoerend pakket zullen in de gebieden met een opbarstindex van 1,2 tot 1,4 als eerste wellen gaan optreden. In de inventarisatie van de gevolgen van zeespiegelstijging door het Milieu en Natuur Planbureau is berekend dat de kweldruk alleen in een betrekkelijk smalle strook langs de kust en langs de grote rivieren met open verbinding met zee toeneemt. Het gebied waar de kans op wellen dientengevolge toeneemt, is hierdoor beperkt tot een smalle strook van Vlaardingen tot Nieuwerkerk aan de IJssel.

De opbarstindex zal ook toenemen waar de oxidatie van het veen in de veenweidegebieden doorgaat. Dit is het geval in de gebieden met een hoge bodemdalingsgevoeligheid (zie figuur 8.2), het eerste in sloten en boven donken en gefundeerde zandbanen. Bij een grotere droogte zullen ook gebieden met een kleidek gevaar lopen, wanneer uitdroging in de zomer tot krimpscheuren in het kleidek gaat leiden. Hierdoor kan onderliggend droogvallend veen ook gaan oxideren en krimpen. In totaal betreft het risicogebied een relatief klein deel van de oppervlakte van Delfland.

In de gebieden waar geen veen aan de lucht wordt blootgesteld neemt de lithostatische druk minder sterk af. Alleen de verdroging draagt dan bij aan de vermindering van het gewicht van de deklaag. Kleigebieden zullen ook inklinken, maar het effect daarvan op de lithostatische druk is matig.

Risico's en belang

De kans op instabiliteit van de bodem (opbarsting, wellen) is het groots aan de randen van diepe droogmakerijen, in slootbodems of plassen. Voor zover bekend komen in Delfland niet veel wellen voor (uitzonderingen zijn Leidseveen en Oranjeplas). Via wellen kan veel (zout) grondwater in het oppervlaktewater komen, het is daarom een fenomeen waarop men alert moet zijn.

Wanneer de kwelsituatie toeneemt, of wanneer een inzijgingssituatie overgaat in een kwelsituatie (zoals in Delft en omstreken bij het stoppen van de DSM onttrekking), neemt ook de kans op wellen toe.

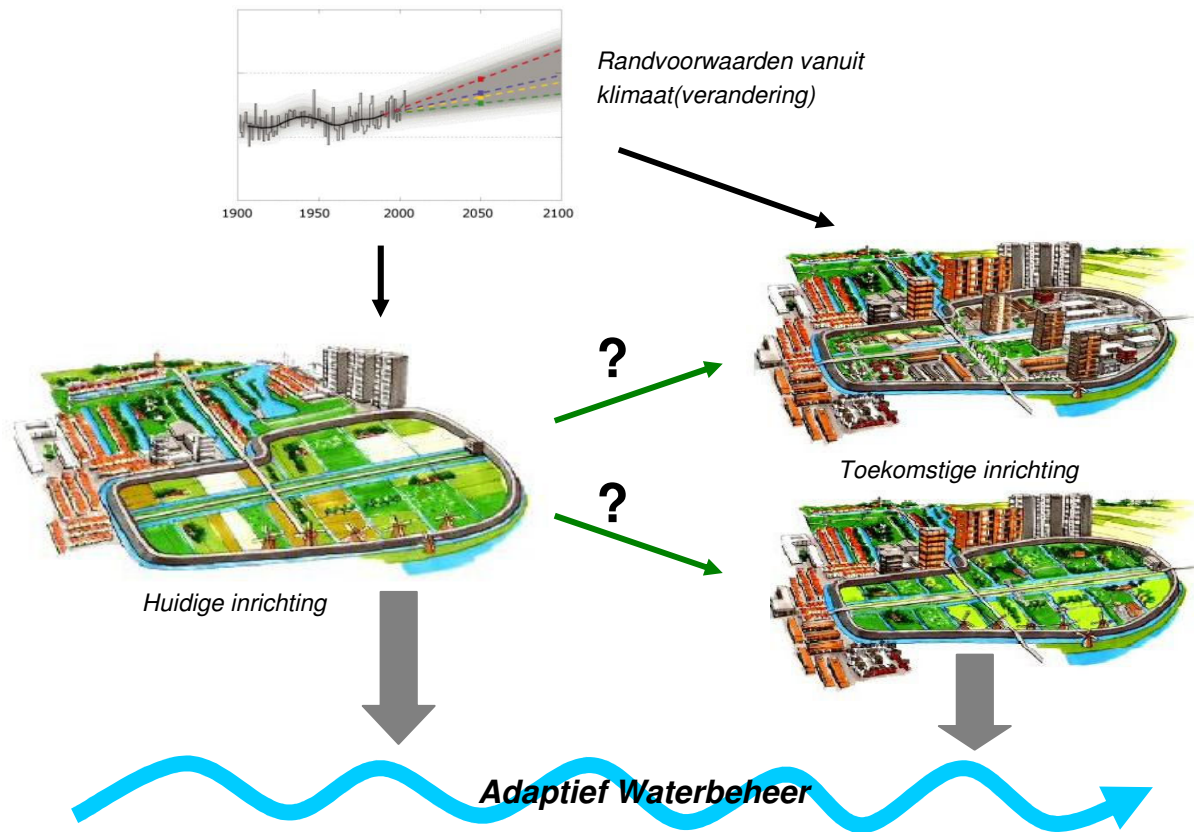
Opbarstrisico's zijn vooral ook groot bij civieltechnische werken. Voor de omgeving van de in het gebied geplande grote werken zoals de tunnelbak van de A4 en de spoortunnel zijn de gevolgen naar verwachting beperkt. De grondwaterstroming in het watervoerend pakket zal door een tunnelbak slechts in geringe mate worden beïnvloed, doordat het watervoerend pakket dieper ligt dan de bak. De huidige ondiepe grondwaterstroming en oppervlakkige waterstroming wordt wel doorsneden. Het watercirculatie en -afvoersysteem dient hier dan op aangepast te worden.

Kennishiaten

Er is nog te weinig bekend over de temperatuurafhankelijkheid van de veenoxidatie, met name voor de veentypen in Nederland. Momenteel loopt er een Europees onderzoeksproject, waarin dit wordt onderzocht. Eerder onderzoek toonde aan dat de oxidatie exponentieel toe zou nemen met de temperatuur (Stephens, J.C. et al, 1984). Ook het stimulerende effect van CO₂ en methaangasproductie uit veen op klimaatverandering is van belang. Hiernaar loopt momenteel nog onderzoek.

9 Ruimtelijke ontwikkelingen en waterbeheer

Actuele en verwachte ruimtelijke ontwikkelingen en de daarbij gewenste functionaliteit van het landgebruik stellen steeds hogere en complexere eisen aan het waterbeheer. Klimaataspecten zijn hierbij mede bepalend voor de fysieke randvoorwaarden. Het vraagstuk van klimaatadaptatie en ruimtelijke inrichting draait in feite om het kunnen accommoderen van ruimtelijke ontwikkelingen binnen de fysieke randvoorwaarden van het klimaat. Vanwege de snelle en ingrijpende ruimtelijke veranderingen in de regio is dit voor Delfland ook nu al, bij het *huidige* klimaat en de daarbij optredende extremen en effecten, een opgave van formaat. Ook onder de huidige klimatologische condities komt de houdbaarheid van een leefbare en economisch rendabele ruimtelijke inrichting immers steeds meer onder druk te staan. Vanuit dit perspectief kan gesteld worden dat de opgaven voor een waterbeheer dat inspeelt en reageert op veranderingen, in Delfland vooral worden bepaald door de huidige en toekomstige ruimtelijke inrichting. Klimaatverandering vormt een additionele complicerende en sturende factor (zie figuur 9.1).



Figuur 9.1: Adaptief waterbeheer en ruimtelijke ontwikkelingen (bron illustraties: West 8 Urban Design & Landscape Architecture)

Om handen en voeten te geven aan de ruimtelijke component van (adaptief) waterbeheer wordt in dit hoofdstuk aangegeven hoe de wisselwerking tussen ruimtelijke ontwikkelingen, klimaataspecten en waterbeheer inzichtelijk kan worden gemaakt. Tevens wordt gesuggereerd welke sporen kunnen worden gevolgd door het hoogheemraadschap om waterbeheer en klimaat in discussies over ruimtelijke ordening prominenter op de agenda te krijgen.

9.1 Inzichtelijk maken van wisselwerking tussen ruimtelijke inrichting en klimaat

De wisselwerking tussen ruimtelijke inrichting en klimaat kan worden geschetst aan de hand van diverse met klimaat verbonden thema's en effecten, zoals in de hoofdstukken 5 t/m 8 is behandeld. Voor een passende koppeling van klimaat met ruimtelijke inrichting kan de volgende indeling van klimaatgerelateerde thema's worden gehanteerd:

1. Overstromingsveiligheid en waterkeringen
2. Wateroverlast
 - a. Grondwater
 - b. Oppervlaktewater
3. (Structurele) droogte (incl. verdroging van natuurgebieden)
4. Verzilting
5. Waterkwaliteit
 - a. Grondwater
 - b. Oppervlaktewater
6. Kwel en wellen

De ruimtelijke inrichting kan worden gekarakteriseerd aan de hand van zogenaamde *gebiedstypen*, in aansluiting op de veel gehanteerde typologie zoals die is ontwikkeld in het kader van de website www.ruimtexmilieu.nl en achterliggende studies.



Figuur 9.2: Gebiedstypen. De thema's van de ruimtelijke ordening worden veelal geduid als monofunctionele thema's als wonen, werken, verkeer, water en, natuur. Maar het ruimtegebruik in Nederland is altijd multifunctioneel en bestaat daarmee uit een mix van voorgenoemde traditionele thema's en opgaven. Deze zijn daarom vertaald naar 11 gebiedstypen. Deze gebiedstypen representeren grofweg de voorkomende gebieden in Nederland. Per gebiedstype is een samenhangend geheel van eigenschappen en kwaliteiten geschetst. De gebiedstypen zijn gebaseerd op een mix van de aspecten van ruimtegebruik, verkeer, water, natuur, energie en leefbaarheid. (bron: www.ruimtexmilieu.nl)

Hieronder zijn de kenmerken van de onderscheiden gebiedstypen beschreven, inclusief voorbeelden in Delfland:

1. *Hoogstedelijk gebied*
Intensief en meervoudig ruimtegebruik in de nabijheid van hoogwaardig openbaar vervoer; veel functies binnen een klein oppervlak: wonen, winkels, kantoren, voorzieningen en infrastructuur. Voorbeelden: historische binnensteden, moderne citycentra en kantorencentra met stedelijke functies.
2. *Stedelijk gebied*
Intensief ruimtegebruik; functies in het gebied zijn wonen, werken (kantoren en 'schone' bedrijvigheid) en voorzieningen (vooral winkels en horeca). Goed openbaar vervoer aanwezig; minder hoogbouw dan in een hoogstedelijk gebied, de woonfunctie is belangrijker. Voorbeelden: historische binnensteden, moderne winkelcentra, naoorlogse stadswijken, middelhoogbouw rond stadscentra en woonwijken uit de 19e eeuw.
3. *Bedrijventerrein*
Productie, grootschalige detailhandel en transport- en distributiebedrijven. Kantoren en 'schone bedrijvigheid' horen niet op een bedrijventerrein. Goed bereikbaar voor auto's en vrachtverkeer, bij intensief ruimtegebruik (veel werknemers) ook aansluiting op openbaar vervoer.
4. *Infrastructuur(-zones)*
Vaak aan de stadsranden gelegen zones die bestaan uit rijkswegen al dan niet gebundeld met spoor- en waterwegen en de omliggende zone waar als gevolg van milieu- en geluidsoverlast weinig ruimtelijke ontwikkeling mogelijk is; weinig bebouwing, volkstuinjes, opslagruimten (caravans, bouwmaterialen, oude auto's), sportvelden en extensieve vormen van recreatie. Voorbeelden: de A15-zone in Rotterdam-zuid tussen Vaanplein en Charloise Poort; de A4-zone tussen de knooppunten Ypenburg en Prins Clausplein.
5. *Glastuinbouw*
Kassen, bijbehorende voorzieningen (zoals waterbassins, parkeerterreinen) en aan glastuinbouw toeleverende bedrijven; verspreide woningen, wegen en waterpartijen.
6. *Suburbaan gebied*
Hoofdzakelijk woonfuncties, vaak woningen met tuinen; redelijke ontsluiting door openbaar vervoer. Aanwezigheid van voorzieningen (winkels, scholen, sociaal culturele voorzieningen) en ruimte voor groen en water; op kleine schaal ook kantoren en 'schone bedrijvigheid'. Voorbeelden: ruim opgezette voor- en naoorlogse woonwijken, VINEX-locaties.
7. *Villawijk*
Villawijken brengen wonen en groen met hoge kwaliteiten bij elkaar; beperkte recreatieve functie, bijvoorbeeld als groene recreatieve verbindingzone. De woonfunctie staat centraal, maar wonen en werken kunnen onder één dak plaatsvinden. Voorbeelden: gebieden tussen Wassenaar en Den Haag; Westlandse Zoom (in ontwikkeling).
8. *Stedelijk groen*
Natuur dichtbij of in de stad, zoals stadsparken, begraafplaatsen; goede bereikbaarheid voor fietsers en voetgangers. Voorbeelden: Zuiderpark (Den Haag), Westerpark (Zoetermeer), Delftse Hout.
9. *Cultuurlandschap*
Landbouw, recreatie, natuur en waterberging, met landschap en cultuurhistorie als belangrijke waarden; goed bereikbaar en toegankelijk voor fietsers. Naast agrarische bedrijfsgebouwen komen er verspreid woningen voor. Voorbeeld: Midden-Delfland.
10. *Natuurlandschap*
Natuur als hoofdfunctie, waar mogelijk gecombineerd met extensieve recreatie en (zeer) extensieve landbouw. In het laagveengebied (schraal)graslanden, sloten, moerassen, plassen en

vaarten; in het zeekleigebied natte graslanden, sloten, moerassen en bossen; in de binnenduinrand jonge duinen, schraalgraslanden, struwelen en bossen.

11. *Recreatielandschap*

Meestal bij stadsranden gelegen gebieden met combinaties van landbouw, natuur, water, extensieve vormen van recreatie en functies zoals golfbanen. Beperkt aanwezige woonfuncties, steeds meer in combinatie met recreatiegerelateerde activiteiten zoals maneges, minicampings en horeca.

Voorbeelden: gebied tussen Delft en Pijnacker-Nootdorp met Delftse Hout, Bieslandse Bos en Dobbeplass.

Het belang van de eerder genoemde klimaatgerelateerde thema's is voor de verschillende gebiedstypen anders. Tabel 9.1 geeft – vooralsnog indicatief - een globaal overzicht van de wisselwerking tussen de ruimtelijke inrichting van gebieden (de gebiedstypen) en de klimaatgerelateerde thema's. Deze confrontatie kan voor iedere combinatie van gebiedstype en thema nader worden uitgewerkt (88 cellen in deze tabel). Dit voert echter te ver voor de onderliggende studie. In onderstaand kader worden als voorbeeld voor de thema's 'overstromingsveiligheid' en 'wateroverlast' in relatie tot de gebiedstypen 'hoogstedelijk gebied' en 'bedrijventerreinen' de legenda-aanduidingen in tabel 9.1 nader verklaard.

Overstromingsveiligheid ↔ hoogstedelijk gebied

Interne effecten (binnen het gebiedstype)

Het is evident dat de bescherming van hoogstedelijk gebied tegen overstromingsgevaar een zwaarwegend aandachtspunt is voor het waterbeheer.

Externe effecten (effecten naar de omgeving)

De aanwezigheid en groei van hoogstedelijke gebieden kan een verhoogde, fysieke druk op (delen van) de waterkeringen opleveren. Bijvoorbeeld vanwege ruimtelijke claims om dichtbij of op waterkeringen en boezemkades te bouwen. Ook ontstaat druk op de boezemwateren door de benodigde hoge afvoer van oppervlaktewater. Verder kan worden geredeneerd dat met de groei en intensivering van stedelijk gebied het belang van de veiligheid als geheel toeneemt, en daarmee de druk om waterkeringen nog veiliger te maken, waarvoor dan weer ruimte nodig is.

Bedrijventerreinen ↔ wateroverlast (oppervlakte- en grondwater)

Interne effecten

Bedrijventerreinen lopen schade op bij wateroverlast als gevolg van extreme neerslag. Om de kans op schade te beperken kan in het ontwerp rekening worden gehouden met meer waterbergingscapaciteit of een snellere afvoer buiten het gebied.

Daar waar sprake is van constructies in de grond (kelders, parkeergarages, zettingsgevoelige infrastructuur) kan ook schade ontstaan als gevolg van veranderende grondwatersituaties. Verder kunnen in gebouwen ook vochtproblemen optreden bij stijgend grondwater.


Externe effecten


Bedrijventerreinen gaan gepaard met een forse oppervlakteverharding. In laaggelegen, natte en zettingsgevoelige gebieden worden de terreinen in de regel op een laag ophoogzand aangelegd. De combinatie van beide aspecten heeft vaak gevolgen voor de afwatering naar de omgeving. Als de neerslagpatronen veranderen zullen ook de effecten naar de omgeving veranderen, afhankelijk van in hoeverre daar bij ontwerp en aanleg rekening mee is gehouden.

Tabel 9.1: Wisselwerking tussen ruimtegebruik en klimaatgerelateerde thema's

Klimaatthema Gebiedstype	1. Overstromings- veiligheid en waterkeringen	2a. Water- overlast (grondwater)	2b. Water- overlast (opp.water)	3. (Structurele) droogte	4. Verzilting	5a. Water- kwaliteit (grondwater)	5b. Water- kwaliteit (opp.water)	6. Kwel, wellen
1. Hoogstedelijk gebied	↘ (zie kader)	↘	↘	↘		↘	↘	
2. Stedelijk gebied	↘	↘	↘	↘		↘	↘	
3. Bedrijventerrein	↘	↘ (zie kader)	↘ (Zie kader)	↘		↘	↘	
4. Infrastructuur	↘	↑	↘	?		↘	↘	
5. Glastuinbouw	↘	↘	↘	↘		↘	↘	?
6. Suburbaan gebied	↘	?	↑	↘		?	↑	
7. Villawijk	↑	?	↑	?			↑	
8. Stedelijk Groen								
9. Cultuurlandschap				↘	↑	↘	↘	
10. Natuurlandschap								
11. Recreatielandschap				↘		?	?	?

Legenda:

 zwaarwegend aandachtspunt

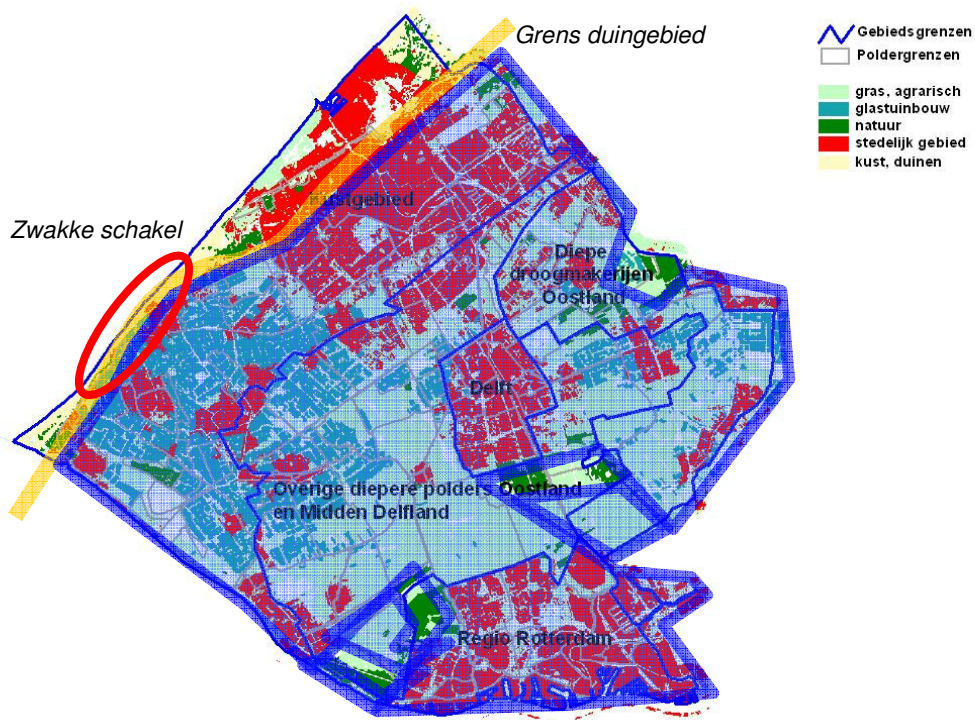
 aandachtspunt

↑ gebiedstype versterkt effecten lokaal

↘ gebiedstype versterkt effecten ook naar omgeving

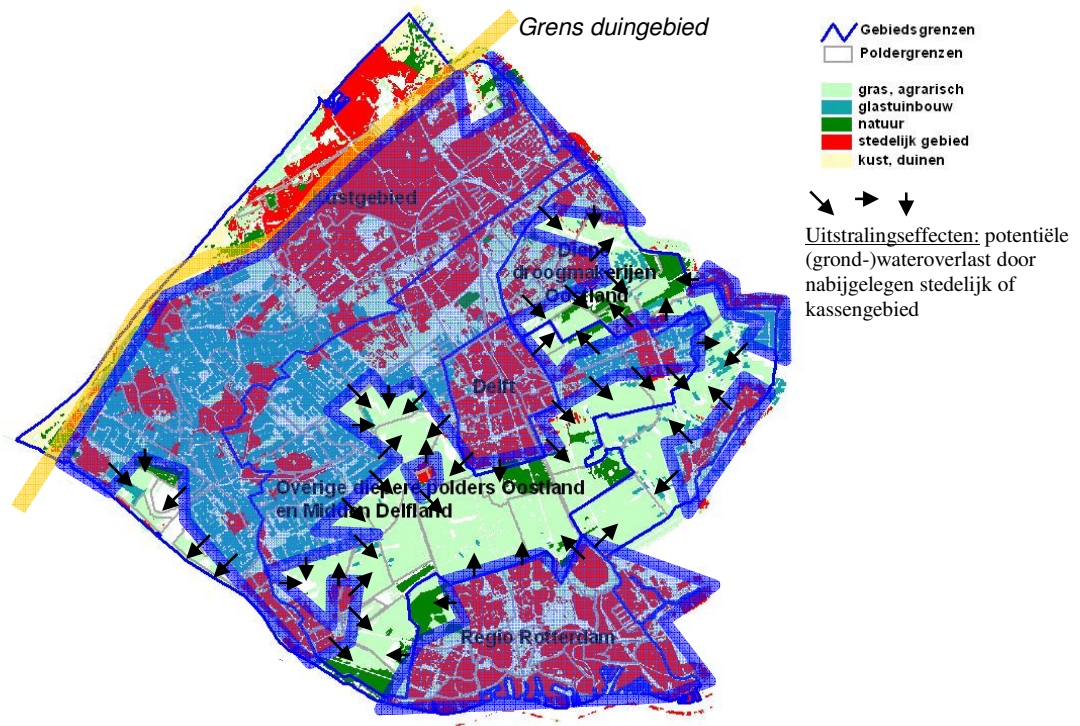
9.2 Karteren van aandachtsgebieden klimaatthema's in relatie tot gebiedsfuncties

De thema's uit tabel 9.1 kunnen vervolgens ook geografisch worden vertaald om een overzicht te krijgen van de meest relevante aandachtsgebieden voor adaptief waterbeheer. Vanuit het fysieke systeem geredeneerd zijn – als de ruimtelijke inrichting nog even buiten beschouwing wordt gelaten - alle genoemde klimaatthema's in heel het gebied van Delfland potentieel relevant. Tot op zekere hoogte kan daarbij wel onderscheid worden gemaakt tussen het duingebied, waar de kwantitatieve waterproblematiek (thema's 1, 2 en 3) een stuk minder van belang is¹¹, en de rest van Delfland, waar alle thema's potentieel relevant zijn. Vervolgens kan de relatie worden gelegd met het actuele en toekomstige landgebruik. Door de indicaties van tabel 9.1 te vertalen naar het landgebruik zoals weergegeven in figuur 2.2 kunnen de actuele aandachtsgebieden per thema in kaart worden gebracht (zie fig. 9.3a en 9.3b). De legenda van de landgebruikskaat kan daarbij worden beschouwd als een vereenvoudigde weergave van de 11 onderscheiden gebiedstypen, waarbij de 'stedelijke' gebiedstypen (1 t/m 4, 6 en 7) onder één legenda-eenheid ('stedelijk gebied') vallen. In de figuren 9.3a en 9.3b is dit in beeld gebracht voor de klimaatthema's overstromingsveiligheid (9.3a) en wateroverlast (9.3b). Ook de andere thema's kunnen met een vergelijkbare methode nader in kaart worden gebracht. Deze studie beperkt zich echter tot het beschrijven van de werkwijze.



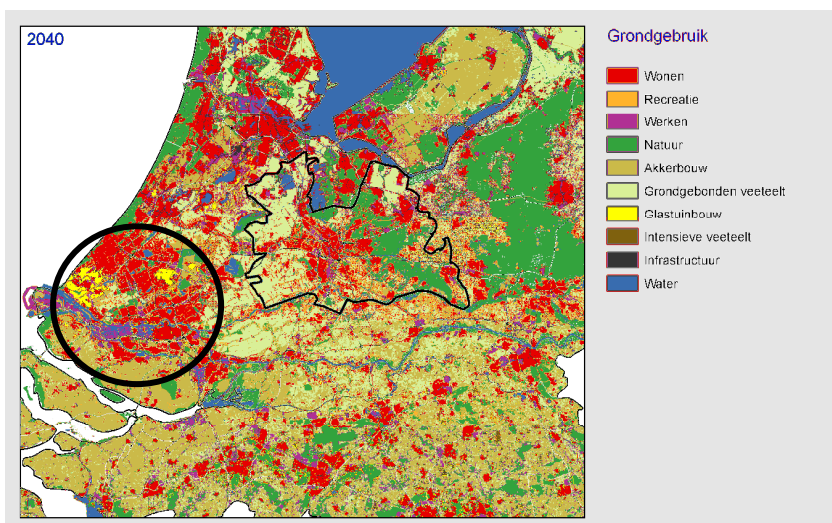
Figuur 9.3a: Aandachtsgebied overstromingsveiligheid en waterkeringen

¹¹ Het thema 'overstromingsveiligheid en waterkeringen' is voor een deel van het duingebied natuurlijk wel weer relevant als het gaat om 'zwakke schakels'.



Figuur 9.3b: Aandachtsgebieden potentiële (grond-)wateroverlast en uitstralingseffecten

Op een vergelijkbare wijze kunnen ook *nieuwe* aandachtsgebieden in relatie tot *toekomstige* ruimtelijke ontwikkelingen in kaart worden gebracht. Dit is mogelijk door gebruik te maken van bijvoorbeeld de ruimtelijke scenario's van het MNP. Figuur 9.4 geeft hiervan een voorbeeld uit de recent gepubliceerde MNP-studie 'Nederland Later' (MNP, 2007). Met name de potentieel enorme toename van de stedelijke druk valt daarbij op, met als gevolg heel veel extra druk op de meeste waterbeheerthema's. Hoe dan ook, er zullen in de toekomst voortdurend functiewijzigingen optreden in het landgebruik. Door het uitwerken van tabel 9.1 voor diverse ruimtelijke scenario's kunnen de gevolgen hiervan voor adaptief waterbeheer systematisch in kaart worden gebracht.



Figuur 9.4: Toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen volgens het MNP-scenario 'Hoge Ruimedruk'

9.3 Klimaat en waterbeheer op de RO-agenda

Traditioneel richt het waterbeheer door de Waterschappen zich op de eisen van de ruimtelijk-economische functies in een gebied. Het is echter duidelijk dat het huidige waterbeheer in Delfland onder druk staat door de snelle ruimtelijke ontwikkelingen van de laatste jaren en ontwikkelingen die nog verwacht kunnen worden. Daarbovenop komt nog een geleidelijk toenemende druk door klimaatveranderingen. Deze omstandigheden vragen om een veel betere aansluiting van het waterbeheer bij ruimtelijke ontwikkelingsprocessen. Met inachtneming van de huidige taken en rollen van het Hoogheemraadschap van Delfland, en de (verwachte) ruimtelijke ontwikkelingen in het beheersgebied kunnen daarbij een aantal sporen worden gevolgd. Deze worden hieronder beschreven.

1. *Verder ontwikkelen technische oplossingen*

Een belangrijke kracht van het hoogheemraadschap is gelegen in haar kennis van het watersysteem. Op basis van bekende en te verwachte ruimtelijke ontwikkelingen en klimaatveranderingen kunnen de gevolgen voor het watersysteem worden ingeschat. Om gewenste effecten te bereiken en ongewenste tegen te gaan kunnen nieuwe of nieuwe combinaties van maatregelen worden bestudeerd.

Om beter tegemoet te kunnen komen aan de toenemende complexiteit en samenhang tussen diverse waterbeheersthema's en ruimtelijke ontwikkelingen hebben geïntegreerde watersysteemanalyses en –oplossingen de voorkeur boven het werken met vaste normen en toetsing daarvan. Daarbij is het van belang om mogelijke oplossingen op verschillende schaalniveaus en tijdsschalen te beschouwen.

Verder is het van belang ook de grenzen van nieuwe technische oplossingsstrategieën te (ver-)kennen. In dat geval zullen andere sporen moeten worden gevolgd.

2. *(Verder) ontwikkelen van goede indicatoren voor kosten, baten en functionele consequenties*

Om adequaat te kunnen participeren in ruimtelijk-economische planprocessen is het van belang kosten en baten van waterbeheer in relatie tot de relevante ruimtelijke inrichtingsaspecten transparant te maken. Ook dient het Hoogheemraadschap de consequenties van waterbeheersmaatregelen voor de functionaliteit van het landgebruik transparant te maken, bijvoorbeeld met betrekking tot risico's op wateroverlast of droogte. Daarbij houdt 'transparant maken' ook in het vertalen naar de terminologie van betrokken groepen, zoals beleidsmakers, landgebruikers, bewoners, ontwikkelaars, etc. Belangrijk aandachtspunt in dit verband is de verdeling van lusten en lasten voor verschillende functies en doelgroepen. Ook hier spelen verschillende tijdsschalen en schaalniveaus weer een belangrijke rol: kosten, baten en consequenties zijn immers zelden aan één schaalniveau of tijdshorizon gebonden.

De complexe opgave voor het adequaat participeren in planprocessen kan daarmee worden geformuleerd als het transparant maken van kosten, baten en overige consequenties van waterbeheer voor verschillende functies en doelgroepen voor verschillende termijnen en op verschillende schaalniveaus.

Voor de inbreng van dit soort complexe informatie in planprocessen is de inzet van geavanceerde interactieve instrumenten en technieken aan te bevelen.¹²

3. *Beïnvloeding ruimtelijk beleid*

De effectiviteit van het waterbeheer kan aanzienlijk verbeteren als het wordt geïntegreerd in ruimtelijke plannen en beleid, maar ook in het ruimtelijk beheer. In dit verband is het relevant onderscheid te maken naar een aantal categorieën van waterbeheer:

- Operationeel beheer
- 'Eenvoudige' maatregelen, bijv. gemaaluitbreiding of het scheppen van extra berging
- Complexe maatregelen, waarbij ook aanpassingen aan het ruimtelijk ontwerp en/of beheer gewenst zijn
- Noodzaak tot aanpassingen van RO-beleid en functies
- Acceptatie van risico's en overlast gekoppeld aan het waterbeheer.

¹² Voor beide sporen (1 en 2) biedt het Waterkader Haaglanden een interessant onderzoeksplatform.

Afhankelijk van de categorie waar het om gaat kan op verschillende wijze vorm worden gegeven aan een effectieve aansluiting bij ruimtelijk beleid en beheer. Zonder dit hier nu voor iedere categorie volledig uit te werken kunnen meer algemeen een aantal beïnvloedingsaspecten en -mogelijkheden worden benoemd:

- Verreweg het grootste deel van het gebied van Delfland kan vanuit ruimtelijk oogpunt worden aangeduid als beheersgebied, slechts een beperkt deel is ruimtelijk transformatiegebied, waar meer verregaande ingrepen in de ruimte en het waterbeheer plaatsvinden en waar dus meer aangrijpingspunten zijn voor diverse oplossingsstrategieën. Naarmate men over een langere termijn kijkt wordt de verhouding beheersgebied/ transformatiegebied (logischerwijs) steeds kleiner, en nemen de beïnvloedingsmogelijkheden toe.
- Voor maatregelen die vallen onder het operationeel beheer of onder de categorieën ‘eenvoudige maatregelen’ of ‘complexe maatregelen, waar aanpassingen in ruimtelijk beheer gewenst zijn’ kan in beheersgebieden aansluiting worden gezocht bij beheerders en landeigenaren, zoals boeren, glastuinbouwers, natuurbeheerders en in stedelijk gebied de gemeentelijke (beheers-)afdelingen voor infrastructuur, riolering en de openbare ruimte.
- In verband met oplossingsstrategieën gericht op ruimtelijke transformaties kan onderscheid worden gemaakt tussen ruimtelijk beleid, waarin strategisch richting wordt gegeven aan gewenste ruimtelijke ontwikkelingen op (middel-) lange termijn, en gebiedsontwikkelingen, die zich richten op concrete fysieke ruimtelijke transformaties en worden gekenmerkt door urgentie, dynamiek en complexiteit.
 - Voor beïnvloeding van ruimtelijk beleid dient het Hoogheemraadschap – in de rol van voorwaardenscheppend dienstverlener voor ruimtelijke ontwikkeling én medeordenende partij – gesprekspartner te zijn van de beleids- en strategische afdelingen van gemeenten (beleid stedelijke gebieden), Provincie (beleid buitengebied) en Stadsgebied Haaglanden (regionaal ruimtelijk beleid door samenwerkingsverband van negen gemeenten). Inhoudelijk gaat het om de aansluiting bij het opzetten van gemeentelijke bestemmingsplannen, Provinciale Ontwikkelings Plannen en het Regionaal Structuurplan Haaglanden 2020.
 - Voor beïnvloeding van gebiedsontwikkelingen kan het Hoogheemraadschap in contact treden met de betreffende consortia, projectorganisaties en ontwikkelingsmaatschappijen die daarvoor in de regel speciaal zijn opgericht. Meestal gaat het om samenwerkingsverbanden tussen ontwikkelaars, vertegenwoordigers van betrokken diensten van gemeenten, Provincie, Haaglanden, diverse belangengroepen, en Rijkswaterstaat als er belangrijke infrastructuur in het geding is. Op haar website vermeldt Haaglanden de volgende drie gebiedsontwikkelingen:
 - uitbouw van de Internationale Zone, in het bijzonder het World Forum in Den Haag tot hart van de World’s Legal Capital;
 - een internationaal profiel voor Nieuw Binckhorst; d
 - doorgroei van het Technologisch Innovatief Complex in Delft.
 Ook kunnen hier als voorbeeld de plannen voor de Poelpolder en het Waalblok in het Westland worden genoemd (Ontwikkelingsmaatschappij Het Nieuwe Westland BV).

4. *Ontwikkeling strategische visie*

De sporen 1 en 2 kunnen bijdragen aan een zinvolle invulling van het contact met beleidsorganisaties en ontwikkelingsmaatschappijen over de integratie van waterbeheer in ruimtelijke ordening. Daarnaast kan het hoogheemraadschap de agendering van haar inbreng verscherpen door het ontwikkelen van strategische visie op de waterhuishouding, in relatie tot de (verwachte) ruimtelijke ontwikkelingen. Voor beïnvloeding van ruimtelijk beleid kan deze visie bijvoorbeeld worden opgebouwd vanuit een aantal gecombineerde scenario’s voor toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen, klimaatverandering en adaptief waterbeheer, gebruikmakend van de ruimtelijke ‘taal’ van gebiedstypen en de scenario-systematiek van het MNP. Voor beïnvloeding van gebiedsontwikkelingen gaat het meer om de ontwikkeling van concrete uitgangspunten en randvoorwaarden die men vanuit het waterbeheer – vanuit een lange termijn visie - wil stellen aan de

concrete ruimtelijke transformaties die in de verschillende alternatieven naar voren komen. Ook de ontwikkeling van een strategisch beoordelingskader voor ruimtelijke ontwikkelingsalternatieven is bruikbaar voor participatie bij gebiedsontwikkelingen.

10 Vormgeven van klimaatadaptatie in waterbeheer

10.1 Achtergrond

Beleid voor adaptatie aan klimaatveranderingen staat nog in de kinderschoenen. Het Nationaal Bestuursakkoord Water, opgesteld naar aanleiding van de uitkomsten van de commissie WB21, kan als de eerste poging worden gezien voor het landelijke waterbeheer om tot dergelijk beleid te komen. Ten opzichte van het oorspronkelijke beheer was een nieuw element dat er bij het ontwerp van beheer rekening werd gehouden met toekomstige veranderingen in de natuurlijke randvoorwaarden, dit in plaats van alleen de huidige variatie mee te nemen.

Uitgangspunt voor de veranderende toekomst waren drie scenario's van mogelijke veranderingen, het WB21-laag, -midden en -hoog scenario. Deze scenario's laten zich het best kenschetsen als "nat", "natter" en "natst"¹³. De scenario's suggereerden dat de onzekerheid in de toekomstige ontwikkelingen met name zat in de grootte van de veranderingen en niet in de richting. Immers de trend, het wordt natter, was in alle scenario's gelijk. Wel werd rekening gehouden met een verschillen in een trends tussen gemiddelde veranderingen en veranderingen in extremen.

Door het karakter van de scenario's werd de problematiek rondom wateroverlast het meest relevant. Weliswaar werd opgemerkt dat er ook drogere zomers zouden kunnen gaan voorkomen, maar het belang hiervan werd minder relevant geacht omdat de omvang en intensiteit van die droogte niet substantieel zou gaan afwijken van wat we gewend waren. Omdat alle scenario's ontwikkelingen in dezelfde richting aangaven, waarbij de realisatie van de veranderingen in de verre toekomst (2050) lag, lag het voor de hand om van het midden scenario uit te gaan. Immers, er is voldoende tijd om eventueel te reageren op een versnelling (feitelijk het WB21-hoog scenario), of een vertraging in de klimaat ontwikkelingen (gerepresenteerd door het WB21-laag scenario). In de praktijk zou dit alleen leiden tot een mogelijke eerdere intensivering van het beleid, of een uitstel daarvan. De reactie van het beleid, uitgedrukt in het Nationaal Bestuursakkoord Water, was dan ook om bij de ontwikkeling van maatregelen uit te gaan van ten minste het KNMI-midden scenario.

Met de komst van de nieuwe KNMI 2006 scenario's verandert dit beeld. Behalve dat door de publicatie van 4 scenario's (G, G+, W en W+, zie paragraaf 3.3) een midden scenario ontbreekt, laten de scenario's ook een veel meer divers beeld van de onzekerheid in de toekomstige ontwikkelingen zien. De scenario's kunnen niet meer beschreven worden als nat, natter, natst, maar omvatten combinaties van zeer uiteenlopende nattere en drogere condities. Zo leidt het KNMI-W scenario tot nattere omstandigheden in de winter, veel drogere in de zomer, maar ondanks een verdroging in de zomer nemen de zeldzame extreme buien in omvang toe.

Het uitbrengen van de KNMI'06 scenario's leidt dan ook tot een aantal overwegingen voor het waterbeheer:

1. Niet alleen wateroverlast, maar ook beheer gedurende droge periodes moet geëvalueerd worden.
2. Het is niet meer zo dat er één scenario bestaat dat voor alle ontwikkelingen als een midden scenario kan dienen. Zo zou voor een verandering in de winterneerslag het G+ maar ook het W scenario als een

¹³ Dit waren ook de benamingen die oorspronkelijk aan de scenario's zijn gegeven (Kors et al., 2000)

- centraal scenario kunnen dienen; voor veranderingen in de extreme zomerneerslag zou dat het W+ scenario kunnen zijn; maar voor de veranderingen in zomerneerslag ontbreekt een midden scenario.
3. Ondanks dat de KNMI'06 scenario's andere getallen laten zien dan de WB21 scenario's kan wel worden opgemerkt dat de trend naar een grotere variatie in toekomstige weersomstandigheden in beide scenario generaties wordt voorzien. In dit opzicht zijn de KNMI'06 scenario's alleen maar een intensivering van de WB21 scenario's, ze leiden tot een nog grotere variatie dan eerder gedacht.
 4. De laatste overweging is, dat gezien de grote onzekerheden in klimaatverandering, het zeer waarschijnlijk is dat de volgende generatie van klimaatscenario's weer anders zal zijn dan de huidige.

10.2 Uitgangspunten bij formulering van adaptatiebeleid

Om adaptatiebeleid voor Delfland te formuleren zijn verschillende uitgangspunten te hanteren:

1. Uitgaande van de taken van Delfland
2. Uitgaande van de functies/sectoren die in het beheersgebied een rol spelen
3. Uitgaande van de ruimtelijke inrichting van het beheersgebied (zie hoofdstuk 9)

In dit rapport ligt de nadruk op een benadering vanuit de taken van Delfland. De resultaten (zie hoofdstuk 5 t/m 8) laten zien dat voor de diverse thema's binnen de taken uiteenlopende mogelijke veranderingen in het klimaat relevant zijn. Dit overwegende leidt tot de conclusie dat er niet één scenario is dat als een centrale schatting kan dienen. Daarom moet per taak worden geanalyseerd op welke aspecten die het meest gevoelig/kwetsbaar is voor de uiteenlopende veranderende klimaatomstandigheden en welke gevolgen te verwachten zijn. De laatste overweging leidt ertoe dat de maatregelen moeten leiden tot een robuust systeem tegen de groter wordende variabiliteit en dat eenmaal gekozen beleid flexibel moet zijn, immers de volgende generatie scenario's zou kunnen betekenen dat er een alternatieve aanpak gevolgd moet worden.

Zoals eerder is opgemerkt, zullen niet alleen de veranderende randvoorwaarden een rol spelen, maar zullen de maatregelen die worden genomen om de klimaatbestendigheid van de ene sector te vergroten, gevolgen kunnen hebben voor de andere sectoren. Dit is met name voor maatregelen in de ruimtelijke ordening het geval. Vergroting van de klimaatbestendigheid wordt vanuit de overheid vooral gezocht in de ruimtelijke inrichting. In het ARK project (nationaal programma Adaptatie Ruimte en Klimaat) is door Bert Satijn en Aalt Leusink een lans gebroken voor de ontwikkeling van zogenaamde ARK-ladders voor verschillende gebiedstypen binnen Nederland:

“Er moet een methodiek komen die in de loop van de besluitvorming het effect op de korte en lange termijn van ruimtelijke plannen en inrichtingsmaatregelen laat zien en dan afgezet tegen de verschillende klimaatscenario's. Vooral waterbeheerders hebben behoefte aan deze methodiek. Ik zou een dergelijk methodiek de ARK-ladder willen noemen. Ruimtelijke plannen en inrichtingsmaatregelen leg je dan langs de ARK-ladder. Dat instrument laat de effecten zien gerelateerd aan de gevolgen van klimaatverandering. Het is een handvat voor bestuurders om hen te ondersteunen in de besluitvorming bij ruimtelijke plannen en inrichtingsmaatregelen. Hierdoor zullen betere plannen worden voorbereid met robuuste en veerkracht verhogende elementen om Nederland klimaatbestendig te maken.”

De ARK-ladder heeft tot doel om ruimtelijke plannen en ingrepen, in het bijzonder de onderscheiden adaptatieopties, te beoordelen op klimaatbestendigheid. Daarbij gaat het zowel om een:

- beoordeling van de klimaatbestendigheid van de huidige of mogelijk toekomstige inrichting van een gebied, als om een
- toetsing van ruimtelijke plannen en ingrepen op hun bijdrage aan de klimaatbestendigheid van een gebied.

De ARK-ladder beoogt de beoordeling en afweging van adaptatiemaatregelen transparant, reproduceerbaar en daarmee beter bespreekbaar te maken. Het gaat bij de adaptatiemaatregelen om ruimtelijke plannen en ingrepen op verschillende schaalniveaus (nationaal, regionaal, lokaal). De ARK-ladder richt zich derhalve op zowel locatiekeuze, inrichting als bouwwijze.

Voor een beoordelingskader is het nodig dat klimaatbestendigheid wordt gedefinieerd. Hiervoor worden verschillende definities gehanteerd. In de ARK-notitie ‘Maak ruimte voor klimaat’ wordt klimaatbestendigheid gedefinieerd als een functie van weerstand, veerkracht en aanpassingsvermogen. Daarnaast worden in relatie tot klimaatbestendigheid ook termen als robuustheid, kwetsbaarheid en flexibiliteit gehanteerd.

Weerstand van een systeem is het vermogen om de beoogde functie te vervullen onder een zekere range van klimatologische omstandigheden.

Veerkracht is het vermogen om na falen van het systeem weer de beoogde functie te kunnen vervullen na terugkeer van ‘normale’ klimatologische omstandigheden.

Aanpassingsvermogen is het vermogen om weerstand en/of veerkracht te versterken (bijv. door ruimtelijke reserveringen, gereed zijnde plannen).

In het rapport Nulmeting van de ‘Routeplanner’ wordt klimaatbestendigheid gedefinieerd als een functie van robuustheid (t.a.v. de variabiliteit van het huidige klimaat) en flexibiliteit (t.a.v. klimaatverandering). Daarbij wordt opgemerkt dat robuustheid in wezen een functie is van weerstand en veerkracht. Flexibiliteit is min of meer synoniem aan aanpassingsvermogen.

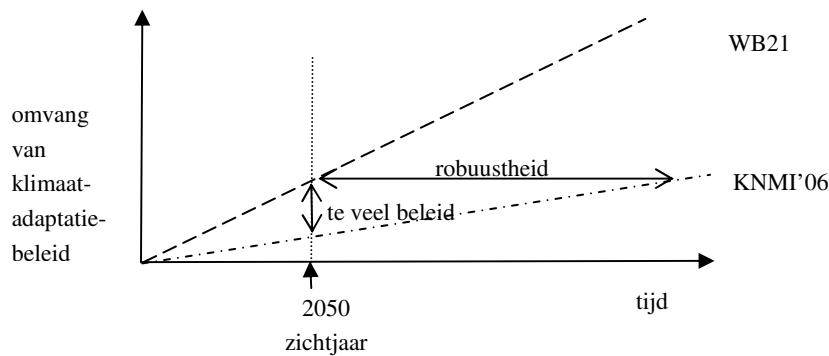
In dit rapport is aangesloten op de definities zoals opgenomen in het rapport Nulmeting. In dat rapport zijn de begrippen reeds nader uitgewerkt en het heeft wellicht voordelen om klimaatbestendigheid af te meten aan twee (robuustheid en flexibiliteit) in plaats van drie (weerstand, veerkracht en aanpassingsvermogen) grootheden. In paragraaf 4.2 werden reeds definities gegeven voor de robuustheid en flexibiliteit van het systeem. Deze begrippen kunnen ook worden gehanteerd ten aanzien van te voeren beleid.

10.3 Invulling van het “geen spijt” begrip

In het rapport Nulmeting is nog geen invulling gegeven aan het “geen spijt” begrip. Momenteel wordt door de Deltares partners in opdracht van V&W – RIZA en DGW ten behoeve van de herziening van het NBW een studie uitgevoerd naar het gebruik van scenario’s voor waterbeheer. In die studie is aan “geen spijt” voor de begrippen robuustheid en flexibiliteit invulling gegeven.

Robuustheid van beleid

Als maat voor “geen spijt” ten aanzien van robuustheid, kan de robuustheid van het gekozen beleid na het zichtjaar (2050) dienen. Figuur 10.1. Een maat voor robuustheid is de duur van periode na het zichtjaar dat de maatregelen nog zouden voldoen, geïllustreerd.



Figuur 10.1 Robuustheid van beleid na het zichtjaar van 2050.

Flexibiliteit van beleid

Omdat klimaatverandering grote onzekerheden kent en de mogelijke veranderingen groot kunnen zijn, is het zo dat een gekozen strategie niet voor alle mogelijke veranderingen optimaal hoeft te zijn. Op termijn is het zeer wel denkbaar dat de aanpassingen niet meer kunnen bestaan uit een intensivering van de maatregelen zelf. Er zal in dat geval naar andere strategieën uitgekeken moeten worden. Een belangrijk punt van aandacht is dat efficiënte oplossingsrichtingen op de termijn tot 2050, op de langere termijn 2100 veel minder efficiënt kunnen blijken. Het is belangrijk om te analyseren of een eenmaal gekozen strategie op termijn leidt tot een situatie waarbij overstappen op een andere strategie vanuit technisch, economisch, sociaal of politiek oogpunt moeilijk uitvoerbaar wordt.

Dit kan worden geïllustreerd met een voorbeeld. Om de overstromingsveiligheid in het Boven-rivierengebied te waarborgen is de strategie om dit via meer ruimte voor water aan te pakken. Aan deze strategie zitten grenzen, namelijk boven kritische zeespiegelstijgingen of toename van rivierafvoeren wordt deze strategie niet meer uitvoerbaar. Er is te veel ruimte nodig, terwijl er te weinig ruimte beschikbaar is. Er zal dan naar andere strategieën uitgekeken moeten worden. De invulling van geen spijt ten aanzien van flexibiliteit heeft dan twee invullingen:

1. Mogelijkheid om bestaande maatregelen te intensiveren (voorbeeld: extra ruimte voor water, extra dijkverhoging)
2. Mogelijkheid om over te stappen op alternatieve strategie (voorbeeld: op termijn ruimte voor water verlaten en overgaan op technische maatregelen).

De onderstaande figuur illustreert de tweede invulling:



Figuur 10.2: Efficiëntie van verschillende strategieën voor een veranderend klimaat (uit Proposal DELTADAPT, EU 7^e kader programm).

Meekoppelende belangen

Een derde invulling van “geen spijt” is de erkenning dat klimaatbestendigheid geen doel op zich is. Het is een van de aspecten die een rol speelt bij de ruimtelijke inrichting. In het huidige beleid is een van de uitgangspunten dat er ruimte vrijgehouden moet worden voor water. Rationeel is het verstandiger om ruimte vrij te houden die later gebruikt zou kunnen worden voor water dan om nu de ruimte te gaan gebruiken en die later vrij te maken voor water. Deze laatste optie is economisch onaantrekkelijk, want erg duur. De ervaring leert bovendien dat ruimte vrij maken voor water ook bestuurlijk erg moeilijk uitvoerbaar is, zelfs als de veiligheid hiermee gediend is. Voorbeelden hiervan zijn de plannen voor de verruiming van de bocht in de Waal bij Nijmegen en de bypass bij Kampen. Beide maatregelen zijn op grond van de hoogwaterbescherming zeer rationeel, echter lokaal ondervinden de maatregelen grote weerstand.

Op basis hiervan is het verstandiger om nu ruimte te reserveren voor waterbeheer voor de toekomst dan om nu in te zetten verbetering van drainage en ervan uitgaan dat in een later stadium eventueel ruimte gemaakt kan worden ten behoeve van hoogwaterbescherming. Ruimte die nu niet gereserveerd wordt voor water, zal voor andere doelen gebruikt gaan worden met als gevolg dat de kosten om in een later stadium dit terug te draaien hoog zullen zijn. In termen van opeenvolgende strategieën om Nederland veilig te houden tegen overstromen, de volgorde “ruimte voor water” en later eventueel aanvullen met technische maatregelen haalbaarder dan de volgorde “technische maatregelen” later eventueel aanvullen middels “ruimte voor water”.

Hoewel dit rationeel een verstandige beslissing lijkt, is het vrijhouden van ruimte moeilijk door de grote druk op deze ruimte. Zoals beschreven in het rapport Klimaatbestendigheid van Nederland, de nulmeting, zal door de grote onzekerheden rondom klimaatverandering elke strategie die ontwikkeld wordt om Nederland robuust te maken tegen klimaatverandering, dit gegeven moeten incorporeren. Bestuurlijke en maatschappelijke sociale systemen passen zich niet zomaar eenzijdig aan, maar hebben het vermogen om veranderingen die gewenst worden vanuit een specifieke optiek te negeren, te vertalen in een meer haalbare verandering of vooruit te schuiven. De weerstand tegen verandering neemt over het algemeen toe naarmate de ‘sense of urgency’ geringer is en naarmate het onduidelijker is wiens probleem het niet inspelen op de verandering nu eigenlijk is. Bij klimaatverandering is dit het geval immers:

- Het gaat het om hele lange termijnveranderingen, die niet urgent lijken in de dagelijkse strijd van het openbaar bestuur.
- Ook spelen klimaatveranderingen op diverse schaalniveaus gelijktijdig, waardoor geen van de bestuurlijke schaalniveaus in staat is om zelfstandig een adequate respons te ontwikkelen.
- klimaatveranderingen kunnen effecten hebben die vrijwel onmogelijk onder ogen gezien kunnen worden. Zo is het vanuit een lege landkaart misschien wijs om niet in de Randstad, maar in de gebieden boven de zeespiegel te gaan wonen. Vanwege de reeds geïnvesteerde vermogens lijkt geen enkele overheid (behalve misschien die in China) in staat tot grootschalige landverhuizingen te besluiten.
- Tenslotte zal hier ook de *'tragedy of the commons'* gaan spelen: klimaatverandering is een gewichtig collectief probleem, maar laat mijn buurman het maar oplossen.

Vanuit bestuurlijk oogpunt is er erkenning dat er meer ruimte moet worden gegeven aan water en dat Nederland zich moet voorbereiden op klimaatverandering. Er is in intentionele zin met andere woorden een grote bereidheid tot adaptiviteit. In het algemeen geldt dat de bestuurlijke mogelijkheden om Nederland klimaatbestendig te maken vooral toenemen wanneer bestendige maatregelen ook een sociale of economische uitdaging zijn, zoals dat gold voor de Deltawerken en de droogleggingen. Deze creëerden niet alleen meer veiligheid en wierpen een (tijdelijke) dam op tegen het stijgende water, maar creëerden ook kennis en economische meerwaarde.

10.4 Wat betekent dit in de praktijk

De trend ingezet met waterbeheer 21^e eeuw en het NBW zal moeten worden voortgezet in de zin dat het waterbeheer ook in de toekomst bij de bepaling van een strategie uit zal moeten gaan van scenario's in plaats van alleen uitgaan van de huidige (historische) omstandigheden. Een tekortkoming van de tot nu toe gevolgde aanpak is dat (te) snel een van de scenario's (Midden) als meest waarschijnlijk toekomstbeeld is omarmd. Dit is wel begrijpelijk, omdat er in het waterbeheer bij de strategieontwikkeling nauwelijks ervaring was in het gebruik van scenario's. Hierdoor was er binnen het beleid ook nauwelijks ervaring in het omgaan met verschillende toekomstbeelden. In het waterbeheer wordt het als complex ervaren om met de meerdere scenario's te werken. Het kiezen van één scenario is veel eenvoudiger en wordt veelal gezien als consistent beleid. Men kiest dan het meest waarschijnlijke scenario, het scenario dat past bij het overheersende wereldbeeld of zelfs het scenario dat het beste past bij het huidige beleid. Consistent beleid is echter veel meer dan één scenario nemen als uitgangspunt. Verschillende beleidsterreinen gebruiken bovendien ook nu zeer uiteenlopende scenario's. Welk scenario wordt gevolgd heeft veel te maken met het inschatten van de (beleids)risico's die worden gelopen als het gevolgde scenario niet de werkelijkheid zal worden. Als een enkel scenario het uitgangspunt vormt, worden nieuwe inzichten, vertaald in nieuwe scenario's, als lastig ervaren. Op de komst van de nieuwe inzichten wordt op verschillende manieren op gereageerd. Deze worden genegeerd, of als consistent beleid wordt dat scenario gekozen dat het meest past bij het bestaande beleid.

Zeker met betrekking tot klimaatverandering lijkt het onverstandig om van één scenario uit te gaan. In alle onzekerheid kunnen we met grote zekerheid zeggen dat over 5 jaar de scenario's anders zullen zijn dan de huidige.

Het adaptatiebeleid zou dus eigenlijk gebaseerd moeten zijn op een visie over hoe wij met klimaatverandering omgaan die tamelijk onafhankelijk is van nieuwe scenario's. Het voordeel hiervan is dat het beleid gemakkelijker kan anticiperen op nieuwe scenario's. Eventuele beleidsaanpassingen worden naar voren of naar achteren gezet afhankelijk of de veranderingen in de loop van de tijd sneller dan wel langzamer blijken te gaan. Bij het veranderen van de scenario's kunnen al dan niet beleidsaanpassingen beter beargumenteerd worden en is het gemakkelijker een zichtbaar consistent beleid te voeren. Er bestaat (nog) geen kant-en-klaar recept voor een dergelijk adaptatiebeleid. Een doordacht adaptatiebeleid zou het product zijn van projecten als de ARK-ladder. Wel kunnen op basis van de huidige inzichten op voorhand

een aantal elementen worden genoemd waarmee bij het vormgeven van adaptatiebeleid kan worden gewerkt. Deze worden hiernavolgend toegelicht.

Worst case analyse

Bij de ontwikkeling van de strategie is het nodig om in elk geval onderzoeksmatig rekening te houden met (op termijn) zeer grote veranderingen, een “worst case benadering”. Voor verschillende sectoren en beleidsterreinen kunnen verschillende scenario’s gelden als “worst case”. Deze “worst case” hoeft echter geen uitgangspunt te zijn voor het binnenkort te ontwikkelen beleid. De benodigde maatregelen zijn vermoedelijk zeer kostbaar, terwijl het risico slechts beperkt wordt gereduceerd (er is immers maar een kleine kans).

Tijdshorizon

Er kan geen eenduidige aanbeveling worden gegeven voor de te hanteren zichttijd. De tijdshorizon voor de ontwikkeling van het klimaat, de economische infrastructuur en de politieke besluitvorming lopen sterk uiteen. De tijdshorizon voor politieke besluitvorming is maximaal enkele jaren. Voor de economische infrastructuur wordt een periode van 30 jaar gehanteerd. Bij klimaatverandering is het minimum decennia. Door de trage respons van het klimaatsysteem kan dit zelfs oplopen tot enkele eeuwen. Zo zijn we er tamelijk zeker van dat op de zeer lange termijn (eeuwen) de zeespiegel nog minimaal 2m verder zal stijgen. Van belang is om bij relatief onomkeerbare maatregelen, dit zijn met name maatregelen in de ruimtelijke ordening, rekening te houden met de na-ijleffecten in de klimaatontwikkeling. De gewenste zichttijd voor dergelijke maatregelen zou in ieder geval over 2050 heen moeten gaan. In economische infrastructuur zou de afschrijvingstijd gehanteerd moeten worden met kosten/baten analyses waarbij gebruik gemaakt wordt van analyses met worstcase scenario’s.

Nieuwe inzichten

Nieuwe inzichten zullen zeker ontstaan en proberen regie te voeren op het ontstaan van deze inzichten is niet realistisch. Ook is negeren van nieuwe inzichten niet verstandig omdat deze vroeg of laat zeker deel uit gaan maken van het publieke debat. Bij het omgaan met deze nieuwe inzichten moet een evenwicht worden gevonden tussen enerzijds “rust in de tent” en anderzijds het tijdig bijstellen van het beleid:

- Om deze twee in evenwicht te brengen verdient het aanbeveling om, vergelijkbaar met het proces gehanteerd in de wet op de waterkeringen, een vaste termijn te hanteren waarop de bestaande strategie en eventueel nieuwe maatregelen getoetst worden op de nieuwe inzichten. Momenteel komt de IPCC ongeveer eens per vijf jaar met een actualisering van de inzichten omtrent klimaatverandering. De KNMI scenario’s volgen vooralsnog ook dat ritme. Een dergelijk ritme zou ook hier aangehouden kunnen worden. Om het aantal toetsingsprocedures te beperken verdient het aanbeveling deze evaluatie onderdeel uit te laten maken van bestaande evaluaties. Gedacht zou kunnen worden aan een 5-jaarlijkse evaluatie van “het water in Nederland”. Onderdelen van deze evaluatie hebben betrekking op zowel de kust, de rijks- als de regionale wateren. Ook de randvoorwaarden voor de veiligheid zou onderdeel kunnen uitmaken van een dergelijke regelmatige evaluatie. De rapportages zouden de basis moeten vormen voor de waternota’s.
- Een andere aanbeveling met betrekking tot het omgaan met nieuwe inzichten is om duidelijker dan nu een onderscheid te maken tussen ontwerpnormen, waarop nieuwe maatregelen worden gedimensioneerd, en de normen die gehanteerd worden om bestaande infrastructuur/beleid aan te passen. Nieuw beleid zou gebaseerd moeten zijn op de meest recente inzichten. Indien de initiële investeringskosten hoog zijn is het economisch verstandig om te over-dimensioneren bij het ontwerpen. Bestaand beleid/infrastructuur zou getoetst moeten worden aan de nieuwe inzichten. Echter tot aanpassing van de bestaande infrastructuur zou pas moeten worden overgegaan indien een minimum norm zou worden overschreden. Deze minimumnorm ligt lager dan de ontwerpnorm. Het volgen van deze strategie voorkomt onder veranderende omstandigheden dat zodra de infrastructuur klaar is, deze in feite al niet meer voldoet aan de norm. Deze aanpak

beperkt de initiële kosten van de benodigde aanpassingen en is daarmee economisch het meest gunstig. De geïnteresseerde lezer in de optimalisatie hiervan wordt verwezen naar Eigenraam (2005). Uit dit document, waarin het project *Ruimte voor de Rivier* wordt beschouwd, blijkt dat met deze aanpak onder verschillende scenario's relatief weinig risico wordt gelopen. Ook voorkomt het onrust omdat telkens beleid bijgesteld zou moeten worden.

Omgaan met nieuwe scenario's

Als nieuwe scenario's uitkomen kunnen een aantal analyses worden gemaakt:

- Onderzoek in hoeverre de klimaatscenario's onderscheidend zijn en afwijken van de historische variatie. Ga in de analyse uit van de gevolgen van de klimaatveranderingen op het watersysteem, niet van het klimaat zelf. Indien de klimaatscenario's weinig onderscheidend zijn van de historische variatie is er minder aanleiding tot aanpassing van het beheer dan indien dit niet het geval is (zie voorbeeld voor potentiële verdamping in kader paragraaf 3.3). Er vanuit gaande dat het beheer op orde is, is dit immers afgestemd op de bestaande (historische) variatie. Ook is het aannemelijk dat andere ontwikkelingen in de samenleving in dat geval van veel grotere invloed zullen zijn op de invulling van het waterbeheer dan de klimaatverandering.
- In theorie zou per scenario een aantal beleidsopties moeten worden vastgesteld. Een dergelijke aanpak is echter alleen haalbaar indien het aantal scenario's beperkt is. Scenario's bestaan uit klimaatontwikkelingen gecombineerd met sociaal economische ontwikkelingen. Als voorbeeld hier de sociaal economische WLO scenario's (4 stuks) samen met de klimaat KNMI-06 scenario's (4 stuks). Als deze worden gecombineerd ontstaan er zestien verschillende combinaties. Als voor elke combinatie drie beleidsopties worden geformuleerd, komen we op 48 beleidsopties. Vervolgens zouden de verschillende opties op basis van Kosten/Baten en "geen spijt" kunnen worden geëvalueerd. Er is reden om aan te nemen dat het aantal klimaatscenario's in de toekomst groter zal worden. Al gauw zal het aantal mogelijkheden zo groot worden dat door het grote aantal alternatieven de keuze niet meer helder gemaakt kan worden. Verstandiger is daarom om voordat er beleidsopties worden geformuleerd eerst een *risico analyse* uit te voeren.
- In een risico analyse voorafgaande aan de formulering van beleidsalternatieven zouden de verschillende scenario's tegenover elkaar moeten worden gezet en zou moeten worden beoordeeld welk risico (kans * gevolgen) gelopen wordt indien uitgegaan wordt van het ene scenario terwijl het andere scenario de werkelijkheid wordt. Een dergelijke analyse is feitelijk een uitbreiding van de eerst genoemde waarin het onderscheid tussen de klimaatscenario's met de historische variatie wordt geëvalueerd. Het brengt in beeld welke onderdelen van het beleid bij de nieuwe scenario's aandacht behoeven en welke niet of minder. Indien de scenario's voldoende onderscheidend zijn zal blijken dat de uitkomsten per beleidsterrein zullen verschillen. In de risicoanalyse zou op de volgende criteria getoetst moeten worden:
 1. Is er risico dat beleidsdoelen niet gehaald worden
 2. Is er risico dat extra (ruimtelijke) maatregelen noodzakelijk zijn
 3. Is er risico dat er teveel beleid wordt geformuleerd
 4. Hoelang blijft het gevoerde beleid voldoen na het zichtjaar (robuust)
 5. Hoe gemakkelijk kan er op termijn alternatief beleid worden geformuleerd (flexibel/geen spijt).

Van deze criteria zijn de eerste drie van belang voor de termijn van het handelingsperspectief van beleidsmakers. Vier en vijf zijn van strategische aard. Figuur 10.3 is een illustratie van een dergelijke analyse uitgaande van de beleidsscenario's voor de kustverdediging en de nieuwe KNMI'06 scenario's.

Bescherming tegen overstromen langs de kust				
Doel: het handhaven van de huidige beschermingsnorm				
Maar het wordt KNMI'06 scenario	G	G+	W	W+
Veronderstel dat wordt uitgegaan van Leidraad Zandige Kust scenario				
laag				
midden				
hoog				

Groen: het beleidsdoel wordt gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is niet te veel beleid ontwikkeld.

Rood: het beleidsdoel wordt niet gehaald, er zijn extra maatregelen nodig en er is te weinig beleid ontwikkeld.

Blaauw: het beleidsdoel wordt ruim gehaald, er zijn geen extra maatregelen nodig en er is te veel beleid ontwikkeld

Figuur 10.3: Illustratie van een risicoanalyse voor beleidsontwikkeling m.b.t. adaptatie aan klimaatverandering (WL\Delfthydraulics, 2007)

Een korte toelichting op de criteria:

1. Beleid wordt afgerekend op het halen van doelen. Er moet dan ook niet te veel risico zijn dat de doelen te ambitieus zijn. In dit geval moet de inschatting gemaakt worden of het vooraf vastgestelde doel of de norm daadwerkelijk kan worden gerealiseerd.
2. Kans op extra maatregelen: als blijkt dat de realiteit tegenvalt of er zijn nieuwe wetenschappelijke inzichten, dan bestaat de kans dat er extra beleid moet worden afgekondigd. Dit betekent dat er aanvankelijk te weinig geld is uitgegeven. Dit is lastig voor lagere overheden, bedrijven en burgers (overlast/onrust). De totale kosten worden hoger doordat initiële kosten vaak groot zijn en in dit geval vaker gemaakt moeten worden. Politiek ligt dit ook moeilijk omdat er sprake is van tegenvallers, waarvoor opnieuw geld moet worden gevonden.
3. Kans op teveel beleid: dit betekent dat er aanvankelijk teveel geld is uitgegeven omdat de maatregelen overgedimensioneerd zijn. Achteraf had het dan goedkoper gekund. Om "geen spijt" te hebben is dan van belang dat er voldoende meekoppelende belangen zijn. Ook betekent dit vaak dat langer dan gedacht met hetzelfde beleid doorgegaan kan worden.
4. Als het beleid robuust blijkt is dit op de langere termijn toch gunstig. Nieuwe maatregelen en daarmee samenhangende kosten kunnen worden uitgesteld. Dit geeft meer consistentie en is politiek vaak makkelijker omdat het kan betekenen dat er meevallers optreden. Een voorbeeld hiervan is de huidige kustverdediging.
5. Dit criterium heeft te maken met hoe makkelijk het is om op termijn alternatief beleid te ontwikkelen. Zo zal indien het alternatief op termijn ruimte gaat kosten, dit betekenen dat er nu al rekening mee gehouden moet worden. Ruimtelijke reserveringen uitstellen tot later en vrij te laten hoe de ruimte wordt ingevuld, betekent dat de ruimte gebruikt zal gaan worden. Op termijn zullen de kosten om alsnog ruimte vrij te maken als alternatief beleid veel hoger zijn.

Ruimtelijk Ordeningsbeleid ten behoeve van klimaatadaptatie

De opgave voor de ruimtelijke ordening is om de vraag naar de ruimte vanuit de verschillende sectoren met elkaar in overeenstemming te brengen. Van belang is te onderkennen dat klimaatbestendig maken geen doel op zich is, maar een voorwaarde voor economische groei en kwaliteit van leven. Concrete maatregelen die op deze ambities een inbreuk maken kunnen dus rekenen op weerstand. Vandaar ook dat we kunnen stellen dat de huidige mogelijkheden om maatregelen te nemen om Nederland klimaatbestendig

te maken in termen van aanvangscondities (bewustzijn en hoge plaats op de agenda) gunstig zijn, maar dat voorstellen die echt pijn doen op grote weerstand zullen stuiten. Vrijhouden van ruimte voor water kost geld, omdat de ruimte niet ten volle economisch benut kan worden. Adaptatie aan klimaatverandering is geen doel op zich. Daarom dient in de strategie van het reserveren van de ruimte op de korte termijn de invulling in de eerste plaats aan een maatschappelijk gewenst doel te voldoen, zoals een verbetering van de kwaliteit van de leefomgeving. Voorbeelden van dergelijke invullingen zijn handhaven van natuurlijke landschappen, vermeerderen van groene en blauwe zones in de stad of bijdragen aan internationale belangrijke natuurwaarden. Van belang is dat deze invulling zodanig is dat het direct leidt tot een grotere klimaatbestendigheid of dat op termijn gemakkelijk (goedkoop, met weinig maatschappelijke weerstand) de ruimte zodanig aan te passen is, dat dit leidt tot een grotere klimaatbestendigheid.

11 Invulling klimaatdossier Delfland

Deze studie vormt één van de uitgangspunten voor de opbouw van een klimaatdossier bij het Hoogheemraadschap van Delfland. Om de invulling van dit dossier te faciliteren zijn in dit rapport niet alleen mogelijke effecten beschreven, maar worden ook aanwijzingen en methoden gegeven over hoe om te gaan met klimaatverandering in het waterbeheer en in relatie tot ruimtelijke ontwikkelingen. Het is nu aan het hoogheemraadschap om door te pakken, te evalueren en uit te werken. In dit hoofdstuk is aangegeven waarmee kan worden gestart.

11.1 Gesignaleerde effecten en aanbevolen acties

In de hoofdstukken 5 t/m 8 worden de geïnventariseerde effecten en achterliggende mechanismen uitgebreid beschreven. Bijlage A bevat een overzichtstabel waarin alle effecten op taak en thema zijn geordend. In de tabel wordt tevens aangeduid welke klimaattrends het effect veroorzaken, met welke waarschijnlijkheid de klimaattrends zullen optreden, waar het effect zich naar verwachting zal voordoen en welke acties op korte termijn ten aanzien van het effect kunnen worden ondernomen. Expert judgement, en daarmee subjectiviteit, speelt zowel bij de inventarisatie van effecten als de aanbevolen acties een rol. Evaluatie door het hoogheemraadschap is daarom aanbevelenswaardig.

Er zijn vier mogelijke acties onderscheiden:

- *Beheren*
De functieondersteuning/taak wordt niet ernstig aangetast, functiewijziging is vanuit het waterbeheer dus niet aan de orde, maatregelen passen binnen het reguliere (operationele) beheer.
- *Studeren*
Over het effect is meer kennis gewenst om risico van het effect beter te kunnen bepalen; monitoren ('vinger aan de pols'), onderzoek opstarten of participeren in onderzoeksprogramma's en projecten.
- *Agenderen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, formuleren van oplossingsrichtingen noodzakelijk, afhankelijkheden van of verantwoordelijkheden richting externen zoals rijk, provincie en andere waterschappen worden acties geagendeerd.
- *Anticiperen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, er moeten keuzen worden gemaakt voor de te hanteren strategie, wordt het ruimtereservering, functieaanpassing, verregaande technische maatregelen, acceptatie, of een combinatie?

De tabel in bijlage A kan worden gebruikt als een checklist. Per effect wordt aangegeven welke stap of stappen moeten worden gezet om invulling te geven aan het klimaatdossier.

Effecten die prioriteit verdienen en waarmee de opbouw van het dossier kan worden gestart zijn:

Afname van de kadestabiliteit (toename kans op deformaties in zowel extreem natte als droge perioden)

- studeren → fundamenteel en hoe 'best management practice'
- agenderen → initiëren van onderzoek; discussie over maatregelen
- anticiperen → ruimtereservering, meedraaien in gebiedsontwikkeling

Toename stedelijke wateroverlast (toename kans water op straat; grondwateroverlast)

- beheren → handhaven operationeel beheer t.b.v. huidige functies
- studeren → identificeren van alternatieve oplossingen neerslagafvoer; proeftuin opzetten
- agenderen → acceptatie
- anticiperen → duidelijke knelpunten oplossen; discussie over stimuleren van innovatieve methoden neerslagafvoer en berging

Toename wateroverlast en droogte in landelijk gebied (toename kans hoge waterstanden in watergangen; verdrassing; periodiek zeer hoge of lage grondwaterstanden)

- beheren → meekoppeling lopende ontwikkelingen; geoptimaliseerde inlaatstrategieën; verbeterde sturing van polder- en boezem gemalen; aanpassen peilbeheer
- studeren → opstellen waterbalansen voor extreme scenario's; identificeren van maatregelen en oplossingen
- agenderen → participatie in risicoanalyses van Rijk en Provincie (ernst effecten versus taken/ambitie); functiehoudbaarheidsdiscussie voeren
- anticiperen → meedraaien in gebiedsontwikkeling

Afname waterkwaliteit (verschillende effecten door temperatuurverhoging, verzilting en droogte)

- studeren → onderzoek naar omvang van effecten (opstellen waterbalansen voor extreme scenario's); onderzoek naar door functies benodigde minimale waterkwaliteit
- agenderen → verhogen (minimaal veilig stellen) van aanvoer goed water; functiehoudbaarheidsdiscussie
- anticiperen → meedraaien in gebiedsontwikkeling

11.2 Kennishiaten

In de effecteninventarisatie is geconstateerd dat er nog veel kennishiaten bestaan. Studeren wordt dan ook bij een groot aantal effecten als actie aanbevolen. In tabel 11.1 worden kennishiaten aangeduid waarop het hoogheemraadschap zich zou kunnen richten.

Een algemene kennisleemte ligt in het kwantificeren van de grootte van de genoemde effecten, gespecificeerd naar gebiedsdelen binnen het beheersgebied van Delfland.

In een verdiepend vervolgonderzoek naar de kwantitatieve klimaateffecten op het waterbeheer in Delfland zou gebruik kunnen worden gemaakt van een combinatie van klimaatscenario's en socio-economische/ruimtelijke scenario's. Deze scenario's kunnen in samenwerking met overheden die de regie voeren over ruimtelijke ontwikkelingen (VROM, Provincie), worden ontwikkeld. Vanuit de VROM-raad is onlangs het advies gekomen om (onder leiding van VROM) aan dergelijke scenario's te gaan werken. Het is in het belang van het hoogheemraadschap om hier tijdig bij te worden betrokken. Via deze weg kunnen namelijk mogelijkheden ontstaan om (ook korte termijn) ontwikkelingen bij te sturen.

Taak	Onderzoeksvraag
Klimaat	<p>De onzekerheden rondom klimaatverandering zijn groot. Om ons aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering is het vooral van belang om te weten of de veranderingen groot zijn ten opzichte van ons aanpassingsvermogen tegen een veranderend klimaat. Om adaptatiestrategieën te ontwerpen kan de problematiek dan ook van een andere kant worden benaderd, die niet afhankelijk is van actuele klimaatscenario's. Er wordt dan gezocht naar antwoord op de vraag: hoe ver moet een klimaatverandering gaan tot een moment wordt bereikt waarop (een onderdeel van) het systeem zal falen?</p>
Waterkeringen	<p>Invloed van extreme droogte op de afdekkende vegetatie op dijken en kaden. Proces van scheurvorming in de dijkbekleding. Invloed van droogte op boezemkaden. Invloed van extreme neerslag op kaden. De samenstelling van kades (constructie). Benodigde bekleding, taludverflauwing, ruimtereservering t.b.v. versteviging kadeconstructies. Kwantitatieve analyse van de beschreven effecten op de kaden en dijken.</p>
Watersysteem	<p>Het effect van hogere temperaturen op het zuiveringsrendement van AWZI's. Effecten van klimaatverandering op de concentraties van stoffen in riooloverstortwater . De afvalwaterketen, bestaande uit de rioolstelsels, de AWZI's en het oppervlaktewater waarop overstortwater, effluent en neerslag geloosd worden, dient in onderlinge samenhang bekeken te worden. De relatie tussen klimaatverandering en uit- en afspoeling van nutriënten uit de landbouwgronden. Exacte betekenis van klimaatverandering voor het aquatisch ecosysteem in relatie tot de verschillende wettelijke verplichtingen (o.a. EU-KRW en VHR). Mate van toename van de biologische beschikbaarheid van verontreinigingen in waterbodems. De toekomstige zoetwaterbehoefte, in samenhang met het toekomstig landgebruik in het gebied. Onder welke droogte omstandigheden raakt door tuinders in eigen beheer opgebouwde gietwatervoorraad uitgeput. Onder welke droogteomstandigheden (verlaagde rivierafvoer) komt zoetwatervoorraad in Brielse Meer onder druk te staan. Onder welke droogteomstandigheden komt aanbod van water vanuit Rijnland via route 'Leischendam' onder druk te staan.</p>
Grondwater	<p>Relatie grondwater-oppervlaktewater in kleigebieden, vooral bij 'scheurende' kleigronden. Verziltingsrisico voor de glastuinbouwconcentraties direct langs de zeereep en de Nieuwe Waterweg. Gevolgen voor het (grond)watersysteem van het ondergronds ruimtegebruik (WKO, gietwateropslag) in het glastuinbouwgebied en stedelijk gebied. Mate van noodzaak voor en mogelijkheden om zomergrondwaterstanden te verhogen in risicogebieden voor funderingsschade.</p>
Bodem	<p>Verandering in de bodemfaunasamenstelling door klimaatverandering. Temperatuurafhankelijkheid van de veenoxidatie. Stimulerende effect van CO₂ en methaangasproductie uit veen op klimaatverandering.</p>

Tabel 11.1: Overzicht van bij effecteninventarisatie geïdentificeerde kennishiaten

11.3 Onderzoeksprogramma's en projecten

Zowel nationaal als internationaal wordt momenteel veel kennis ontwikkeld over de effecten van klimaatverandering en adaptieve maatregelen die met deze effecten kunnen omgaan. Veel van deze kennis is bruikbaar binnen het beheersgebied van Delfland. De volgende onderzoeksprogramma's en projecten lopen momenteel binnen Nederland en bevatten onderdelen die voor Delfland van waarde kunnen zijn:

Titel Koploper project Klimaatverandering
Leiding Deltares-WL
Opdrachtgever Waterdienst
Type project Strategisch advies
Omschrijving Verkennen grenzen van klimaatbestendigheid Nederland

Titel Waterveiligheid 21e eeuw
Leiding WL/Delft
Opdrachtgever V&W-DGW
Type project Strategisch advies

Titel Aandacht voor Veiligheid
Leiding IVM
Opdrachtgever V&W-DGW
Type project Strategisch advies
Omschrijving De verkenning richt zich op de vraag of het huidige beschermingsbeleid tegen grootschalige overstromingen nog volstaat. De verkenning WV21 heeft geen betrekking op wateroverlast als gevolg van hevige regenval. De drie aandachtsvelden zoals die uit de verkenning naar voren zijn gekomen:

- 1) Actualisatie van preventiebeleid (beperken van de káns op overstromingen)
- 2) Vergroten van de aandacht voor het beperken van gevolgen van overstromingen
- 3) Vergroten van bewustzijn bij burgers, bedrijven en bestuurders.

Titel Klimaatscenario's in het waterbeheer
Leiding Deltares-WL
Opdrachtgever V&W-DGW
Type project Strategisch advies
Omschrijving Advies voor nieuwe bestuursakkoord water hoe omgaan met scenario's

Titel ARK
Leiding BSIK-prog
Opdrachtgever V&W, VROM, EZ, LNV
Type project Zeer groot onderzoeksprogramma
Omschrijving In het programma 'Adaptatie ruimte en klimaat' werken ministeries, provincies, waterschappen en gemeenten samen om Nederland 'klimaatbestendig' te maken. Het programma besteedt aandacht aan de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland, bijvoorbeeld voor de ruimtelijke ordening en het waterbeleid.

Titel ARK-Ladder
Opdrachtgever Leven met water
Type project Research
Omschrijving Adaptatiestrategieën ontwikkelen voor klimaatverandering

Titel Socio-economic scenario's in the Netherlands
Leiding IVM

- Opdrachtgever* BSIK-Klimaat voor Ruimte
Type project Research
Omschrijving Ontwikkeling lange termijn scenario's voor Nederland
- Titel* Consensus schade en slachtofferbepaling overstromingen
Leiding Deltares
Opdrachtgever MNP
Type project Advies
Omschrijving Consensus bereiken over methode om dit te bepalen
- Titel* Kennis voor Klimaat
Leiding WAU-Alterra
Opdrachtgever V&W, VROM, EZ, LNV
Type project Zeer groot research en advies project
Omschrijving Het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat ontwikkelt kennis over hoe Nederland zich het beste voorbereidt op de gevolgen van de wereldklimaatverandering – zoals de opwarming van de aarde, de toename van perioden met hevige storm en regenval, lange droogteperioden, de zeespiegelstijging en een verslechtering van de kwaliteit van de leefomgeving. Kennis voor Klimaat gaat vooral over adaptatie, over praktische maatregelen per regio om de veranderingen het hoofd te bieden. Het beoogde onderzoeksprogramma duurt vijf jaar en kost 140 miljoen euro. Gekozen is voor het aanwijzen van zeven ‘hot spots’ in Nederland, gebieden die elk op eigen wijze te maken krijgen met de gevolgen van klimaatverandering: de regio’s Haaglanden en Rotterdam, Schiphol, de lage veenweidegebieden, de kuststreek, de rivieren en de hoge, droge landelijke gebieden. Belangrijke onderzoeksvragen zijn bijvoorbeeld wat de gevolgen zijn van meer neerslag voor de afwatering van polders, hoe wateroverlast is te voorkomen in dichtbevolkt stedelijk gebied, wat de effecten zijn van verzilting voor de landbouw, en de invloed van veranderende meteorologische omstandigheden op de landbouw en de luchtkwaliteit in steden.

Future Water heeft in opdracht van V&W onlangs een uitgebreide inventarisatie van onderzoeksprojecten met betrekking tot klimaatverandering en adaptatie uitgevoerd. Dit rapport (Future Water, 2007) complementeert bovenstaande lijst.

12 Referenties

- Delfland (2004). Delfland in breed beeld: een breed beeld van het watersysteem onderzoek t/m 2004. kenmerk 550264, Hoogheemraadschap van Delfland, Delft.
- Eigenraam, C.J.J. (2005). Veiligheid tegen overstromen, kosten-baten analyse voor Ruimte voor de Rivier. CPB april 2005.
- Freeman, C., Evans, C.D., Monteith, D.T., Reynolds, B. & Fenner, N. (2001). Export of organic carbon from peat soils. *Nature*, 412, 785.
- Future Water (2006). Klimaatverandering en waterkwaliteit. Opdracht van Wetterskip Fryslân.
- Future Water (2007). Kimaatverandering en adaptatie. Inventarisatie onderzoeksprojecten ten behoeve van ARK. Augustus 2007.
- Gehrels, H. et al. (2005) Quickscan DSM-spoorzone: Verkenning van duurzame oplossingsrichtingen voor het waterbeheer in Delft en omgeving TNO-rapport NITG 05-134-B0905 voor Gemeente Delft, Hoogheemraadschap van Delfland, Provincie Zuid Holland, Delft Cluster II
- GeoDelft. Onderzoek naar het beoordelen van de geschiktheid van kleigrond voor de bekleding van dijken met grasbedekking, GeoDelft rapport CO-275925.0014
- Heemstra, J. (2001), Afschuivingen na hevige regenval te Maasdijk, Hodenpijl, Maasland en Schipluiden, GeoDelft rapporten CO-402520.0002, 0003, 0004 en 0006
- Heemstra, J. (2003), Risico kaden Delfland na de langdurige warme en droge zomer van 2003, GeoDelft rapport CO-411330.0013
- van Hoven, A. (2003), Gedetailleerde toetsing grondlichaam Delflandsedijk, GeoDelft rapport CO-382091.0046
- IPCC (2001). IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- KNMI (2001). Climate scenarios for impact studies in the Netherlands. GP. Können. KNMI, De Bilt, mei 2001.
- KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt, 22 mei 2006, 82 blz.
- Kors, A.G., Claessen, F.A.M., Wesseling, J.W. en Können, G.P. (2000). Scenario's externe krachten t.b.v. WB21. RIZA, Lelystad.
- Kruse, G.A.M. (2003), Eigenschappen van klei in verband met aanleg en duurzaamheid van wegophogingen in klei, PAO cursus Wegophogingen van klei
- Kwadijk, J., F. Klijn, M.A. van Drunen, D. de Groot, G. Teisman, P. Opdam en N. Asselman (2006). Klimaatbestendigheid van Nederland: Nulmeting – ARK Routeplanner Deelproject 1. WL Delft Hydraulics, oktober 2006.

- Kwadijk, J. et al. (2007) Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding, WL | Delft Hydraulics in opdracht van MNP, rapport Q4394, concept.
- Loeve, R., P. Droogers & J. Veraart (2006). Klimaatverandering en waterkwaliteit. Future water in opdracht van Wetterskip Fryslân.
- de Louw, P., G. Oude Essink en P. Maljaars, (2007), Achtergrondstudie kwelreductietechnieken, TNO-Rapport 2007-U-R0357/B voor Hoogheemraadschap van Rijnland
- van Luijtelaar, H. (2002). Klimaatontwikkeling en riolering. RIZA rapport 2002.024.
- Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P. (2004), Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, NITG 04-189-B, 86 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.
- MNP (2002). Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Lengte groeiseizoen in Nederland, 1900-2003, versie 05, 8 oktober 2002.
- MNP (2005a). Effecten van klimaatverandering in Nederland. Milieu- en Natuur Planbureau, oktober 2005. MNP-rapportnummer: 773001034.
- MNP (2005). Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Neerslagsom in Nederland, 1906-2003, versie 01, 6 december 2005.
- MNP (2007). Nederland Later; Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland; Milieu en Natuur Planbureau, Bilthoven, juni 2007
- Oude Essink, G.H.P. (1996). Impact of sea level rise on groundwater flow regimes, A sensitivity analysis for the Netherlands, <http://repository.tudelft.nl/file/182852/152470>, Delft University of Technology, 411 p.
- Oude Essink, G.H.P. & Schaars, F. (2003). Impact of climate change on the groundwater system of the water board of Rijnland, The Netherlands. Proc. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands, pp. 379-392.
- OVB (2002). Vissterfte. Vis en water magazine 2^e jaargang, nr 3, oktober 2002.
- Provincie Zuid-Holland (oktober 2006). Bodemvisie Provincie Zuid-Holland 2006.
- TAW1996: Technisch Rapport Klei voor dijken.
- TAW2004: Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken.
- Rahmstorf, S. (2006). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science (express) 10.1126/science.1135456, 14 dec 2006.
- Roest, C.W.J., P.J.T. van Bakel & A.A.M.F.R. Smit (2003). Actualisering van de zouttolerantie van land- en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium, Alterra notitie t.b.v. de droogtestudie (www.droogtestudie.nl).
- Stephens, J.C. et al (1984). Organic soil subsidence, In: Man-Induced Subsidence, Holzer, T.L. (Ed.) Geological Society of America Reviews in Engineering geology, V.6, 107-122.
- Vuren, van, S., Kwadijk, J. et al. 2007, Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en –beleid, WL | Delft Hydraulics in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA, rapport Q4437, 75 p.

Witte, J.P., Kruijt, B., Kroon, T. en Maas, K. (2006). Verdamping planten vermindert door toename atmosferische kooldioxide. H₂O nr. 5, blz. 27 – 29.

Aanvullende informatiebronnen

Klimaatverandering

Een uitgebreide lijst van (internationale) publicaties over klimaatverandering is te vinden op:
http://www.knmi.nl/research/climate_analysis/publications.html

Grondwater

Stuurman, R.J., Oude Essink, G.H.P., et al., (2006), Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding van de Kaderrichtlijn Water "verziltting door zoutwaterintrusie en chloridevervuiling", TNO rapport 2006-U-R0080/A, 84 p., TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.

Stuurman, R., P. Baggelaar, N. van Oostrom (2007), Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050. TNO rapport 2007-U-R201/B, 156 p., TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.

Ruimtelijke ontwikkelingen

CPB (2004). Vier vergezichten op Nederland – Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040. No. 55, Centraal Planbureau, Den Haag, november 2004.

CPB, MNP en RPB (2006). Welvaart en Leefomgeving – een scenariostudie voor Nederland in 2040. Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, september 2006, 239 blz.

Klimaatadaptatie

VROM (2007). De hype voorbij. Klimaatverandering als structureel ruimtelijk vraagstuk.

A Overzicht geïnventariseerde effecten

Navolgende tabel geeft een overzicht van alle geïnventariseerde effecten per taak van het hoogheemraadschap. Tevens is aangeduid welke klimaattrends het effect veroorzaken, met welke waarschijnlijkheid de klimaattrends zullen optreden, waar het effect zich naar verwachting zal voordoen en welke acties op korte termijn ten aanzien van het effect kunnen worden ondernomen. Er zijn vier acties onderscheiden: beheren, studeren, agenderen en anticiperen. In het laatste geval is de prioriteit het hoogst

- *Beheren*
De functieondersteuning/taak wordt niet ernstig aangetast, functiewijziging is vanuit het waterbeheer dus niet aan de orde, maatregelen passen binnen het reguliere (operationele) beheer.
- *Studeren*
over het effect is meer kennis gewenst om risico van het effect beter te kunnen bepalen; monitoren ('vinger aan de pols'), onderzoek opstarten of participeren in onderzoeksprogramma's en projecten.
- *Agenderen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, formuleren van oplossingsrichtingen noodzakelijk, afhankelijkheden van of verantwoordelijkheden richting externen zoals rijk, provincie en andere waterschappen worden acties geagendeerd.
- *Anticiperen*
De ondersteuning van bestaande functies komt onder druk te staan, uitvoering van de taak wordt naar verwachting een probleem, er moeten keuzen worden gemaakt voor de te hanteren strategie, wordt het ruimtereservering, functieaanpassing, verregaande technische maatregelen, acceptatie, of een combinatie?

De per effect aangeduide acties zijn gebaseerd op expert judgement van Deltares en indicatief. Afhankelijk van de meest actuele inzichten en (beleids)ontwikkelingen bij het hoogheemraadschap is het zeer welmogelijk dat voor sommige effecten de nadruk op andere acties moet worden gelegd. De laatste kolommen hebben dan ook voornamelijk een functie als format voor een checklist, bij het stellen van prioriteiten.

Taak	Thema/werkveld	Zeespiegel stijging	Temp. stijging	Droogperiodes zomer	Gemiddeld natter	Buiten intenser	Toename wind	Samengestelde kans optreden klimaatrends	Effect	Waar (vooral) binnen Delfland	Belang en actie Delfland			
											Beheren	Studeren	Agenderen	Anticiperen
Waterkering en veiligheid	Kustverdediging							zeer waarschijnlijk	Toename gemiddelde waterdiepte, toename getijverschil, hoogwater hoger	Kustgebied, langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	Golven hoger en zwaarder, meer belasting kustprofiel/keringen	Kustgebied				
								zeer waarschijnlijk	Toename sedimentvraag bekkens/estuaria, versterkte erosie aangrenzende kust	Kustgebied				
								fifty-fifty	Toename golfhoogte en hoogte en duur windopzet, toename van belasting en erosie kustprofiel/kering	Kustgebied				
								fifty-fifty	Versterking stroomsnelheden en daarmee erosie	Kustgebied				
fifty-fifty	Gemiddelde windrichtingen en windsterktes anders; effect op grootschalige sedimenthuishouding, o.a. golfwerking en verstuiving	Kustgebied												
Zeewering (duinen)								waarschijnlijk	Verandering van vegetatie	Kustgebied				
								waarschijnlijk	Meer afslag door grotere golven tijdens storm	Kustgebied				
								fifty-fifty	Meer mobiliteit van duinzand (verstuiving)	Kustgebied				
								waarschijnlijk	Erosie door slagkracht neerslag en afspoeling	Kustgebied				
waarschijnlijk	Vullen van droge duinpannen door stijging grondwaterstand	Kustgebied												
Zeewering (zeedijk)								zeer waarschijnlijk	Hogere buitenwaterstanden van belang voor de faalmechanismen overloop, overslag, binnenwaartse macrostabiliteit, piping	Kustgebied				
								zeer waarschijnlijk	Toename golfhoogte en hoogte en duur windopzet, toename van belasting zeedijk	Kustgebied				
								waarschijnlijk	Scheurvorming bekleding, toename doorlatendheid, stijging grondwaterstand in de waterkering, afname binnenwaartse macrostabiliteit	Kustgebied				
								waarschijnlijk	Afname kwaliteit grasmat, afname erosiebestendigheid	Kustgebied				
								waarschijnlijk	Toename dynamiek grondwaterstand in de waterkering, invloed op binnenwaartse macrostabiliteit en erosiebestendigheid	Kustgebied				
								zeer waarschijnlijk	Snellere val van het water betekent meer kans op grootschalige oeverinscheringen (zettingvloeiing)	Kustgebied				
Rivierdijk								zeer waarschijnlijk	Door hogere buitenwaterstanden wordt de standzekerheid ongunstig beïnvloed	Langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	Door hogere buitenwaterstanden kunnen onderloopsheid en achterloopsheid optreden, stroming onder of langs constructies die daar niet op zijn gedimensioneerd	Langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	Hogere grondwaterstanden hebben een ongunstige invloed op het verticaal evenwicht van diepe constructies zoals tunnelbakken	Langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	Sterkte van de keermiddelen zelf kan bij toenemende buitenwaterstanden ontoereikend worden	Langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	De verticale stabiliteit van de waterbodems van de toegangskanalen tot een gemaal wordt bij hoge buitenwaterstanden ongunstig beïnvloed	Langs Nieuwe Waterweg				
								zeer waarschijnlijk	Invloed op niet waterkerende elementen (bijv. kabels en leidingen)	Langs Nieuwe Waterweg				
								waarschijnlijk	Stabiliteit Maasdijk vanwege constructie en gebruik meer in geding	Langs Nieuwe Waterweg				

Taak	Thema/werkveld	Zeespiegel stijging	Temp. stijging	Droogtperiodes zomer	Gemiddeld natter	Buien intenser	Toename wind	Samengestelde kans optreden klimaatrends	Effect	Waar (vooral) binnen Delfland	Belang en actie Delfland			
											Beheren	Studeren	Agenderen	Anticiperen
Waterkering en veiligheid	Boezem- en Polderkaden							waarschijnlijk	Toename kans op deformaties in natte perioden	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
								zeer waarschijnlijk	In lange droge periode grotere kans op deformatie en instabiliteit door uitdroging van organische componenten	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
								waarschijnlijk	Optreden diepere glijvlakken door hogere stijghoogten in pleistoceen zand	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
								fifty-fifty	Toename golfaanval	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
								fifty-fifty	Hogere waterstand door windopzet	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
Watersysteem	Peilbeheer							waarschijnlijk	toename van kans op hoge waterstanden en daarmee op risico's van wateroverlast	Geheel Delfland				
								waarschijnlijk	toename kans water op straat in stedelijk gebied en hogere frequentie in werking treden riooloverstoren	Stedelijk gebied				
Droogte								zeer waarschijnlijk	toename zoetwaterbehoefte voor peilhandhaving, doorspoelen, watervoorziening, tegengaan verzilting uitgeput raken of verzilten van zoetwatervoorraden	Geheel Delfland				
								zeer waarschijnlijk	voorschrijdende verzilting riviermondingen in perioden van lage rivierafvoer	Geheel Delfland Langs Nieuwe Waterweg				
AWZI's								waarschijnlijk	onregelmatiger aanbod afvalwater	Geheel Delfland				
								waarschijnlijk	toename aandeel regenwater in afvalwater	Geheel Delfland				
Riooloverstorten								waarschijnlijk	riooloverstorten treden vaker in werking en volume overstortwater neemt toe, met als gevolg afname waterkwaliteit	Geheel Delfland				
								zeer waarschijnlijk	snellere daling zuurstofconcentratie in water door snellere afbraak zuurstofconsumerende stoffen	Geheel Delfland				
								waarschijnlijk	vaker en sneller optreden van zuurstofarme omstandigheden	Geheel Delfland				
Overige emissies								zeer waarschijnlijk	afname ontvangende capaciteit van oppervlaktewater voor emissies	Geheel Delfland				
								waarschijnlijk	onregelmatiger emissies uit landbouwgebied	Landbouwgebied (incl. glas-/tuinbouw)				
								zeer waarschijnlijk	afname emissie stikstof (nutrienten) door langer groeiseizoen en snellere afbraak	Landbouwgebied, Natuur				

Taak	Thema/werkveld	Zeespiegel stijging	Temp. stijging	Droogperiodes zomer	Gemiddeld natter	Buien intenser	Toename wind	Samengestelde kans optreden klimaattrends	Effect	Waar (vooral) binnen Delfland	Belang en actie Delfland			
											Beheren	Studeren	Agenderen	Anticiperen
Watersysteem	Aquatische ecologie	tezamen met bodemdaling			toename rivierafvoer			zeer waarschijnlijk	Versterkte kwelflux naar de waterlopen in kwelgebieden. Effect op ecologie is afhankelijk van grondwatertype (brak of zoet).	Langs kust en Nieuwe Waterweg, polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen				
								waarschijnlijk	Verslechtering waterkwaliteit door riooloverstorten (nutriënten) en toename oppervlakkige afvoer (nutriënten, zware metalen).	Stedelijk gebied				
								zeer waarschijnlijk	Verslechtering waterkwaliteit door indamping (hogere concentraties in regionaal watersysteem) en hogere temperaturen (algenbloei, O ₂ tekort).	Geheel Delfland				
								zeer waarschijnlijk	In stilstaande wateren met organisch afval risico op botulisme (vis en vogelsterfte, gezondheidsrisico's).	Geheel Delfland				
								zeer waarschijnlijk	Niet geïsoleerde wateren: beïnvloeding ecologie door toename inlaat systeemvreemd water in zomer.	Geheel Delfland				
		tezamen met bodemdaling							zeer waarschijnlijk	Geïsoleerde wateren: kwetsbaar voor droogval	Geheel Delfland			
									zeer waarschijnlijk	Meer B&O watergangen nodig door versnelde groei van waterplanten	Geheel Delfland			
									zeer waarschijnlijk	Verschuivingen in soortensamenstelling (binnen voedselweb)	Geheel Delfland			
									zeer waarschijnlijk	Opkomst exoten en plaagsoorten	Geheel Delfland			
									zeer waarschijnlijk	Verslechtering waterkwaliteit binnendijkse wateren (interne en externe verzilting), verhoogd risico op zoutshade (tuinbouw, siergewassen)	Geheel Delfland			
Landbouw							zeer waarschijnlijk	Verhoogd risico op zoutshade	Landbouw (en glastuinbouw)					
							zeer waarschijnlijk	Toename waterbehoefte voor bestrijding verzilting en watertekorten	Landbouw (en glastuinbouw)					
							zeer waarschijnlijk	Toename van kans verzilting van voor landbouw belangrijke waterinnamepunten (Brielse Meer).	Landbouw (en glastuinbouw)					
Waterbodems							waarschijnlijk	Afname waterbodemkwaliteit door afname waterkwaliteit	Geheel Delfland					
							waarschijnlijk	Meer resuspensie van waterbodemmateriaal door verhoogde stroomsnelheden en windgolven	Geheel Delfland					
							waarschijnlijk	Toename beheer en onderhoud door toename benodigde afvoercapaciteit, ophoping organisch materiaal en groter belang 'schone' watergangen	Geheel Delfland					
							waarschijnlijk	Toename van behoefte aan depotcapaciteit	Geheel Delfland					
Grondwater	landelijk/stedelijk				toename rivierafvoer		waarschijnlijk	Stijging grondwaterstand in infiltratiegebieden	Kustgebied, Delft, regio Rotterdam					
							zeer waarschijnlijk	Toename kwel	Langs kust en Nieuwe Waterweg					
							waarschijnlijk	Toename kans grondwateroverlast	Stedelijk gebied, polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen					
							waarschijnlijk	Periodiek zeer hoge grondwaterstanden, verdrassing landbouwvelden	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen					
Grondwater	landelijk/stedelijk						waarschijnlijk	Periodiek zeer lage grondwaterstanden, maaiveld daling (sterkere verhoging veenpercelen), aantasting funderingen	Polders Oostland/Midden Delfland, stedelijk gebied					
							zeer waarschijnlijk	Meer (kans op) verzilting (brak kwelwater)	Polders Oostland/Midden Delfland, droogmakerijen					

Taak	Thema/werkveld	Zeespiegel stijging	Temp. stijging	Droogperiodes zomer	Gemiddeld natter	Buien intenser	Toename wind	Samengestelde kans optreden klimaattrends	Effect	Waar (vooral) binnen Delfland	Belang en actie Delfland			
											Beheren	Studeren	Agenderen	Anticiperen
Grondwater	landelijk/stedelijk							zeer waarschijnlijk	Perforatie weerstandbiedende lagen door toename WKO systemen (indirect effect)	Stedelijk gebied, glastuinbouw				
								zeer waarschijnlijk waarschijnlijk zeer waarschijnlijk	Mogelijk beïnvloeding grondwaterecologie en -kwaliteit Wijziging grondwater-oppervlaktewater interactie Bedreiging kaden en dijken door extreem lage grondwaterstanden.	Geheel Delfland Geheel Delfland Polders Oostland/Midden Delfland, Diepe droogmakerijen				
	Verzilting							zeer waarschijnlijk zeer waarschijnlijk	Toename verzilting grondwater op regionale schaal Toename zoutbelasting oppevlaktewater	Geheel Delfland Langs kust en Nieuwe Waterweg, op lange termijn geheel Delfland				
Bodem	Bodemwaterkwaliteit							zeer waarschijnlijk waarschijnlijk waarschijnlijk	Sneller verlopen van bodemvormende processen Toename mobiliteit van verontreinigingen en nutriënten Verschuivingen in samenstelling bodemfauna	Polders Oostland/Midden Delfland Landbouw, natuur Landbouw, natuur				
	Bodemdaling							zeer waarschijnlijk	Toename bodemdaling door dynamischer grondwaterstand en igv onvoldoende adaptatie peilbeheer	Polders Oostland/Midden Delfland				
	Bodemstabiliteit							zeer waarschijnlijk	Toename van kans opbarsting deklaag (ontstaan van wellen)	Langs kust en Nieuwe Waterweg, droogmakerijen				