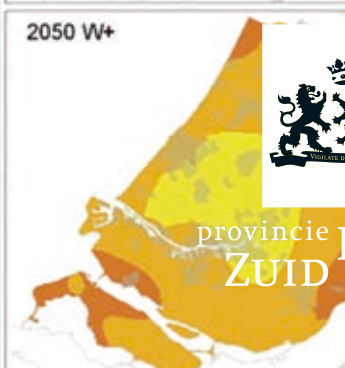
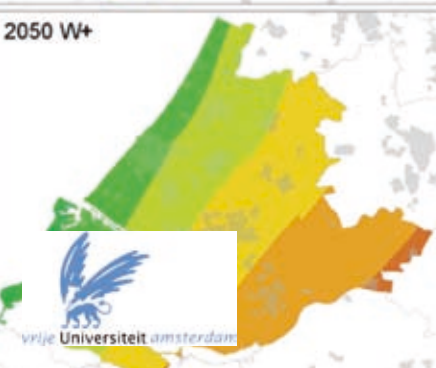
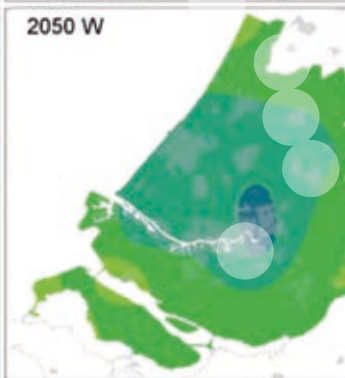
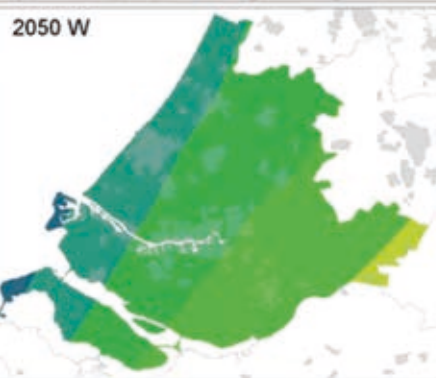
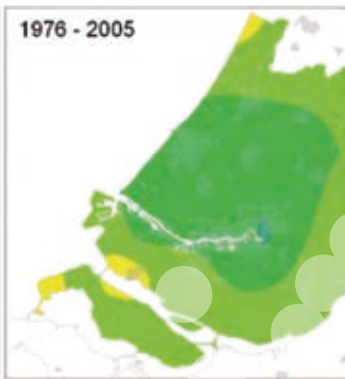
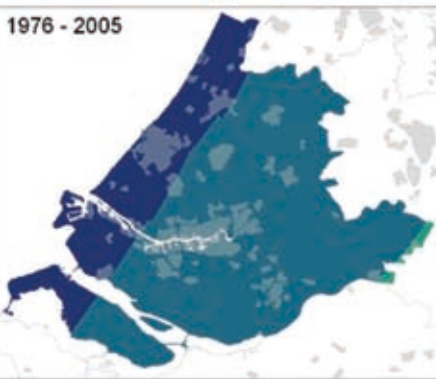




provincie **HOLLAND**
ZUID

Xplorelab

HOTSPOT ZUIDPLASPOLDER

Klimaatverandering

ACHTERGRONDSTUDIE



Inhoud

Inleiding	4
Het Klimaat	5
Historische Klimaatverandering	7
Toekomstige Klimaatverandering	10
Primaire Klimaateffecten: Temperatuur	16
Primaire Klimaateffecten: Neerslag	18
Primaire Klimaateffecten: Zeespiegel	21
Referenties	22
Colofon	23

Hotspot Zuidplaspolder

Dit is een Achtergrondstudie, gemaakt in het kader van de Hotspot Zuidplaspolder. Het Hotspot project is uitgevoerd door het Xplorelab van de Provincie Zuid-Holland in opdracht van het nationaal onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte. Het project heeft als doel het vergroten van de klimaatbestendigheid van de plannen voor de Zuidplaspolder. Er is intensief samengewerkt met de projectorganisatie Driehoek RZG-Zuidplas. Partners in dit Hotspot-project zijn o.a. het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard, Vrije Universiteit (Amsterdam), Technische Universiteit Delft en de Wageningen Universiteit en Researchcentrum.

Deze studie past in de reeks van 8 Achtergrondstudies en 5 Voorbeeldprojecten Klimaatbestendig ontwerpen. Ook is er een samenvattend eindrapport verschenen. Voor meer informatie wordt verwezen naar www.xplorelab.nl.

Inleiding

In de Zuidplaspolder zullen in de komende decennia vele ontwikkelingen gaan plaatsvinden met betrekking tot wonen en werken. Gezien de lage ligging van de polder en het vooruitzicht dat het klimaat zal gaan veranderen in de nabije toekomst (komende 100 jaar) is het van belang dat de ontwikkelingen in deze polder met deze randvoorwaarden rekening houden, in andere woorden: om hier duurzaam te ontwikkelen. Klimaatverandering heeft invloed op verschillende randvoorwaarden in de polder, zoals wateroverlast, waterveiligheid en droogte. Deze worden door het Xplorelab in verschillende sporen van het Hotspot - Zuidplaspolder project bestudeerd om te kijken hoe deze polder 'klimaatproof' ingericht kan worden.

Dit rapport beschrijft het algemene verschijnsel van klimaatverandering in de brede context. Het begint op mondiaal schaalniveau en in het verleden en loopt tot en met het regionale schaalniveau en de toekomst.

Het Klimaat

Het klimaat op aarde is een bijzonder complex systeem van verschillende componenten die op een ingewikkelde manier met elkaar samenhangen (stromingen, feedbacks). De componenten die onderscheiden worden zijn de atmosfeer (lucht), hydrosfeer (zeeën, meren, rivieren), biosfeer (vegetatie), cryosfeer (ijs, gletsjers, permafrost) en het landoppervlak (rotsen ed.).

Verschillende processen en interacties tussen deze componenten worden aangedreven door verschillende externe factoren die de randvoorwaarden vormen voor het klimaat. Deze randvoorwaarden, en daarmee het klimaat, veranderen door de tijd heen. Dit soort veranderingen gebeuren op verschillende tijdschalen. De belangrijkste randvoorwaarden voor het klimaat op aarde zijn:

- Tektoniek: het bewegen van tectonische platen over de aarde, gebergtevorming, vorming van oceanen, etc. Tektoniek wordt aangedreven door warmte uit het binnenste van de aarde en speelt op schalen miljoenen jaren.
- Astronomische positie van de aarde: veranderingen in de baan van de aarde om de zon en de stand van de as van de aarde zorgen veranderen de verdeling van de straling over de aarde en tussen de seizoenen. Deze cycli zorgen voor veranderingen in het klimaat op een tijdschaal van 10 tot 100 duizend jaar.
- Sterkte van de zon: veranderingen in de sterkte van de zon beïnvloed de hoeveelheid straling die op de aarde aankomt en daarmee het klimaat. Dit soort cycli spelen op tijdschalen van tientallen tot honderden jaren.

Het aardoppervlak wordt verwarmd door inkomende zonnestraling. Op hetzelfde moment straalt de aarde ook warmte uit het heelal in. Deze uitgaande straling heeft echter een grotere golflengte en kan daardoor voor een deel door gasen (broeikasgasen) in de atmosfeer teruggekaatst worden. Hierdoor werkt de atmosfeer als een soort deken over de aarde die ervoor zorgt

dat het ongeveer 30 graden warmer is dan wanneer er geen atmosfeer zou zijn. Dit is van groot belang omdat hierdoor de gemiddelde temperatuur op aarde ongeveer +15°C is in plaats van -15°C, waardoor water vloeibaar is in plaats van ijs. De belangrijkste broeikasgassen zijn waterstof (H₂O), metaan (CH₄) en koolstofdioxide (CO₂). De hoeveelheid van deze gassen is sterk gecorreleerd met de temperatuur op aarde en de concentratie van broeikasgassen varieert door de tijd heen door bijvoorbeeld veranderingen in vegetatie, vertering en vulkanische activiteit.

Aangezien de randvoorwaarden voor het klimaat gedurende het bestaan van de aarde veranderden heeft ook het klimaat op aarde veranderd in het (geologisch) verleden. Zo zijn er periodes geweest dat de aarde zo goed als helemaal bedekt was met ijs (~850 miljoen jaar geleden), maar ook periodes dat de aarde veel warmer was dan nu (~100 miljoen jaar geleden). Op dit moment zijn de randvoorwaarden echter zodanig dat dit soort extreme situaties nu niet kunnen voorkomen. De aarde bevindt zich sinds 1 à 2 miljoen jaar in een situatie waarin koude periodes en warme periodes elkaar afwisselen. Gedurende de koude periodes (ijstijden, duren ongeveer 100.000 jaar) zijn de noordelijke delen van America, Europa en Azië bedekt met ijs. Zo lag er tijdens de voorlaatste ijstijd landijs tot aan Utrecht en Nijmegen. Op dit moment bevinden de aarde zich in een warme periode (tussen-ijstijd, duurt on-

geveer 15.000 jaar). Deze kenmerken zich door een relatief stabiel warm klimaat, al zijn er wel tal van natuurlijke variaties die het klimaat beïnvloeden op korte tijdschalen (jaren tot eeuwen). Belangrijke oscillaties zijn onder andere El Nino, de Noord-Atlantische oscillatie en verschillende zonnecycli. Ook incidentele gebeurtenissen zoals vulkaanuitbarstingen kunnen effect hebben op het klimaat, zoals de eruptie van Mount Tambora in 1816 (bekend als 'het jaar zonder zomer').

In de afgelopen paar honderd jaar is er een factor bijgekomen in het aardse klimaatstelsel. Ingrijpende veranderingen in landgebruik en het verbranden van fossiele brandstoffen door de mens zorgen voor veranderingen in de reflectie van zonnestraling en in concentraties broeikasgassen in de atmosfeer.

Historisch

*Figuur 1 (rechts):
Atmosferische concentraties van CO₂, CH₄ en N₂O van de afgelopen 10.000 jaar. De inzetten geven de verandering sinds de industriële revolutie weer (1750 AD).
Bron: IPCC WG1 Summary for Policymakers, 2007.*

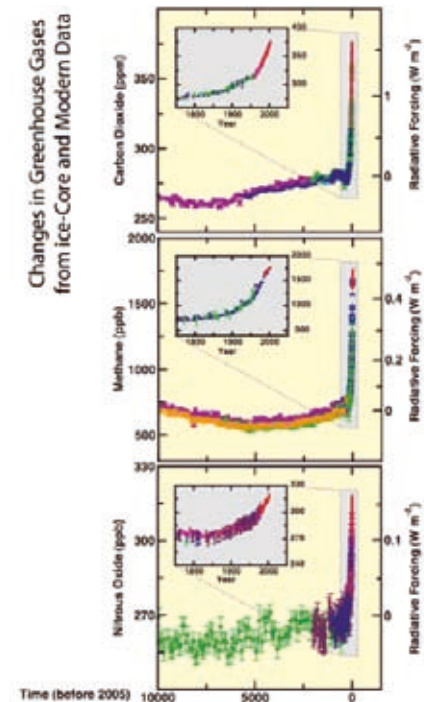
Historische Klimaatveranderingen

Mondiaal

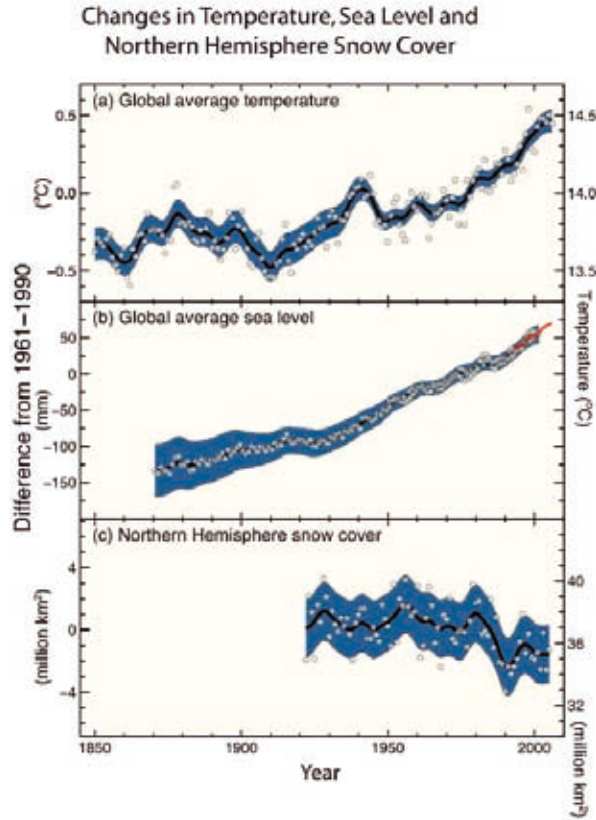
Vanaf de industriële revolutie halverwege de 18e eeuw begint de mens een steeds grotere stempel op het klimaat van de aarde te drukken. Met name in de laatste eeuw zijn er al tal van veranderingen waargenomen die hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt zijn door menselijk handelen.

Ten grondslag van recente veranderingen in het klimaat liggen veranderingen in de concentraties broeikasgassen. Mondiale concentraties van kooldioxide (CO₂), methaan (CH₄) en nitraat oxides (N₂O) zijn sterk gestegen sinds 1750 (figuur 1) en op het moment hoger dan dat ze ooit in de laatste 650.000 jaren geweest zijn. Deze enorme stijging van broeikasgassen is het gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen, veranderingen in landgebruik en landbouw. Methaan heeft van

deze gassen het grootste broeikaseffect maar doordat er vele malen meer CO₂ is uitgestoten dan methaan is het totale broeikaseffect van CO₂ het grootst.



*Figuur 2:
Gemeten veranderingen
in temperatuur, zeespiegel
en sneeuwoppervlak
(maart-april). Alle veran-
deringen zijn relatief ten
opzichte van de gemid-
deldes van 1961-1990.
De onzekerheidsmarge
is weergegeven met
de blauwe band. Bron:
IPCC WG1 Summary for
Policymakers, 2007.*



Parallel met de stijging in broeikasgassen zien we ook een stijging in de temperatuur op aarde die hoogstwaarschijnlijk het gevolg is van deze stijging in broeikasgassen. Wereldwijd is de gemiddelde temperatuur in de afgelopen 100 jaar (1906-2006) 0.74°C gestegen. Met name sinds 1975 is de stijging in gemiddelde temperatuur op aarde snel gegaan (0.5°C). De laatste helft van de afgelopen eeuw is warmer geweest dan de 1300 jaar daarvoor en van de 12 warmste jaren ooit gemeten sinds 1850 liggen er 11 in de afgelopen twaalf jaar (1995-2006). De temperatuurstijging is op sommige plekken sneller gegaan dan op andere. Zo is de stijging relatief groter boven grote landmassa's en bij de polen en relatief laag boven de oceanen en in de tropen.

Deze opwarming van de atmosfeer zorgt er tevens voor dat het oppervlaktewater van de oceanen warmer wordt en uitzet, waardoor de zeespiegel stijgt (figuur 2). Dit laatste wordt nog eens versterkt door het afsmelten van landijs en gletsjers. Waarschijnlijk heeft ook het afsmelten van de grote ijsvlaktes van Groenland en wellicht Antarctica hiertoe bijgedragen, maar de onzekerheidsmarge van die data is zeer groot (het is zelfs

mogelijk dat Antarctica zelfs gegroeid is). In totaal is in de 20e eeuw de zeespiegel wereldwijd gestegen met ongeveer 17 cm. De stijging van de zeespiegel lijkt in de laatste 10 jaar (1993-2003) twee keer zo snel te zijn gegaan als de rest van de 20e eeuw, maar het is niet geheel zeker of deze snellere stijging zal doorzetten.

Buiten de bovenstaande veranderingen in temperatuur, zeespiegel en landijs zijn er ook veranderingen waargenomen op andere vlakken. Zo is het zee-ijs van de Noordpool en de permafrost aan het afsmelten, waarbij sommige onderzoeken erop duiden dat de Noordpool al zeer snel (enkele decennia) ijsvrij zou kunnen zijn. Tevens komen hittegolven vaker voor en zijn droogtes intenser en langduriger. Verder zijn er veranderingen in luchtstromingen en neerslagpatronen waargenomen en lijken extreme neerslag gebeurtenissen vaker voor te komen. Er zijn aanwijzingen dat de activiteit van hevige tropische stormen (orkanen en tyfonen) is toegenomen maar hier is nog wat onzekerheid over. Als laatste zijn er ook bepaalde aspecten waarin geen significante veranderingen zijn waargenomen, zoals bij tornado's, onweer, hagel en stofstormen.

Nationaal

Aangezien veranderingen in het klimaat niet hetzelfde zijn over de gehele aarde wijken de veranderingen waargenomen in Nederland wat af van het mondiale gemiddelde. Zo is de temperatuur in Nederland wat meer gestegen dan het

mondiale gemiddelde, namelijk met 1.2°C sinds 1900. Door deze stijging is het aantal vorstdagen gedaald en het aantal zomerse dagen gestegen. Met name februari en maart zijn aanzienlijk warmer geworden doordat er meer zuidweste wind gedurende deze periodes was. Gedeeltelijk doordat warmere lucht meer waterdamp kan opnemen is de jaarlijkse neerslag sinds 1906 met 18% toegenomen. Dit is voornamelijk toe te schrijven aan een nattere herfst, winter en lente daar de zomerneerslag amper toegenomen is. Er kan niet veel geconcludeerd worden over veranderingen in windsterkte en stormfrequentie vanwege korte meetreeksen en grote natuurlijke variabiliteit. Het aantal 'stormen' (windkracht 7 aan kust) lijkt in ieder geval sinds 1962 te zijn afgenomen.

De zeespiegel van de Noordzee is in de afgelopen eeuw zo'n 20 cm gestegen. Ook hier is de stijging in de laatste jaren (sinds 1993) hoger dan daarvoor, namelijk zo'n 3 mm per jaar. In Nederland speelt verder dat de totale stijging van de Noordzee ten opzichte van het land ook beïnvloed wordt door het dalen van de bodem van Nederland zelf, wat ongeveer (afhankelijk van de plaats) tussen de 0 en 4 mm per jaar is.

Toekomstig

Toekomstige Klimaatveranderingen

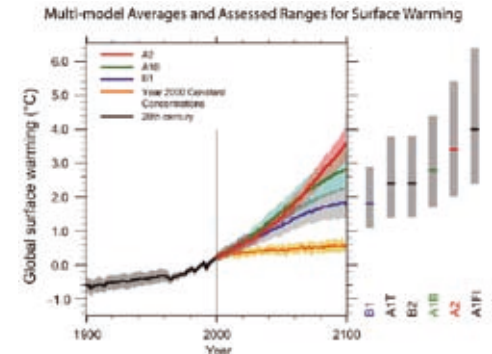
Mondiaal

Naar aanleiding van de bovenstaande waarnemen rijst natuurlijk de vraag wat ons te wachten staat in de (nabije) toekomst met betrekking tot het klimaat op aarde en in Nederland. Om zulke toekomstige veranderingen in te schatten wordt gebruikt gemaakt van zogenaamde 'General Circulation Models' (GCMs): geavanceerde computermodellen die de verschillende compartimenten (atmosfeer, oceanen, etc.), interacties en feedback mechanismen van het klimaatsysteem simuleren. Belangrijke input parameters voor dit soort modellen zijn concentraties van broeikasgassen. Aangezien deze concentraties natuurlijk niet bekend zijn voor de toekomst wordt gebruik gemaakt van verschillende emissie scenario's die tezamen het gehele bereik van mogelijke broeikasgasconcentraties probe-

ren te omvatten. Deze scenarios gaan uit van verschillende ontwikkelingen m.b.t. bevolkingsgroei, economische groei, technologische ontwikkeling en de mate van mondiale samenwerking.

Berekeningen van klimaatmodellen aan de hand van dit soort scenario's geven aan dat de komende decennia een opwarming van $\sim 0.2^\circ\text{C}$ per 10 jaar wordt verwacht. Aan het einde van deze eeuw wordt verwacht dat de temperatuur tussen de 1.1 en 6.4°C hoger zal zijn vergeleken met het einde van de 20e eeuw, afhankelijk van het scenario dat wordt gehanteerd (figuur 3). De veranderingen die al waargenomen zijn in de 20e

Figuur 3 (rechts): Voorziene temperatuurstijging in de komende eeuw zoals berekend door verschillende modellen voor verschillende toekomstscenario's. Bron: KNMI, 2006



eeuw zullen door toekomstige klimaatverandering waarschijnlijk verder toenemen.

Ditzelfde scala aan scenario's en modelberekeningen geeft een zeespiegelstijging tussen de 18 en 59 cm. aan het einde van de 21e eeuw, vergeleken met het einde van de 20e eeuw. In deze projectie is wel het smelten van Groenland en Antarctica meegenomen, maar wordt geen rekening gehouden met eventueel versnelt afsmelten, wat voor een extra 10 of 20 cm. stijging kan zorgen.

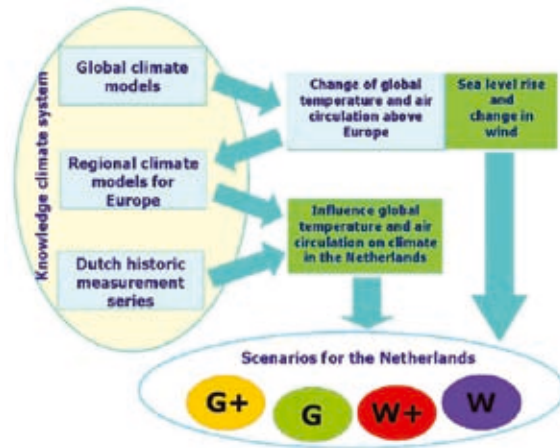
Over het algemeen kan dus gezegd worden dat de waargenomen veranderingen zich in de komende eeuw zullen

voortzetten, wellicht zelfs in een sneller tempo dan de vorige eeuw. Het is verder belangrijk te onthouden dat na 2100 klimaatverandering niet ophoudt. Antropogene opwarming van de aarde en het stijgen van de zeespiegel zal nog voor vele eeuwen (zelfs meer dan een millennium) doorgaan, zelfs nadat broeikasgasconcentraties stabiliseren. Dit is het gevolg van klimatologische processen, feedback mechanismen en de tijd die het kost om broeikasgassen uit het de atmosfeer te onttrekken.

Nationaal

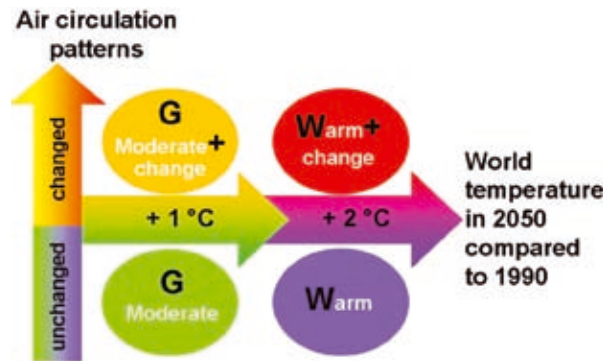
Daar, zoals beschreven, veranderingen in het klimaat niet homogeen zijn over de gehele aarde heeft het KNMI vier scenario's ontwikkeld om de mogelijke klimaatveranderingen voor Nederland in te kunnen schatten zodat daarop geanticiëerd kan worden. Het KNMI heeft zich daarvoor gebaseerd op o.a. dezelfde data die door het IPCC gebruikt is voor het mondiale onderzoek (4th Assessment Report), maar heeft ook gebruik gemaakt van regionale klimaatmodellen (RCMs) en historische meetreeksen (figuur 4) om de globale projecties te vertalen naar projecties voor Nederland.

*Figuur 4:
Schematische weergave van de aanpak van het KNMI bij het creëren van de vier KNMI'06 scenario's.
Bron: KNMI, 2006*



Een verzameling van GCM resultaten is vergeleken met waargenomen data om te zien welke modellen het klimaat in Noordwest Europa goed simuleren. De projecties die door deze geselecteerde modellen gesimuleerd worden zijn vervolgens gebruikt om de scenario's voor Nederland uit af te leiden. Uit de output van de GCMs blijkt dat ze tezamen een opwarming tussen de 1 en 2 °C voorzien. Verder bleek ook het circulatie patroon boven Europa van grote invloed te zijn op het klimaat in Nederland. Om deze aspecten samen te pakken zijn 4 scenario's gemaakt, afhankelijk van een 1 of 2 °C mondiale temperatuurstijging en van een sterke of zwakke verandering in atmosferische circulatie (figuur 5).

*Figuur 5:
Overzicht van de vier
KNMI'06 scenario's
en de onderliggende
randvoorwaarde. Bron:
KNMI, 2006*



Verschillende relevante klimaatparameters zijn geïdentificeerd in samenspraak met experts en eindgebruikers. Voor deze parameters zijn de betreffende waarden voor de verschillende scenario's afgeleid uit de verschillende GCM en RCM uitkomsten en naar een lagere resolutie vertaald aan de hand van waargenomen data. Dit laatste is nodig omdat bijvoorbeeld gebleken is dat de temperatuur in de Bilt gedurende de 20e eeuw ~1.4 keer zo snel steeg als het mondiale gemiddelde.

Daar de zeespiegelstijging niet zozeer afhankelijk is van atmosferische circulatie, zijn er enkel een hoog en een laag scenario: uitgaande van 1 en 2 °C mondiale temperatuurstijging in 2050 en 2 en 4 °C in 2100. Ook voor het inschatten van de zeespiegelstijging in Nederland is gebruik gemaakt van resultaten uit de verschillende klimaatmodellen. Hieruit zijn mondiale en lokale zeespiegelveranderingen als gevolg van het uitzetten van water gehaald. Verder zijn ook de effecten van gletsjers, landijs, het afsmelten van ijskappen en het smelten van permafrost gebieden meegenomen in de totale berekening. De verwachte zeespiegelstijging van het KNMI voor Nederland is boven het mondiale gemiddelde omdat het noorden

van de Atlantische Oceaan meer uitzet vanwege het diepwatervorming, waardoor niet alleen het oppervlaktewater uitzet maar ook dieper gelegen water warmer wordt. Verder heeft het KNMI wel een zekere versnelling in het afsmelten van de ijskappen op Groenland en Wes-Antarctica meegenomen in haar berekeningen omdat de stand van de zeespiegel zo cruciaal is voor een land als Nederland. De belangrijkste parameters voor de verschillende scenario's zijn weergegeven in figuur 6.

Uit de scenario's blijkt dat de opwarming zal doorzetten en dat zachte winters en warme zomers vaker zullen voorkomen. De zomer temperatuur zal in 2050 0.9 tot 2.8 graden hoger zijn dan in 1990 en de wintertemperatuur 0.9 tot 2.3 graden hoger. Winters zullen gemiddeld natter worden en extreme neerslag wordt extremer. Ook in de zomers wordt de hevigheid van extreme neerslag groter, maar het aantal regendagen neemt af. De gemiddelde neerslag kan zowel hoger als lager worden, afhankelijk van het scenario. Met name in de plus-scenario's (waarin er een verandering in atmosferische circulatie is) nemen gaat het aantal natte dagen en de gemiddelde neerslag flink naar beneden. De verandering in extreme windsnelheden lijkt gering te zijn, zeker in vergelijking met de natuurlijke variabiliteit.

Naast de temperatuur zal ook de zeespiegel blijven stijgen: van 15 tot 35 cm in 2050 en van 35 tot 85 cm in 2100. Dit is echter de enkel de stijging van de zeespiegel en bodemda-

ling is hier niet bij inbegrepen (wat tot 50 cm kan zijn in 2100 op sommige plekken in Nederland). Afhankelijk van wat de ijskappen doen zou de zeespiegel nog meer kunnen stijgen (indien deze in de toekomst sneller zullen afsmelten), maar volgens het MNP en het KNMI lijkt een zeespiegelstijging groter dan 1,5 m in 2100 uitgesloten (Katsman et al, 2007).

De bovenstaande veranderingen kunnen legio secundaire effecten hebben, onder andere met betrekking tot droogte, hittestress, wateroverlast, waterveiligheid, etc. Deze worden in andere achtergrondrapporten specifiek behandeld.

Regionale Klimaatverandering Zuid Holland

Vooraf

De beschrijving van de regionaal te verwachten effecten van klimaatverandering is grotendeels gebaseerd op het Klimaat-effectschetsboek Zuid-Holland (DHV e.a. 2008). Voor de onderdelen droogte en verzilting is gebruik gemaakt van de Herijking Zoetwaterverkenning (Haskoning 2008) en de studie Klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland (TNO 2008).

Figuur 6:
Parameters voor de
vier nieuwe KNMI'06
scenario's. De boven-
staande figuur zijn
getallen voor zichtjaar
2050. Getallen voor
2100 zijn het dubbele
van deze getallen. Fi-
guur uit KNMI brochure
(KNMI, 2006)

		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter ¹	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%
Zomer ¹	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
	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%
Zeespiegel	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

In het klimaateffectschetsboek worden onderscheid gemaakt tussen zogenaamde primaire en secundaire klimaateffecten. De primaire effecten betreffen: temperatuur, neerslag, zonneschijn en wind. In het schetsboek is de stijging van de zeespiegel daaraan toegevoegd, alhoewel dit feitelijk een gevolg is van diverse primaire effecten (de belangrijkste zijn het smelten van gletschers en ijskappen en de uitzetting van het zeewater). Secundaire effecten betreffen effecten op het watersysteem (waterveiligheid, wateroverlast, watertekort, waterkwaliteit), bodem en lucht. Deze secundaire effecten hebben vervolgens effect op functies in het stedelijk en landelijk gebied (wonen, werken, infrastructuur, landbouw, natuur, recreatie).

De mogelijkheden om de primaire klimaateffecten te differentiëren naar het schaalniveau van de provincie zijn zeer beperkt. Bedacht moet worden dat voor de KNMI06-scenario's Mondiale modellen (GCM's = Global Circulation Models) en regionale modellen (RCM's = Regional Climate Models) als basis zijn gebruikt. De KNMI06-scenario's gaan dan ook uit van dezelfde klimaatverandering voor heel Nederland. Verschillen binnen Nederland en binnen de provincie zijn gebaseerd op de huidige verschillen in het klimaat. Huidige wil zeggen het gemiddelde klimaat tussen 1976 en 2005 (30-jaars periode). Voor de kaarten in het schetsboek is gebruik gemaakt van automatische interpolatie-schema's zonder extra klimatologische kennis. In het schetsboek zijn in principe alleen gegevens uit

het W en het W+-scenario weergegeven. Hiermee wordt de volledige bandbreedte van de KNMI06-scenario's in beeld gebracht. Recentelijk heeft het KNMI in aanvulling op de KNMI06-scenario's een onderzoek uitgevoerd naar "Extreme klimaatverandering en Waterveiligheid in Nederland". Deze studie is nadrukkelijk niet bedoeld als alternatief voor de KNMI06-scenario's, maar bevat aanvullende informatie over mogelijke klimaatextremen.

Fysisch-geografische kenmerken van Zuid-Holland

Zuid-Holland laat zich kenmerken door een aantal duidelijk van elkaar te onderscheiden gebieden. Langs de kust treffen we een relatief hooggelegen duingebied bestaande uit zandige gronden. Deze worden afgewisseld door veenachtige gronden. Landinwaarts vinden we droogmakerijen op veen en diepe en ondiepe droogmakerijen op oude zeeklei, veengebieden en veengebieden met een kleidek. Het zuidwesten wordt gekenmerkt door polders van jonge zeeklei. Door de verschillen in fysiografie ontstaan er per landschapstype verschillen in gevoeligheid voor de effecten van klimaatverandering.

Primaire effecten: Temperatuur

Temperatuur

Door klimaatverandering neemt het aantal ijsdagen en dagen met vorst sterk af. Vanuit adaptatieoptiek is met name de toename van het aantal zomerse ($T > 25^{\circ}\text{C}$) en/of tropische ($T > 30^{\circ}\text{C}$) dagen van belang. Immers lange perioden met hoge temperaturen kunnen leiden tot toename van hittestress en/of andere problemen. Binnen Zuid-Holland is een duidelijk gradient te onderscheiden van de kust naar het binnenland. Figuur 8 laat de toename van het gemiddeld aantal tropische dagen per jaar in het huidige klimaat en in het W en het W+ scenario (beiden 2050) zien. Vooral in het W+ scenario is sprake van een sterke toename van het aantal tropische dagen. Zomers zoals in 2003 en 2006 (T van 18,6 resp. 18,3) welke bijna twee graden warmer waren dan normaal zijn in deze scenario's in 2050 vrij normale zomers geworden. De laatste jaren lijkt het aantal warmterecords toe te nemen, onderzoek van het KNMI

wijst erop dat de kans op temperatuurextremen sneller lijkt toe te nemen dan de gemiddelde opwarming. Een verandering van de extremenstatistiek zou dit kunnen verklaren. Ook blijkt uit recent KNMI-onderzoek dat West-Europa sneller lijkt op te warmen dan de state-of-the-art GCM-simulaties uitwijzen. (Oldenborgh et al.,)

Zonneschijn en wind

De KNMI06 -scenario's geven geen informatie over effecten op zonneschijn. In de plusscenario's neemt waarschijnlijk in de zomer het aantal uren zonneschijn toe (droger). Het bestaande ruimtelijke patroon zal niet veranderen (meer zon aan de kust, m.n. in de zomer). De effecten op wind zijn in de klimaatscenario's gering, zeker t.o.v. de natuurlijke variatie. Het bestaande ruimtelijke patroon, meer wind aan de kust, zal zich niet wijzigen.

Figuur 7a: Warmte:

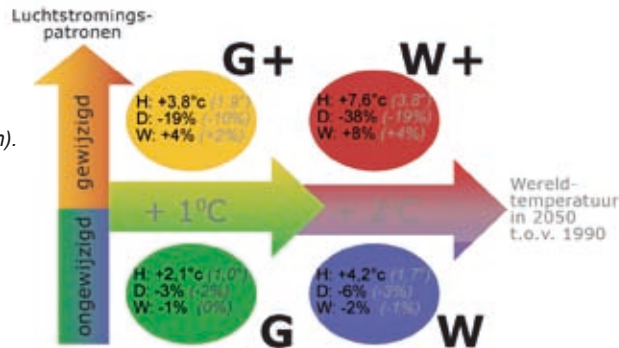
Zomer (juni, juli en aug.) 2100.

H: warmste zomerdag per jaar,

D: aantal natte dagen ($\geq 0,1\text{mm}$).

W: Hoogste daggemiddelde
windsnelheid per jaar in de
winter. De getallen in het grijs
gelden voor 2050.

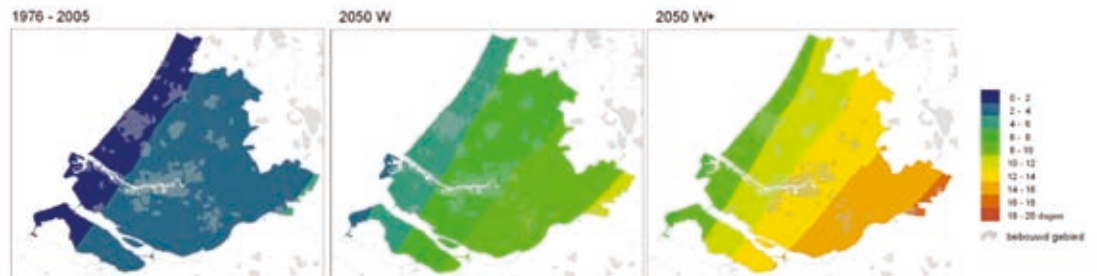
Tabel 7b: Het WB21 midden
scenario geeft geen gegevens
over de warmste zomerdag.



Warmste zomerdag:	2050	2100
Midden WB21	-	-
KNMI-06 Gemiddeld	+ 1 °C	+ 2,1 °C
KNMI-06 Gemiddeld +	+ 1,9 °C	+ 3,8 °C
KNMI-06 Warm	+ 1,7 °C	+ 4,2 °C
KNMI-06 Warm +	+ 3,8 °C	+ 7,6 °C

Figuur 8:

Aantal tropische dagen
per jaar ($T > 30^\circ\text{C}$) in
Zuid Holland (Klimaat-
schetsboek)



Primaire effecten: Neerslag

Figuur 11 geeft een beeld van de verwachte veranderingen in neerslag in de winter voor Zuid Holland. In deze maanden neemt de neerslag duidelijk toe. In de scenario's wordt het huidige patroon gevolgd, met de hoogste neerslagcijfers in het gebied rond Rotterdam. In het zomerhalfjaar is er echter sprake van een volledig ander beeld. In het W-scenario is er sprake van een lichte toename van de zomerneerslag, in het W+scenario is echter sprake van een zeer sterke afname. De neerslag blijft het hoogst in het midden van de provincie, aan de randen is het het droogst.

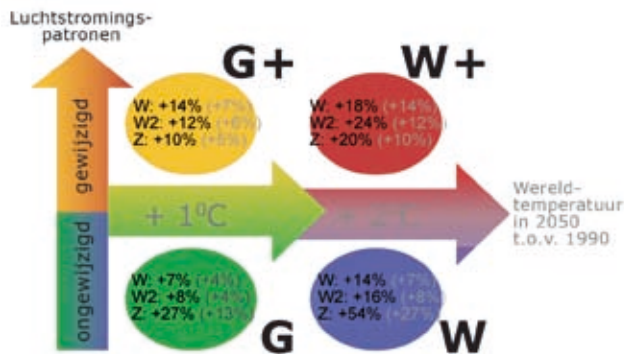
Extreme neerslag

Uit de klimaatscenario's blijkt dat neerslagextremen naar verwachting toenemen. In alle scenario's neemt op dagen met veel regen de neerslaghoe-

veelheid toe door zwaardere buien. In de zomer gaat het dan om piekbuien, in de winter vooral om langdurige perioden met veel neerslag (extreme 10-daagse som). De toename is sterker in het W-scenario dan in het W+-scenario.

Uit KNMI-onderzoek naar aanleiding van de extreem natte augustus in 2006 blijkt dat mogelijk voor de kuststreek de toename in extreme zomerneerslag in de plus-scenario's is onderschat. In 2006 bleek dat door de extreem warme juni/juli de temperatuur van het Noordzeewater zeer sterk was opgelopen. Hierdoor vormden zich toen begin augustus de windrichting draaide van oost naar noordwest vooral aan de kust extreme buien. In de voor de KNMI-scenario's gebruikte RCM's worden dit soort locale effecten niet goed beschreven vanwege de te lage resolutie (50 bij 50 km) van deze modellen. Vanwege de in de zomer dominante oostelijke luchtstroming in de plusscenario's warmt het Noordzeewater duidelijk sterker op dan waar in de KNMI06-scenario's rekening mee is gehouden. Nadere analyse zal moeten uitwijzen hoeveel de waarden voor verandering van extreme neerslag precies moeten worden bijgesteld. Vooralsnog wordt voor de kustregio's de verandering in de G/W scenario's als bovengrens te hanteren (Lenderink en van Meijgaard, 2008).

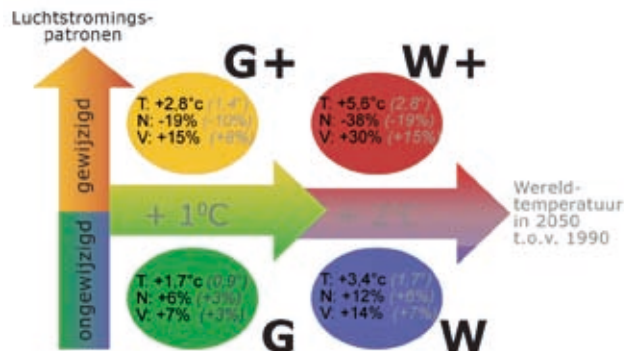
Figuur 9a Wateroverschot:
 2100 in de winter (W): W1: gemiddelde neerslaghoeveelheid; W2: 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden. In de zomer: Z: dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden. De waarden in grijs slaan op 2050.



Tabel 9b Vergelijk met het WB21 middenscenario

Piekneerslag zomer:	2050	2100
Midden WB21	+10%	+20%
KNMI-06 Gematigd	+13%	+27%
KNMI-06 Gematigd +	+5%	+10%
KNMI-06 Warm	+27%	+54%
KNMI-06 Warm +	+10%	+20%

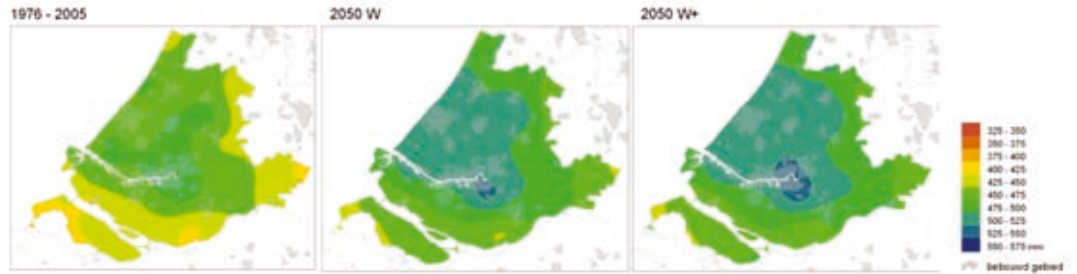
figuur 10a Watertekorten:
 Alle data gelden voor de zomer (juni, juli en augustus). 2100, T: gemiddelde temperatuur, N: gemiddelde neerslaghoeveelheid (tekort), V: potentiële verdamping. De getallen in het grijs gelden voor 2050.



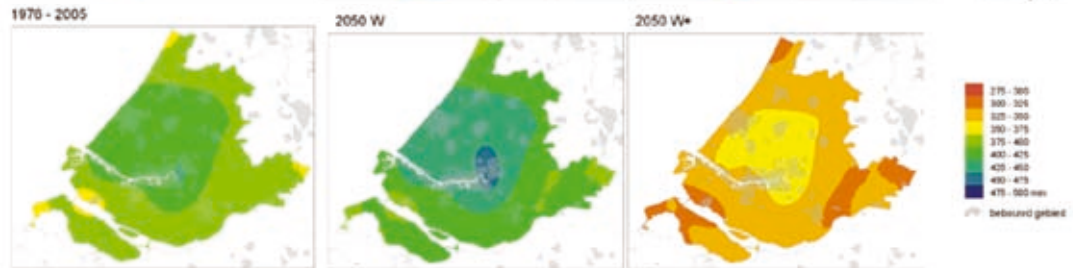
Tabel 10b Vergelijk met het WB21 middenscenario

Neerslagtekort zomer:	2050	2100
Midden WB21	+ 1%	-
KNMI-06 Gematigd	+ 3%	+ 6 %
KNMI-06 Gematigd +	- 10 %	- 19 %
KNMI-06 Warm	+ 6 %	+ 12 %
KNMI-06 Warm +	- 19 %	- 38 %

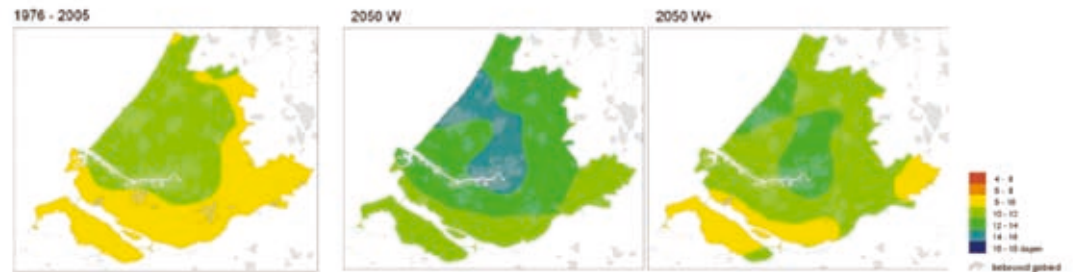
*Figuur 11:
Gemiddelde neerslag
per winterhalfjaar (okto-
ber-maart)*



*Figuur 12:
Gemiddelde neerslag
per zomerhalfjaar (april-
september)*



*Figuur 13:
Aantal dagen met meer
dan 15 mm neerslag(jaar)*



Primaire effecten: Zeespiegel

Zeespiegel

De verwachte zeespiegelstijging is langs de Nederlandse kust overal gelijk. De huidige ramingen kennen een aantal grote onzekerheden. Dit betreft vooral het gedrag van de grote ijs-

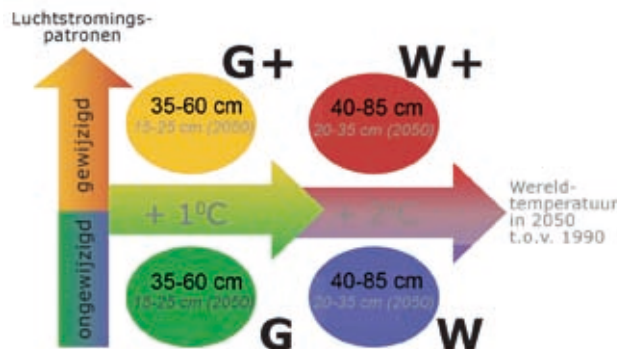
kappen op Groenland en Antarctica. De effecten van ijsdynamica (versnelde afkalving, toename van de snelheid van gletschers) die zich bij deze ijskappen voordoen zijn vooralsnog niet goed in de modellen opgenomen. Het KNMI heeft daarom een grote marge in acht genomen bij het opstellen van de scenario's. In de meest recente ramingen is ook rekening gehouden met zogenaamde gravitatie-effecten. Door het krimpen van de ijskappen verandert de zwaartekracht waardoor het smeltwater zich niet gelijkmatig over de aarde verdeelt. Voor de Zuid-Hollandse kust komt de meest recente KNMI-maximumraming neer op ca. 1 meter in deze eeuw. De onzekerheden zijn echter groot (Katsman, 2008).

Stijging van de zeespiegel heeft gevolgen voor de waterveiligheid, landinwaartse verzilting (externe verzilting) en verzilting van het grondwater (interne verzilting).

Figuur 14

Overstromingen:

De vier KNMI'06 scenario's, met in de ovals de te verwachten absolute zeespiegelstijging voor 2100 (en 2050 in grijs).



Referenties

- Alterra, DHV B.V., KNMI, VU. Klimaateffetschetsboek Zuid-Holland, Provincie Zuid-Holland, Februari 2008
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Te vinden op: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Katsman, C., van Dorland, R., Hazeleger, W., Strengers, B., Kram, T., Ligtvoet, W. en Eickhout, B., 2007, Zeespiegel stijgt, maar niet de pan uit, Opiniestuk KNMI en MNP. Te vinden op: http://www.mnp.nl/nl/publicaties/2007/Zeespiegel_rijst_maar_niet_de_pan_uit.html
- Katsman, C., 2008, Extreme zeespiegelstijging, in Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland. Te vinden op: http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/nieuws/AVV_maart_2008.pdf
- KNMI, 2006, Klimaat in de 21e eeuw - vier scenario's voor Nederland, de Bilt, KNMI. Te vinden op: http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/knmi06/samenvatting/KNMI_NL_LR.pdf
- Lenderink, G. en Van Meijgaard, 2008, Extreme zomerneerslag in Nederland, in Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland. Te vinden op: http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/nieuws/AVV_maart_2008.pdf
- Van den Hurk, B., Klein Tank, A., Lenderink, G., van Ulden, A., van Oldenborgh, G.J., Katsman, C., van den Brink, H., Keller, F., Bessembeinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W., and Drijfhout, S., 2006, KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands, de Bilt, Netherlands, Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI). Te vinden op: <http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/knmi06/achtergrond/WR23mei2006.pdf>
- Van Oldenborgh, G.J. et al., submitted, Western Europe is warming much faster than expected, submitted in Climate Dynamics.

Colofon

Achtergrondstudie Klimaatverandering is een uitgave van Xplorelab, provincie Zuid-Holland, in samenwerking met het Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM) van de Vrije Universiteit Amsterdam.

Tekst en illustraties

Hans de Moel, IVM, VU

Erik de Haan, PZH

Marco van Steekelenburg, PZH, Xplorelab

Met dank aan:

Janette Bessembinder, KNMI

Mathilde Peen, PZH, Xplorelab

Den Haag, 2008

Overzicht publicaties Hotspot Zuidplaspolder;

Achtergrondstudies

1 - Klimaatverandering

2 - Natuur, Droogte en Bodemkansen

3 - Wateroverlast

4 - Waterveiligheid en Evacuatie

5 - Breder perspectief op waterveiligheid

6 - Compartimentering Zuidplaspolder

7 - Maatschappelijke Kosten Baten Analyse

8 - Ideeënbundel klimaatbestendige maatregelen

Voorbeeldprojecten

1 - Zuidplas Noord (Wateroverlast)

2 - Rode Waterparel (Wateroverlast)

3 - Nieuwerkerk Noord (Waterveiligheid en wateroverlast)

4 - Moordrecht (Waterveiligheid)

5 - Gouweknoop (Natuur, droogte en hittestress)

Eindrapport Hotspot Zuidplaspolder

