



Klimaateffetschetsboek Utrecht

Groeiboek met eerste inventarisatie van
mogelijke klimaatveranderingseffecten
en -gevolgen

Alterra
DHV B.V.
KNMI
VU

Provincie Utrecht
augustus 2008

dossier : B1661.01.001
registratienummer :
versie : definitief

Provincie: Utrecht
augustus 2008

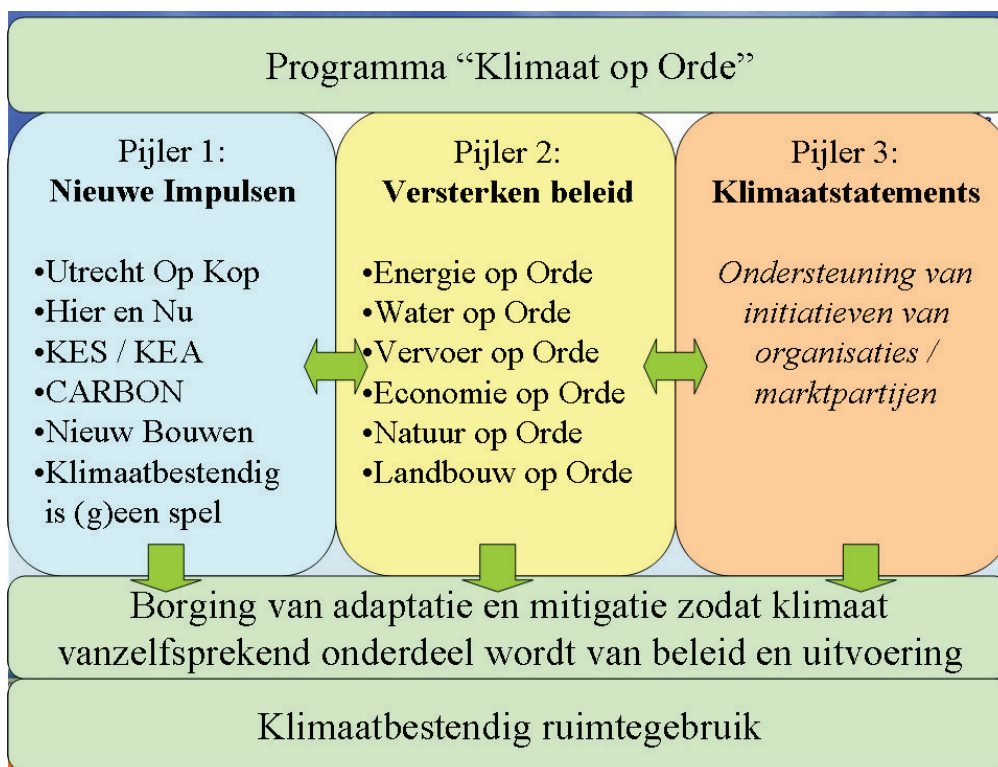
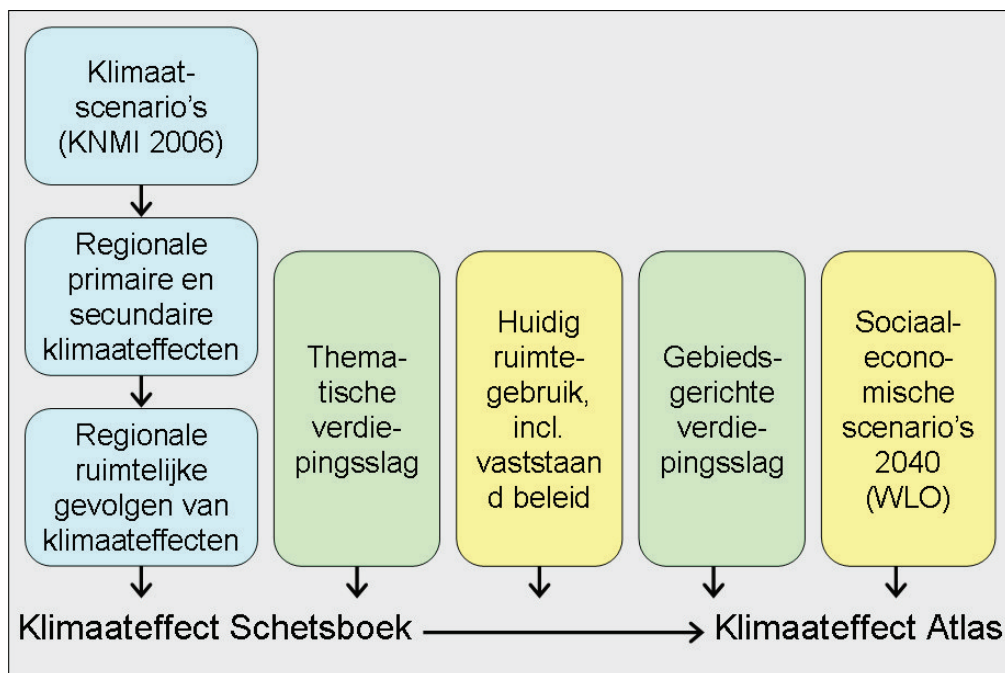
Dit klimaateffetschetsboek is een co-productie van het KNMI, Alterra, Wageningen UR, DHV en de Vrije Universiteit Amsterdam in opdracht van de provincie Utrecht

Het project is mede mogelijk gemaakt door financiering uit het programma Klimaat voor Ruimte (www.klimaatvoorruimte.nl), waar het valt onder projectnummer COM21.

De resultaten van dit project zijn openbaar en door derden te gebruiken, met bronvermelding. In het Klimaateffetschetsboek zijn verschillende kaarten en figuren opgenomen. Sommige van deze kaarten zijn speciaal voor dit schetsboek ontwikkeld. Voor die figuren geldt als bron een verwijzing naar dit schetsboek. Vooral voor de kaarten uit hoofdstuk 2 van dit schetsboek is het belangrijk dat naar de juiste KNMI scenario's wordt verwezen en dat de opmerkingen over de interpolatie van gegevens tussen verschillende meetstations wordt mee genomen. Soms zijn figuren en kaarten in dit schetsboek weer overgenomen van andere onderzoeken. Hiervoor geldt dat de oorspronkelijke bron vermeld moet worden.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	De Provincie Utrecht en het klimaateffectschemaboek	7
1.2	Het klimaat verandert	8
1.2.1	Klimaatverandering en het broeikaseffect	8
1.2.2	Klimaatscenario's	11
1.2.2	Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?	13
1.3	Ruimtelijke beschrijving provincie Utrecht	14
1.4	Fysieke / geografische beschrijving provincie Utrecht	14
2	PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN	17
2.1	Welke informatie geven de kaarten?	17
2.2	Temperatuur	19
2.2.1	Gemiddelde temperaturen	19
2.2.2	Temperatuur extremen	21
2.3	Neerslag	29
2.3.1	Gemiddelde neerslag	29
2.3.2	Extreme neerslag	33
2.4	Neerslagtekort	35
2.5	Zonneschijn	39
2.6	Wind	41
2.7	Zeespiegel	41
3	KLIMAATVERANDERINGSEFFECTEN en -gevolgen	45
3.1	Watersysteem	45
3.1.1	Klimaatverandering; gevolgen voor de rivierafvoer en de zeespiegelstijging	45
3.1.2	Prioritering bij lage rivierafvoer	49
3.1.3	Veranderingen regionale watersystemen	49
3.1.4	Waterkwaliteit	51
3.2	Stedelijk gebied	53
3.2.1	Wateroverlast in stedelijk gebied	53
3.2.2	Watertekort in de stad	53
3.2.3	Hittestress in de stad	55
3.2.4	Luchtkwaliteit	55
3.3	Landelijk gebied	55
3.3.1	Wateroverlast Landelijk gebied	57
3.3.2	Watertekort in het landelijk gebied	57
3.3.3	Toename interne verzilting in het landelijk gebied	57
3.4	Landbouw	58
3.4.1	Vernatting: winter	58
3.4.2	Droogteschade grondgebonden landbouw	59
3.4.3	Ziektes in de landbouw	60
3.5	Natuur	61
3.5.1	Natuur en klimaatverandering	61
3.5.2	Verdroging en verzilting natuurgebieden	63
3.6	Infrastructuur	64
3.6.1	Wateroverlast verkeers-infrastructuur.	64
3.6.2	Temperatuur en infrastructuur	64
3.7	Recreatie:	65
3.8	Lopend onderzoek naar gevolgen van klimaatverandering	65
	REFERENTIES	67
BIJLAGE 1	KNMI'06 klimaatscenario's	69
BIJLAGE 2	Interpretatie van de kaarten	72
BIJLAGE 3	Het stadseffect	74
BIJLAGE 4	Waargenomen veranderingen in Nederland	75
BIJLAGE 5	Primaire effecten: kaarten en additionele informatie	79
BIJLAGE 6	Methodieken klimatologische kaarten	87



1 INLEIDING

Het klimaat verandert, dat is inmiddels wel duidelijk. Dit heeft maatschappelijke en ruimtelijke gevolgen voor Nederland. De precieze impact is nog niet bekend, maar de eerste tekenen geven wel aan dat veranderingen op gaan treden voor neerslagpatronen en temperatuur. Als gevolg kan Nederland te maken krijgen met wateroverlast, watertekorten, zeespiegelstijging en verzilting. Hierdoor kunnen verschillende ruimtelijke functies bedreigd worden, het kan echter ook kansen met zich meebrengen. Deze klimaatverandering is voor de Provincie Utrecht aanleiding een klimaateffetschetsboek op te stellen.

In dit schetsboek zijn de primaire effecten (bijvoorbeeld neerslag, temperatuur) van klimaatverandering in kaart gebracht. Waar mogelijk is dit ook met de secundaire effecten (bijvoorbeeld wateroverschot, watertekort) gebeurd. Kwalitatief is aangegeven wat de gevolgen van deze effecten voor de verschillende functies zijn.

De primaire effecten zijn gebaseerd op de KNMI 2006 scenario's (zie voor toelichting paragraaf 1.2.2). Bij de uitwerking van dit schetsboek is ervoor gekozen de klimaatvariabelen in kaarten te presenteren voor het huidige klimaat en het toekomstige klimaat in 2050 voor de scenario's W en W+. Hiermee wordt de volledige bandbreedte van de klimaatverandering volgens de KNMI'06 scenario's in beeld gebracht (zie paragraaf 1.2.3).

Het schetsboek biedt inzicht in de basisgegevens over klimaatverandering in de komende vier decennia in de provincie Utrecht. Het brengt klimaatinformatie over verschillende beleidsvelden bij elkaar en biedt een uniforme basis voor de integrale afweging van deze velden met betrekking tot de adaptatie aan klimaatverandering. Het schetsboek biedt daarmee ook een feitelijke basis voor de discussie over klimaatbestendig ruimtelijk beleid.

De belangrijkste doelgroep zijn de provinciale beleidsambtenaren. Het schetsboek brengt klimaatinformatie over verschillende beleidsvelden bij elkaar en biedt een uniforme basis voor integrale afweging.

Dit schetsboek is samengesteld door een consortium van het KNMI, Alterra, DHV en de VU. Tekst en informatie over primaire klimaateffecten komen van het KNMI (paragraaf 1.2 en hoofdstuk 2 met bijbehorende bijlagen). Teksten over secundaire klimaateffecten en gevolgen voor verschillende ruimtelijke functies komen van Alterra en DHV (hoofdstuk 3). DHV is verantwoordelijk voor de uiteindelijke redactie van het schetsboek. De provincie Utrecht heeft hiervoor gebiedspecifieke kennis aangeleverd en haar reactie op eerdere versies heeft dit schetsboek verscherpt.

Ook voor een aantal andere provincies wordt een schetsboek opgesteld. Hierdoor is het mogelijk om met de schetsboeken ook een geodatabase te ontwikkelen, zodat er door provincies op basis van consistente, vergelijkbare en gemakkelijk te actualiseren gegevens aan adaptatie kan worden gewerkt.

1.1 De Provincie Utrecht en het klimaateffetschetsboek

Het klimaatschetsboek voor de provincie Utrecht is onderdeel van het concernbrede programma 'klimaat op orde'. Het doel van dit programma is: het klimaatbestendig maken van de Provincie Utrecht door het versterken van het provinciale emissiebeleid (mitigatie) en door een concreet programma van ruimtelijke adaptatiemaatregelen. Het huidige klimaat-/emissiebeleid wordt dus verbreed. Parallel aan de versterkte inspanningen om de emissies van broeikasgassen fors te beperken, wordt ingezet op aanpassing aan de gevolgen van klimaatverandering.

Het programma 'klimaat op orde' is ontstaan vanuit het besef dat klimaatverandering een urgent maatschappelijk vraagstuk is. De provincie Utrecht is medeverantwoordelijk voor het totstandkomen van een klimaatbestendige leefomgeving. Zij kan vooral in samenspel met andere partijen succesvol invulling geven aan deze opgave. De provincie Utrecht zet dan ook in op de volgende vier V's:

- Een **V**oorbeeld zijn (als bedrijf en in het beleid)
- Het **V**erbinden van partijen
- Het **V**ersnellen van ontwikkelingen
- Het **V**ermarkten van klimaatbestendigheid

Het programma 'klimaat op orde' bestaat uit een korte termijn aanpak en een lange termijn aanpak. De korte termijn aanpak bestaat uit concrete projecten en maatregelen voor de huidige collegeperiode, 2008-2011 en is opgebouwd rond drie pijlers:

1. *Nieuwe Impulsen.*

Onder deze pijler vallen projecten die nieuw zijn en die moeten leiden tot een vliegwieleffect aan klimaatgerelateerde activiteiten in de provincie Utrecht.

2. *Versterken van afdelingsinitiatieven*

Verschillende afdelingen binnen de provincie Utrecht ontwikkelen beleid dat direct of indirect raakvlakken heeft met klimaatsverandering. Deze pijler richt zich op het versterken en versnellen van bestaande of voorgenomen afdelingsinitiatieven. Het gaat om afdelingsinitiatieven waar direct kansen liggen om een bijdrage te leveren aan het klimaatbestendig maken van de Provincie en waarbij door kruisbestuiving tussen de projecten extra meerwaarde te halen is.

3. *De Utrechtse klimaatstatements*

Deze pijler is erop gericht om projecten van derden te ondersteunen met een nationale of zelfs internationale voorbeeldwerking. De provincie Utrecht zal actief proberen dergelijke initiatieven van derden op te sporen. Organisaties kunnen zelf ook hun initiatieven aanmelden.

De lange termijn aanpak betreft het structureel inbedden van de ervaringen uit de projecten en maatregelen in het beleid van de provincie Utrecht, zodat in de toekomst al het beleid van de provincie Utrecht duurzaam en toekomstbestendig is. Uitvoering van de korte termijn aanpak binnen het programma klimaat is dus een leerweg naar toekomstig lange termijn beleid.

Het klimaateffetschetsboek is opgenomen onder pijler 1 in de korte termijn aanpak. Het klimaateffetschetsboek beschrijft de te verwachten ruimtelijke/fysieke lange termijn gevolgen van klimaatverandering op de schaal van de provincie Utrecht. Het geeft daarmee inzicht in welke voor de provincie relevante klimaateffecten al wel en welke nog niet naar het niveau van de provincie vertaald kunnen worden. Het geeft ook inzicht waar in de provincie de klimaateffecten de grootste gevolgen hebben en in welke gebieden de grootste kansen liggen. Hierdoor kan het schetsboek de provincie Utrecht ondersteunen bij het bepalen waar ze adaptatiemaatregelen moet nemen (agendasetting) en in welke gebieden hiermee gestart moet worden (prioritering). Het schetsboek vormt met dit inzicht ook input voor andere ruimtelijke projecten binnen het programma 'klimaat op orde', onder andere voor wat betreft de focus van deze projecten.

Het klimaateffetschetsboek heeft ook een rol bij het structureel inbedden van klimaatbestendigheid in het ruimtelijk beleid van de provincie. Er wordt op ingezet dat het mede een bouwsteen gaat vormen voor de toekomstige provinciale structuurvisie.

Het klimaateffetschetsboek heeft een ondersteunende rol bij het op te starten maatschappelijk debat. Het geeft concrete kwesties en gebieden aan waar de klimaateffecten het eerst of het meest gevoeld zullen worden. Het maatschappelijke debat op zijn beurt kan ook weer input leveren voor het vervolg op het klimaateffetschetsboek. In het debat kunnen vragen naar boven komen die nader onderzoek nog maken. Dit nader onderzoek kan opgepakt worden in de verdieping van het klimaateffetschetsboek. De provincie Utrecht wil het maatschappelijke debat samen met de gemeenten in de provincie opstarten, zodat ook de stap van het provinciale niveau naar het regionale en lokale niveau en de vragen die daar leven gemaakt kan worden.

1.2 **Het klimaat verandert**

1.2.1 *Klimaatverandering en het broeikaseffect*

Wat is klimaat?

Het klimaat is het gemiddelde weer in een bepaald gebied over een langere periode. Bij een beschrijving van een klimaat wordt informatie gegeven over o.a. de gemiddelde temperatuur in verschillende seizoenen, de neerslag, uren zonneschijn, etc. Ook een beschrijving van de extremen hoort bij de beschrijving van een klimaat.

Vaak wordt een periode van 30 jaar gebruikt om de gemiddelden en extremen van een klimaat te bepalen (standaard volgens de World Meteorological Organization). Een periode van 30 jaar bevat een groot deel van de natuurlijke variatie tussen jaren (maar niet alles). Het KNMI maakt elke 10 jaar een overzicht van het klimaat op verschillende plaatsen in Nederland. De laatst beschreven periode is die van 1971-2000 (KNMI, 2002).

Klimaatverandering is van alle tijden

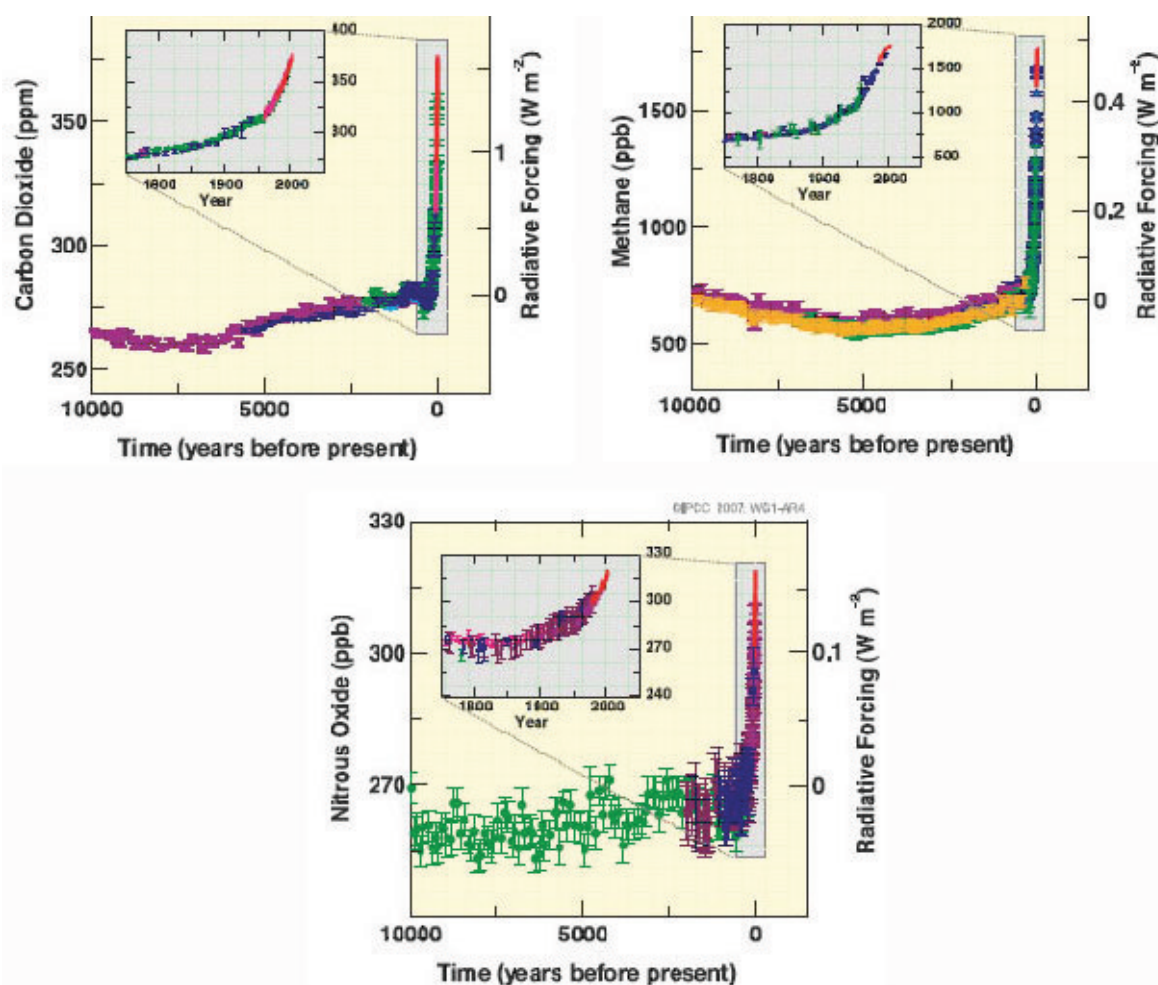
Het klimaat op aarde is dynamisch en is sinds het ontstaan van de aarde continu veranderd. De oorzaken van klimaatverandering kunnen in twee groepen worden ingedeeld:

Natuurlijke oorzaken (bijvoorbeeld verschillen in zonneactiviteit, ijstijden, vulkaanuitbarstingen). Deze zorgen op korte of langere tijdschalen, en op regionale of mondiale schaal voor tijdelijke veranderingen van temperatuur, neerslag, etc. Ze veroorzaken natuurlijke variatie.

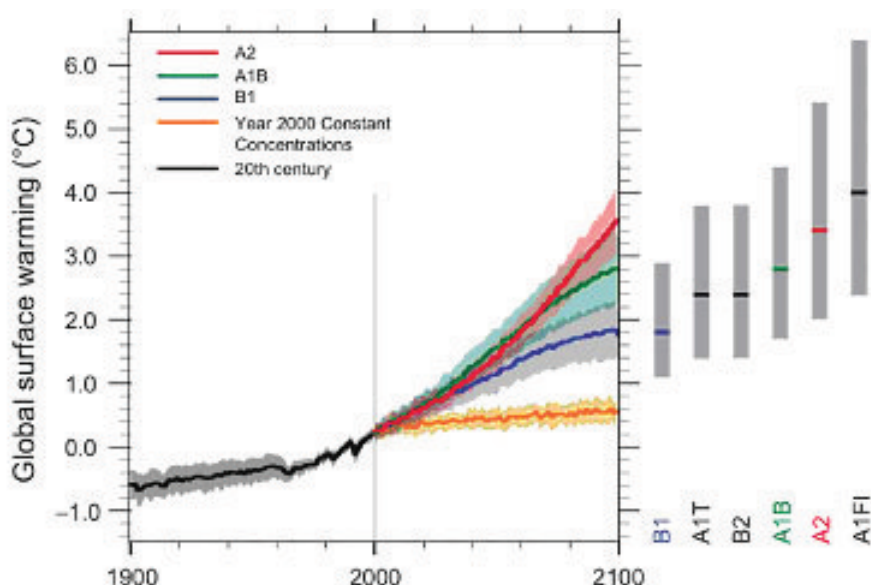
Menselijk handelen (bijvoorbeeld door veranderingen in landgebruik en door de uitstoot van broeikasgassen). Door veranderingen in landgebruik kan het klimaat, meestal op regionale schaal, veranderen. De grootschalige uitstoot van broeikasgassen zorgt voor mondiale klimaatverandering. Sinds het preindustriële tijdperk (ongeveer 1860) is de CO_2 concentratie bijvoorbeeld van 280 ppm (parts per million) toegenomen tot ongeveer 380 ppm nu.

Wat is het broeikaseffect?

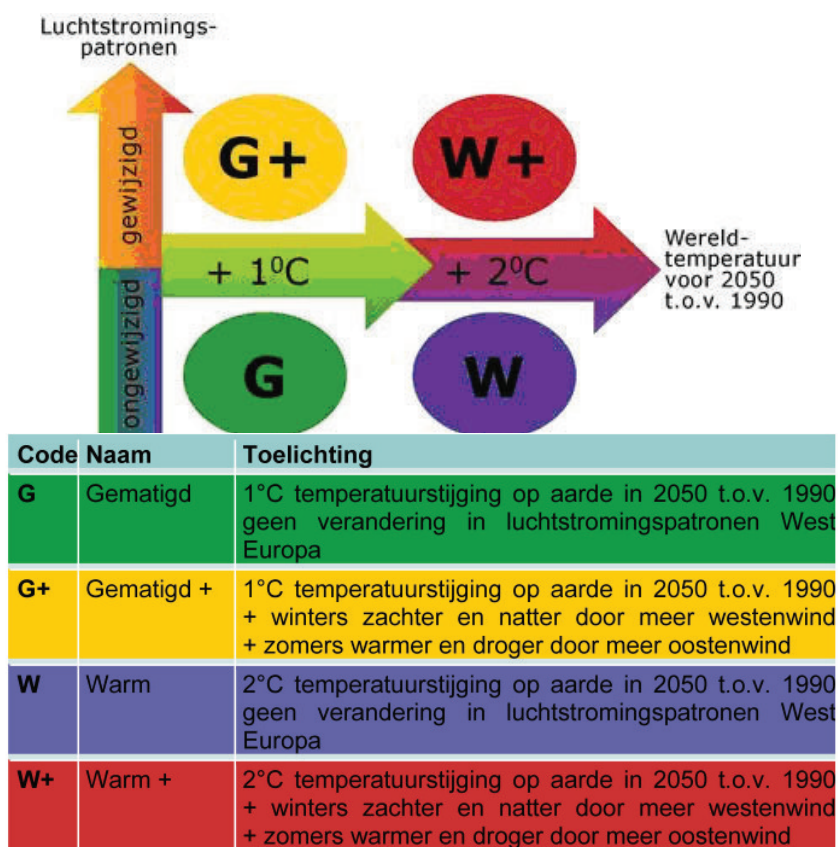
Zonnestraling warmt de aarde op en de aarde straalt weer warmte uit. Hoe sterk de zonnestraling de aarde opwarmt, hangt af van de balans tussen inkomende zonnestraling en uitgestraalde warmte. Deze balans wordt beïnvloed door de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Van nature zitten er verschillende broeikasgassen in onze atmosfeer, o.a. CO_2 en waterdamp. Door de natuurlijke hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer is de aarde ongeveer 33°C warmer dan zonder deze broeikasgassen, gebaseerd op de concentraties rond 1860. Daardoor ligt de gemiddelde temperatuur op aarde rond de 15°C en niet rond de -18°C . Door de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer wordt het natuurlijke broeikaseffect versterkt. Sinds het preindustriële tijdperk (ongeveer 1860) is de concentratie van CO_2 , CH_4 en N_2O door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 1.1; IPCC, 2007).



Figuur 1.1 Verandering van de concentraties CO_2 (linksboven), methaan (CH_4 , rechtsboven), en N_2O (onder) in de afgelopen 10.000 jaar (IPCC, 2007).



Figuur 1.2 De IPCC-klimaatscenario's voor wereldgemiddelde temperatuur (=Global surface warming). De doorgetrokken lijnen geven de gemiddelde stijging van de wereldgemiddelde temperatuur t.o.v. 1980-1999 bij verschillende emissiescenario's. De 'schaduw' achter deze lijnen geeft +/- 1x de standaardafwijking. De grijze banden rechts geven de waarschijnlijke range per emissiescenario op basis van meerdere mondiale klimaatmodellen. De oranje lijn geeft de verwachte stijging van de temperatuur als de broeikasgasconcentraties op het niveau van 2000 waarden worden gehouden (IPCC, 2007).



Figuur 1.3 Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's.

1.2.2 *Klimaatsscenario's*

Wat zijn klimaatsscenario's?

Klimaatsscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze geven aan in welke mate temperatuur, neerslag, wind, etc. kunnen veranderen, bij een bepaalde mondiale klimaatverandering. Klimaatsscenario's zijn geen lange termijn weersverwachtingen: ze doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst.

Mondiale en regionale klimaatsscenario's

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)¹ produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatsscenario's voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's, dat wil zeggen aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze emissiescenario's zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over hoe de wereldbevolking zich ontwikkelt, maar ook de economie, technologie, etc. (sociaal-economische en technologische scenario's).

De mondiale klimaatsscenario's (Figuur 1.2) van het IPCC geven vaak niet voldoende informatie om de effecten van klimaatverandering in een kleiner gebied te bepalen. Het KNMI produceert daarom regionale klimaatsscenario's voor Nederland en omgeving. In 2000 is in het kader van 'WaterBeheer 21ste Eeuw' (WB21) een formele set van klimaatsscenario's voor Nederland gemaakt (Kors et al, 2000; Können, 2001). Aan deze scenario's wordt vaak gerefereerd als de WB21-klimaatsscenario's. In mei 2006 is een nieuwe generatie algemene KNMI-klimaatsscenario's gepubliceerd, de KNMI'06 klimaatsscenario's.

De KNMI'06 klimaatsscenario's

Hoe het klimaat in Nederland verandert is vooral afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de stromingspatronen van de lucht in onze omgeving (West Europa) en de daarmee samenhangende veranderingen in de wind. De indeling van de scenario's² is daarom op deze twee aspecten gebaseerd (Figuur 1.3).

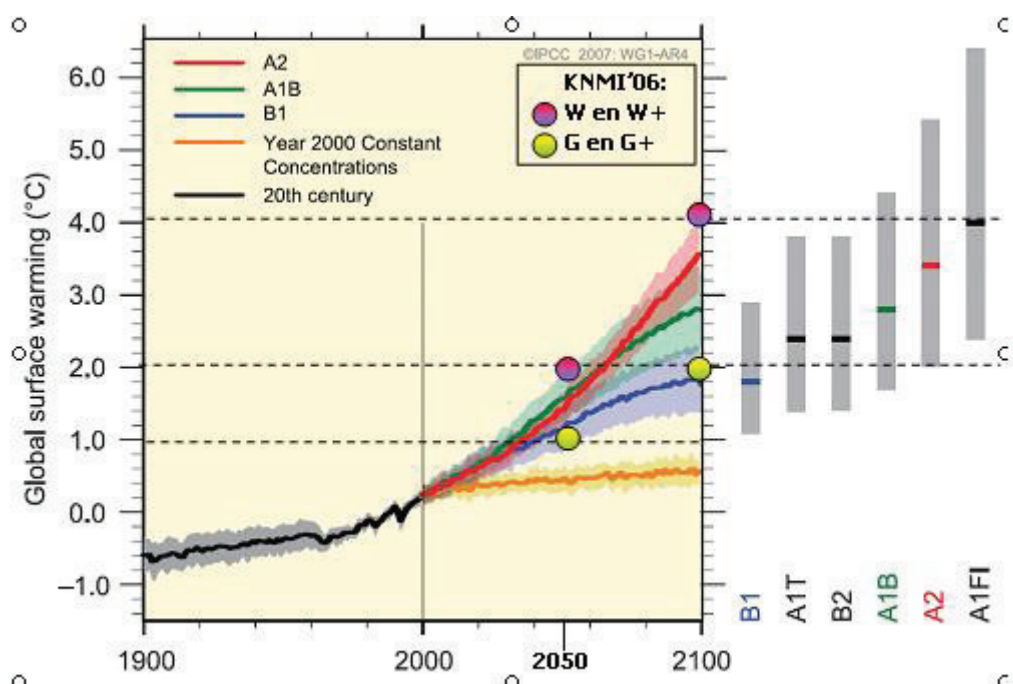
Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatsscenario's zijn:

- Opwarming zet door;
- Winters gemiddeld natter;
- Heviger extreme zomerbuien;
- Veranderingen in het windklimaat klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- Zeespiegel blijft stijgen.

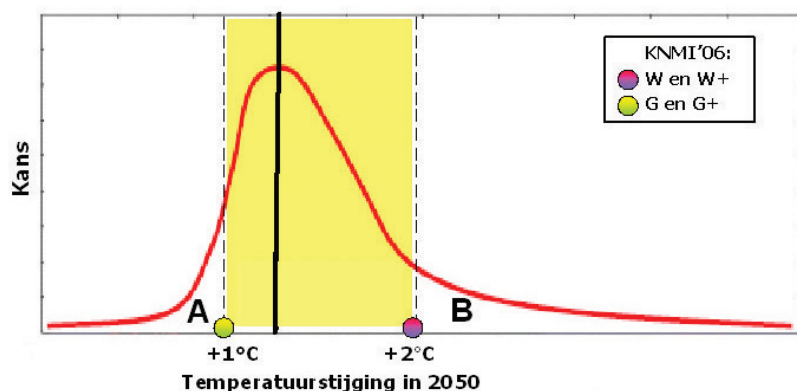
Samen geven deze klimaatsscenario's een groot deel van de range voor het mogelijke toekomstige klimaat in Nederland weer, op basis van onze huidige kennis. Het zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen: op basis van onze huidige kennis verwachten we dat de kans groter is dat ons toekomstige klimaat zich zal ontwikkelen binnen deze vier hoekpunten, dan daarbuiten. De KNMI'06 scenario's geven ongeveer 80% van de range voor mondiale temperatuurstijging opspannen.

¹ Begin 2007 zijn de rapporten van werkgroepen 1 t/m 3 openbaar gemaakt (1: The physical science basis; 2: Impacts, adaptation and vulnerability, 3: Mitigation of climate change), met nieuwe projecties voor het klimaat in de toekomst. In november 2007 is het volledige rapport (Vierde assessment rapport) gepubliceerd (www.ipcc.ch).

² Voor een uitgebreidere beschrijving van deze klimaatsscenario's wordt verwezen naar de brochure 'Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland' (KNMI, 2006) het bijbehorende wetenschappelijke achtergrondrapport (van den Hurk et al, 2006) en de website www.knmi.nl/klimaatscenario's/.



Figuur 1.4 De IPCC-klimaatscenario's voor wereldgemiddelde temperatuur (=Global surface warming) met daarin aangegeven de wereldgemiddelde temperatuurstijgingen die gebruikt worden in de regionale KNMI'06 klimaatscenario's (zie ook figuur 1.2 en figuur 1.3). De mondiale temperatuurstijging in de scenario's W en W+ is 2x de mondiale temperatuurstijging in de scenario's G en G+. De mondiale temperatuurstijging in 2100 in de scenario's G en G+ is gelijk aan de mondiale temperatuurstijging in 2050 in de scenario's W en W+.



Figuur 1.5 Schematische weergave van de kansverdeling voor mondiale temperatuurstijging. De vlakken A en B onder de rode lijn geven respectievelijk de laagste en hoogste 10 % van de kansverdeling weer. De KNMI'06 klimaatscenario's zijn zo gekozen dat ze ongeveer 80% van de range voor mondiale temperatuurstijging opspannen.

1.2.2 Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?

Samenvatting

Doel van dit klimaat effectschetsboek is om een overzicht te geven van de range aan mogelijke klimaatverandering en de effecten daarvan tot 2050 (en eventueel 2100). De mogelijke range aan onzekerheden wordt bepaald door onzekerheden over de sociaal-economische ontwikkelingen en over het klimaatsysteem zelf. De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen: het zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100. De KNMI'06 scenario's dienen daarom als basis voor dit klimaat effectschetsboek.

Welke onzekerheden zijn er?

We weten zeker dat er een broeikaseffect is en dat door menselijk toedoen de concentraties van broeikasgassen zijn toegenomen (IPCC, 2007). We weten echter niet hoe sterk ons klimaatsysteem hierop zal reageren. Vandaar dat de uitkomsten van de modelberekeningen van de toekomstige temperatuurstijging op aarde onderling aanzienlijk verschillen. Dit hangt samen met twee typen onzekerheden:

- Onzekerheid over de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes;
- Onvolledige kennis van de complexe processen in het klimaatsysteem. Zo is de invloed van waterdamp, wolken, sneeuw en ijs op de stralingshuishouding en de temperatuur nog niet goed gekwantificeerd. Sommige processen kunnen nog niet worden gemodelleerd. Bovendien zijn er ook fundamentele grenzen aan de voorspelbaarheid van complexe systemen zoals het klimaatsysteem.

Voor kleinschaliger regio's, zoals West-Europa of Nederland, is de onzekerheid nog groter. Dan speelt de luchtstroming een belangrijke rol. De meeste klimaatmodellen berekenen een verandering in de luchtstromingspatronen boven West-Europa, maar de uitkomsten verschillen sterk in de aard en grootte van die verandering. De KNMI'06 scenario's gaan uit van dezelfde klimaatverandering voor heel Nederland. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Nederland te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen op de kaarten in dit rapport worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. De ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst zijn daarom in principe hetzelfde.

Over sommige klimaatvariabelen kunnen we met meer zekerheid uitspraken doen dan over andere variabelen. Tijdens het gebruik van informatie over klimaatverandering is het zinvol hier rekening mee te houden. Om een indruk te geven, is hieronder aangegeven wat de relatieve zekerheid is van de uitspraken over de verschillende klimaatvariabelen. De relatieve zekerheid is gebaseerd op:

- Consistentie tussen klimaatmodellen (mondiale en regionale);
- Begrip waarom een bepaalde verandering gaat optreden;
- Goede onderscheiding van de verandering en de natuurlijke variatie.

In het algemeen neemt de onzekerheid toe in de volgende rijtjes van links naar rechts:

Temperatuur > Zeespiegel > Neerslag > Wind

Neerslag winter > Neerslag zomer

Gemiddelden > Eens per 10 jaar extremen

Omgaan met onzekerheden

Een manier om met onzekerheden om te gaan, is gebruik maken van scenario's. De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen (zie figuren 1.4 en 1.5). Onzekerheden als gevolg van sociaal-economische en technologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door bij het ontwikkelen van de scenario's verschillende emissiescenario's (A1, A2, B1, B2 in figuur 1.4) mee te nemen. De onzekerheden met betrekking tot het klimaatsysteem zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van een zo groot mogelijk aantal mondiale en regionale klimaatmodellen (de grijze balken aan de rechterkant in figuur 1.4). De KNMI'06 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk. Met de huidige kennis is echter niet aan te geven welk scenario het meest waarschijnlijk is.

Om een goed beeld van de mogelijke veranderingen en effecten in de toekomst te krijgen is het verstandig om alle vier de KNMI'06 scenario's te gebruiken en deze te vergelijken met de huidige situatie. In dit rapport zullen uit praktische overwegingen telkens kaarten worden gepresenteerd voor de huidige situatie en voor de scenario's W en W+. In tabellen/bijlagen worden wel gegevens voor G en G+ gepresenteerd.

De mondiale temperatuurstijging in de scenario's W en W+ is 2x de mondiale temperatuurstijging in de scenario's G en G+. De mondiale temperatuurstijging in 2100 in de scenario's G en G+ is gelijk aan de mondiale temperatuurstijging in 2050 in de scenario's W en W+ (dit geldt ook voor de andere klimaatvariabelen, behalve voor zeespiegelstijging). De scenario's W en W+ geven de bovengrens aan voor wat we in de toekomst verwachten, de scenario's G en G+ geven de ondergrens.

De W en W+ scenario's geven dus de bovengrens van de klimaatverandering in de KNMI'06 scenario's. Het is vooral de 'bovengrens' van de snelheid waarmee het klimaat verandert: immers de temperatuurstijging in het W en W+ scenario voor 2050 is de temperatuurstijging in het G en G+ scenario. Dit betekent dat beleid dat gericht is op het W en W+ scenario zich in snelheid zal onderscheiden van beleid gericht op het G en G+ scenario. Met andere woorden, als het adaptatie beleid is gebaseerd op de W en W+ scenario, en de klimaatverandering gaat minder snel dan geeft dit meer tijd voor het uitvoeren van het beleid. De noodzaak van aanpassing wordt echter niet minder belangrijk.

1.3 Ruimtelijke beschrijving provincie Utrecht

De grote variatie in woon- en werkmilieus, de diversiteit en kwaliteit van de verschillende landschapstypen en de centrale ligging vormen de kernkwaliteiten van de provincie Utrecht. Deze kernkwaliteiten liggen op korte afstand van elkaar, waardoor de provincie ook een gevoel geeft van menselijke maat. De kwaliteiten zorgen ervoor dat de provincie Utrecht in trek is als vestigingsplaats voor wonen en werken.

De provincie Utrecht kent een grote afwisseling. De stedelijke structuur van de provincie Utrecht is gevarieerd: grootstedelijke milieus in Utrecht en Amersfoort met bijbehorende voorzieningen, historisch waardevolle steden en prachtige dorpen. In het buitengebied is de afwisseling, door diversiteit in bodemgesteldheid, zo mogelijk nog groter: uitgestrekte veenweidegebieden, plassen, bossen op de Heuvelrug, het halfopen landschap van de Gelderse Vallei en het Kromme Rijngebied en het rivierenlandschap. Hierin verweven ligt een netwerk van steden en kernen. Bovendien ligt de provincie Utrecht zeer centraal en vormt een nationaal kruispunt van autowegen en openbaar vervoer.

De provincie Utrecht kent ook een grote cultuurhistorische variatie. Dit is mede het gevolg van diversiteit in bodemgesteldheid, in combinatie met een lange bewoningsgeschiedenis. De verschillende landschapstypen zijn daarvan het resultaat. De Cultuurhistorische Hoofdstructuur bestaat uit samenhangende, historisch waardevolle structuren van bovenlokaal belang, zoals een deel van de hiervoor genoemde landschappen, maar ook Nationale Landschappen als Nieuwe Hollandse Waterlinie en Stelling van Amsterdam.

Er zijn actuele en potentiële bedreigingen van de kernkwaliteiten. Zo neemt hier en daar de diversiteit in landschappen en het contrast tussen stad en land af. De groei van de mobiliteit zorgt voor vertragingen bij openbaar vervoer en in het autoverkeer. Vanwege de aantrekkelijkheid van de provincie is de woningmarkt gespannen en kan niet iedereen de woning of woonomgeving van zijn voorkeur vinden. Achteruitgang van het leefmilieu is vooral voelbaar in sterk verstedelijkte gebieden. Groot is ook de druk op de ruimte voor werken. Bij dit alles komt ook nog de klimaatverandering. Deze kan de bedreigingen versterken, maar wellicht kan het omgaan met de klimaatverandering ook oplossingen bieden.

1.4 Fysieke / geografische beschrijving provincie Utrecht

De bodem van de provincie Utrecht bestaat uit zand-, klei- en veengebieden. De aard van deze gebieden is in het verre verleden bepaald door een combinatie van landijs, rivieren, wind en zee, klimaat en vegetatie. Ook zijn destijds hoogteverschillen ontstaan. De hoedanigheid van de bodem, de aanwezigheid van water en reliëf en de vegetatie bepalen in belangrijke mate hoe het landschap eruit ziet. De grote landschappelijke diversiteit in onze provincie is vaak terug te voeren op de diversiteit in de bodem. Ook natuur reageert op een uitgesproken manier op de hoedanigheid van de bodem. Zo vinden we bos en heide op de zandige Utrechtse Heuvelrug, veenmoerassen in het Noorderpark en waardevolle slootvegetaties in gebieden waar grondwater naar boven borrelt.

De provincie Utrecht is op basis van de natuurlijke wijze van ontstaan in te delen in zes gebieden. Deze zes gebieden hebben elk een eigen, typerende verschijningsvorm. Elk gebied heeft karakteristieke kenmerken

die in verband staan met de ontstaanswijze.

- Stuwwalgebied, beter bekend als de Utrechtse Heuvelrug.
- Dekzandgebied van ondermeer de Gelderse Vallei en een deel van het Kromme Rijngebied. Deze gebieden grenzen aan het stuwwalgebied. De afwisseling van dekzandruggen en lager gelegen gebieden typeert het dekzandgebied.
- Rivierkleigebied in met name het Kromme Rijngebied en het zuidwesten van de provincie.
- Veengebied in het (noord)westen van de provincie en in het gewest Eemland. Ook in het dekzandgebied is op uitgebreide schaal veen ontstaan, maar dit is in de meeste gevallen weer afgegraven.
- Zeekleigebied, onder andere in het westelijke veengebied waar de zeeklei zichtbaar is geworden door veenwinning en het later droogmalen van polders. Kenmerkend voor het zeekleigebied van de Ronde Venen is het ingewikkelde stelsel van getijdekreken, zeeklei en veenrestanten. Ook rond de rivier de Eem en bij Abcoude is zeeklei te vinden.
- Stuifzandgebied wat zich concentreert rond het stuwwal- en dekzandgebied. Het dekzand is hier opnieuw gaan stuiven door het grotendeels ontbreken van vegetatie (door overbegrazing).

Tabel 2.1 Schematisch overzicht van de trends in klimaatvariabelen, behandeld in dit hoofdstuk

Klimaatvariabele		Trend tot 2050/2100	Kaarten/ Grafieken	Toelichting
Temperatuur: par. 2.3				
Gemiddelde temperatuur	jaar			geringste toename in G, grootste toename in W+
	winter			
Gem. max. temperatuur	lente			
Gem. min. temperatuur	zomer			
	herfst			
aantal ijsdagen			figuur 2.1 figuur 2.2	geringste afname in G, grootste afname in W+
aantal vorstdagen				
aantal warme dagen			figuur 2.3 figuur 2.4 figuur 2.5..	geringste toename in G, grootste toename in W+
aantal zomerse dagen				
aantal tropische dagen				
Neerslag: par. 2.4				
Gemiddelde neerslag	jaar	 	figuur 2.6	grootste toename in W, grootste afname in W+
	winter- halfjaar		figuur 2.7	geringste toename in G, grootste toename in W+
	zomer- halfjaar	 	figuur 2.8	grootste toename in W, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 1 mm			figuur 2.9	geringste afname in G, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 15 mm			figuur 2.10	geringe toename in G+ en W+, grootste toename in W
Neerslagtekort: par. 2.5				
Neerslagtekort	zomer- halfjaar		figuur 2.12	Nauwelijks verandering in gemiddelde en extremen in G en W Duidelijke toename in G+ en W+
Zonneschijn/Straling: par. 2.6				
Gemiddelde straling		 		Nauwelijks verandering in G en W Toename in zomer in G+ en W+
Wind: par. 2.7				
maximale daggemiddelde wind die eens per jaar voorkomt		 		In alle scenario's geringe verandering ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie
Zeespiegel: par. 2.8				
Zeespiegelstijging				geringste toename in G/G+, grootste toename in W/W+

2 PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN

Tabel 2.1 geeft een schematisch overzicht van de trends in alle klimaatvariabelen die in dit hoofdstuk worden behandeld: temperatuur, neerslag, neerslagtekort, zonneschijn, wind en zeespiegelstijging.

De tabel geeft ook aan waarvoor kaarten beschikbaar zijn. Over de andere klimaatvariabelen wordt wel ruimtelijke informatie gegeven, maar deze is niet in kaarten weer te geven, bijvoorbeeld omdat er te weinig gegevens zijn voor een goede kaart.

2.1 Welke informatie geven de kaarten?

Ruimtelijke patronen met betrekking tot klimaat worden in ons land voornamelijk bepaald door de afstand tot de zee ('land-zee overgang'), een noord-zuidgradiënt samenhangend met de zonshoogte, hoogteverschillen en verschillen in landschappelijke gesteldheid, waaronder het verschil tussen stad en platteland (bijvoorbeeld het 'urban heat island effect', het verschijnsel dat het in stedelijk gebied vaak warmer is dan op het omringende platteland, bijlage 3).

In dit hoofdstuk worden verschillende kaarten gepresenteerd met ruimtelijke patronen voor klimaatvariabelen. Door klimaatgegevens op kaarten te zetten kan de indruk gewekt worden van een grote geografische nauwkeurigheid. Dit is niet het geval voor het huidige klimaat en ook niet voor de kaarten voor de toekomst. De contourlijnen zijn geen exacte scheidingen.

Verder is het belangrijk om te beseffen dat er geen één op één relatie is tussen klimaateffecten, in termen van neerslag en temperatuur, en gevolgen in termen van wateroverlast of droogte. Soms kan een kleine hoeveelheid (extra) neerslag al voor overlast zorgen, terwijl op een andere plek een grote hoeveelheid neerslag geen problemen veroorzaakt.

Meer in detail is het belangrijk dat er bij het interpreteren en gebruik van de klimaatkaarten in het rapport rekening gehouden wordt met de volgende aspecten (zie bijlage 4):

- Het kaartmateriaal in dit klimaateffectschetsboek is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis;
- Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's;
- Voor temperatuur kunnen alleen grootschalige patronen worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KNMI-stations;
- Kleinschalige ruimtelijke verschillen in neerslag kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden;
- Contourlijnen moeten niet als exacte, stringente scheidingen tussen klassen worden geïnterpreteerd;
- De KNMI'06 scenario's onderscheiden geen regionale verschillen in klimaatverandering. De ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst zijn daarom in principe hetzelfde;
- De ruimtelijke verschillen geven niet aan waar de gevolgen van klimaatverandering het grootst zijn.

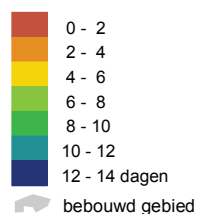
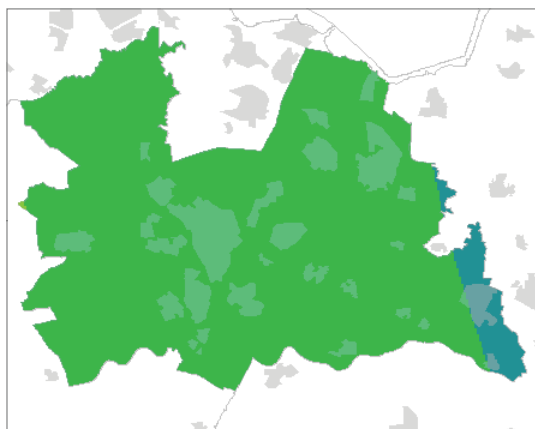
Het bovenstaande betekent dat:

- de kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- de kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen wat de effecten van klimaatverandering zijn en waar de grootste effecten optreden (bijvoorbeeld een 'overlay' van een wegenkaart met een kaart met het aantal dagen met hevige neerslag, geeft niet aan waar de meeste problemen met wateroverlast op de weg voorkomen). Er is meestal een extra vertaalslag nodig (zie hoofdstuk 3).

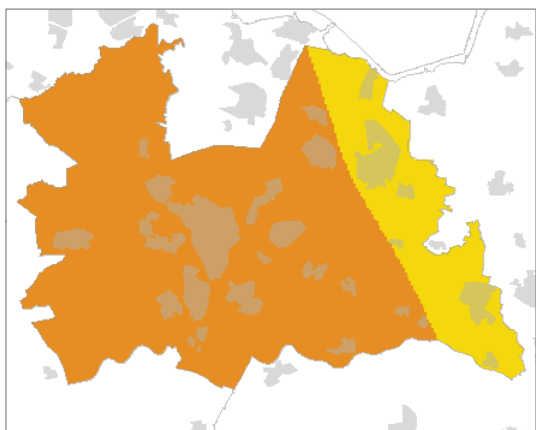
De op de kaarten getoonde bebouwing is toegevoegd om een indicatie te geven van de grotere bebouwde gebieden. De getoonde bebouwing is overgenomen van Top10smart_2006. Deze is niet volledig.

Aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C)

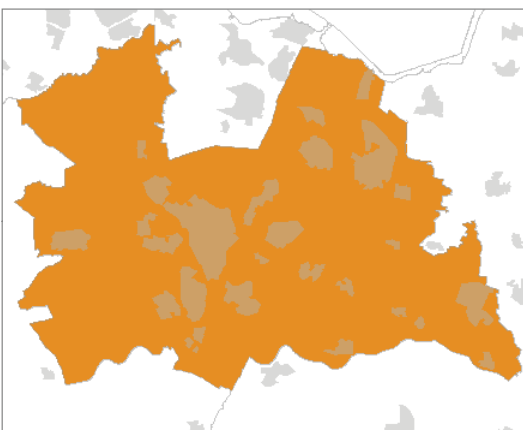
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.1 Kaarten met het gemiddeld aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

2.2 Temperatuur

Klimaatverandering betekent voor temperatuur het volgende:

- De opwarming zet door in alle vier de KNMI'06 scenario's;
- De temperatuurstijging in 2100 is in de KNMI'06 scenario's tweemaal zo groot als in 2050;
- Temperatuurextremen kunnen sneller stijgen dan de gemiddelde temperatuur, dit gebeurt vooral in de scenario's G+ en W+;
- Toename van het aantal warme, zomerse en tropische dagen;
- Afname van het aantal ijsdagen en vorstdagen.

2.2.1 Gemiddelde temperaturen

Toekomstige trends

De vier KNMI'06 scenario's laten een opwarming rond 2050 zien variërend van 0,9°C tot 2,3°C in de winter (december, januari en februari) en van 0,9°C tot 2,8°C in de zomer (juni, juli en augustus) ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde over de periode 1976 tot 2005). Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur is in alle scenario's voornamelijk gelijk gehouden aan de huidige situatie (zie Bijlage 4). Voor het klimaat rond 2100 zijn de temperatuurstijgingen tweemaal zo groot als voor 2050 en voor 2020 zijn de veranderingen tweemaal zo klein als voor 2050. Door natuurlijke schommelingen zal de temperatuurstijging niet in elk decennium even sterk zijn en is het goed mogelijk dat er in de toekomst tijdelijk een periode van relatief koel weer is (KNMI, 2006). In de winter treden in de '+' scenario's (G+ en W+) frequenter westenwinden op en in de zomer treden in deze scenario's frequenter oostenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuuropname zorgt dit voor een relatief sterkere toename van de gemiddelde en extreme maximum- en minimumtemperaturen in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

Ruimtelijke patronen

Ruimtelijke patronen voor wat betreft de temperatuur worden in ons land voornamelijk bepaald door de afstand tot de zee ('land-zee overgang'), een noord-zuidgradiënt samenhangend met de zonshoogte, hoogteverschillen en verschillen in landschappelijke gesteldheid, waaronder het verschil tussen stad en platteland (bijvoorbeeld het urban heat island effect', het verschijnsel dat het in stedelijk gebied vaak warmer is dan op het omringende platteland, bijlage 3). De provincie Utrecht ligt op de overgang tussen de kustgebieden en het binnenland.

In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur in de zomer aan de kust lager dan meer landinwaarts. In de winter is het omgekeerde het geval. Ditzelfde patroon zal in de toekomst blijven bestaan. Een verandering in luchtstromingspatronen zal hierin ook niet of nauwelijks verandering brengen. In de KNMI'06 klimaatscenario's is de temperatuurstijging in Nederland niet gelijk aan de wereldgemiddelde temperatuurstijging. Van belang hierbij is de ligging van ons land aan de rand van een groot continent dat sterker opwarmt, maar ook dicht bij het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan, waarvoor de meeste klimaatmodellen een veel minder sterke temperatuurstijging berekenen.

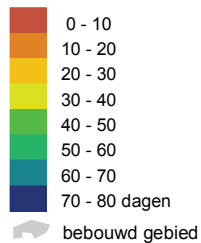
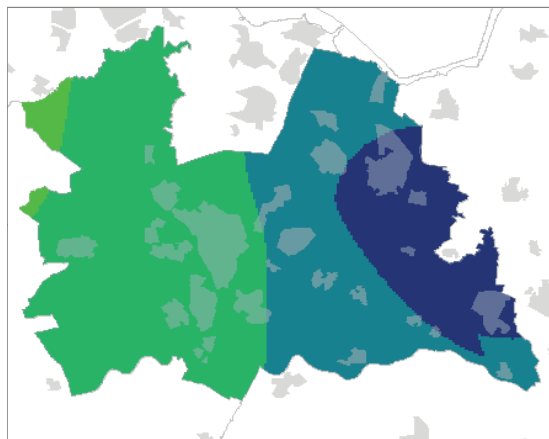
Extreme hitte

De klimaatscenario's geven aan dat zowel de gemiddelde zomertemperatuur als de warmste zomerdag per jaar warmer worden. Voor de G en W scenario's zijn deze veranderingen ongeveer even groot als de wereldwijde temperatuurstijging. Maar met name in de G+ en W+ scenario's zal de warmste zomerdag een stuk meer opwarmen dan het wereldwijde gemiddelde.

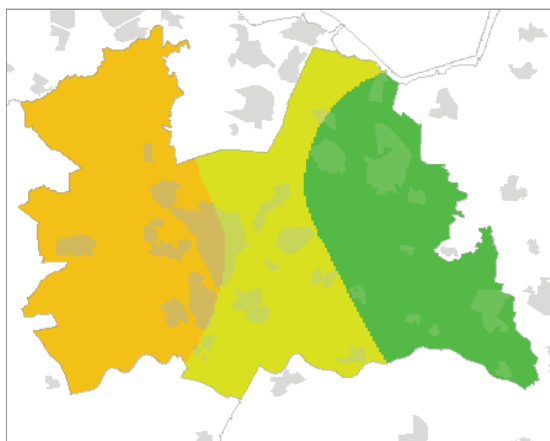
Ondanks dat augustus 2006 te koel was, is de gemiddelde zomertemperatuur (juni-augustus) in 2006 uitgekomen op 18,5 °C. Dit is 2,9 °C warmer dan normaal over de periode 1971-2000. Onder de KNMI'06 scenario's stijgt de gemiddelde zomertemperatuur met 0,9 (G) tot 2,8 °C (W+) rond 2050. Een gemiddelde zomertemperatuur zoals in 2006 zal dus onder het W+ scenario rond 2050 een vrijwel gemiddelde zomertemperatuur worden.

Aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C)

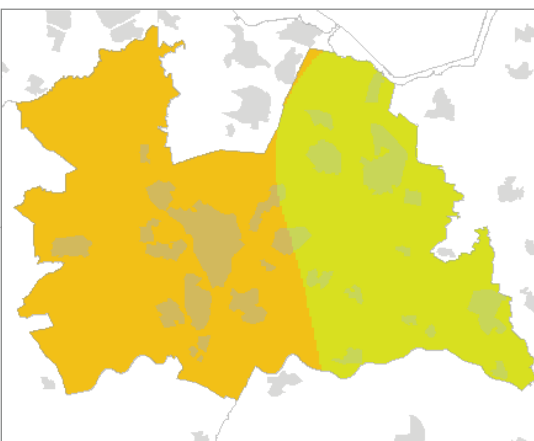
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.2 Kaarten met het gemiddeld aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

2.2.2 *Temperatuur extremen*

Toekomstige trends

De vier KNMI'06 scenario's geven een sterkere stijging van de temperatuurextremen dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0°C tot 2,9°C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0°C tot 3,8°C ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Vooral in de scenario's G+ en W+ stijgen de extremere temperaturen sterker. In de winter treden in de '+' scenario's (G+ en W+) frequenter westenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuurtoename zorgt dit voor een relatief sterkere afname van het aantal vorstdagen (minimumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$) en ijsdagen (maximumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W). In de zomer treden in de '+' scenario's (G+ en W+) juist frequenter oostenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuurtoename zorgt dit voor een relatief sterkere toename van het aantal tropische dagen (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$), zomerse dagen (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) en warme dagen (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

Winterkou

De KNMI'06 scenario's geven aan dat zowel de gemiddelde wintertemperatuur als de extreme lage wintertemperaturen gaan stijgen. De G+ en W+ scenario's geven zelfs een sterkere stijging van de extreem lage wintertemperaturen. Dit vinden we terug in een afname van het aantal ijsdagen (aantal dagen waarop het de hele dag vriest). In de huidige situatie heeft station De Bilt per jaar gemiddeld 9 ijsdagen. Voor 2050 varieert dit aantal van 6 (G) tot 2 dagen (W+).

De kans op een winterse periode die koud genoeg is dat er geschaatst kan worden gaat eveneens afnemen. Een gangbare vuistregel is dat er geschaatst kan worden als het ijs minimaal 7 cm dik is. Een indicatie hiervoor kan gegeven worden met behulp van de volgende definitie voor schaatsdag:

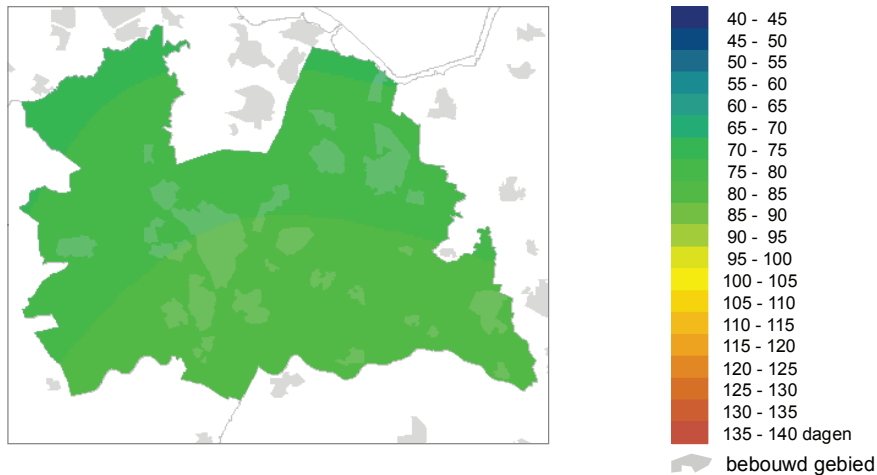
Zolang de daggemiddelde temperaturen lager dan 0°C zijn, en de som van de negatieve daggemiddelde temperaturen groter dan 16 is, kan er geschaatst worden. De dag waarop 16 overschreden wordt, telt als (eerste) schaatsdag. Zodra de daggemiddelde temperatuur boven nul komt, wordt de som van de daggemiddelde temperaturen op nul gezet.

Volgens deze definitie hadden we in de periode 1976-2005 rond De Bilt gemiddeld 8 dagen per jaar waarop geschaatst kon worden. Rond 2020 zal dit gemiddeld nog ongeveer 4 (W+) tot 6 (G) zijn.

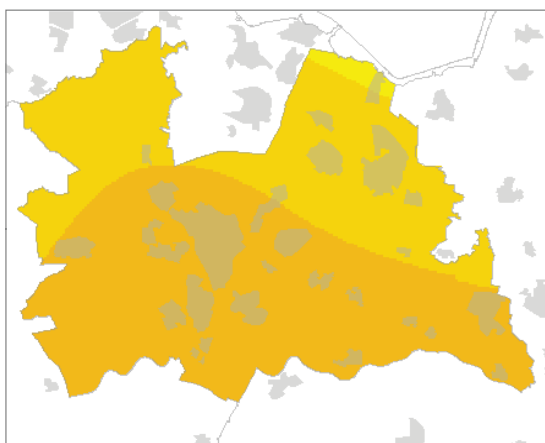
Waren er in de 20e eeuw nog 15 elfstedentochten, een eenvoudige schatting voor de 21e eeuw levert 4 (W+) tot 10 (G) elfstedentochten op [Bron: http://www.knmi.nl/kenniscentrum/hoeveel_elfstedentochten.html].

Aantal warme dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$)

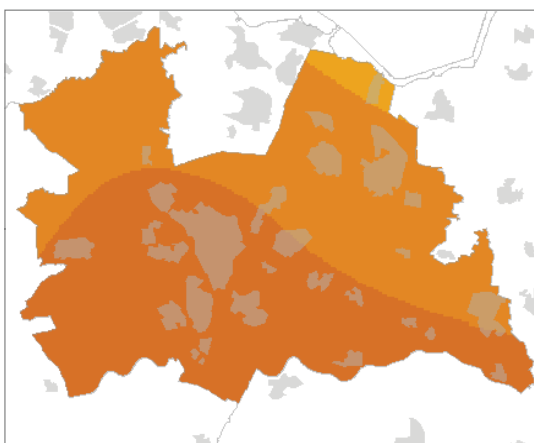
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.3 Kaarten met het gemiddeld aantal warme dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is het aantal vorstdagen (figuur 2.2) en ijsdagen (figuur 2.1) aan de kust kleiner dan meer in het binnenland, waarbij de provincie Utrecht op deze overgang ligt. Hetzelfde geldt voor het aantal warme dagen (figuur 2.3), zomerse dagen (figuur 2.4) en tropische dagen (figuur 2.5). Als gevolg van de overheersende zuid-westenwind in Nederland is de temperatuur langs de kust in de winter wat hoger dan meer landinwaarts, en in de zomer wat lager dan landinwaarts. Als gevolg hiervan is het aantal warme, zomerse en tropische dagen langs de kust lager dan landinwaarts, en het aantal vorstdagen is daardoor langs de kust lager dan meer landinwaarts. Ijsdagen, waarbij het de hele dag vriest, treden vooral op bij noorden-tot oostenwinden, waardoor het land-zee-effect minder duidelijk is. Deze ruimtelijke patronen zullen in de toekomst blijven bestaan.

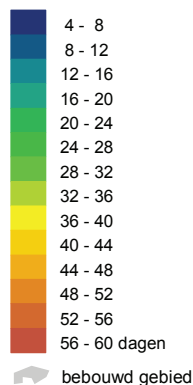
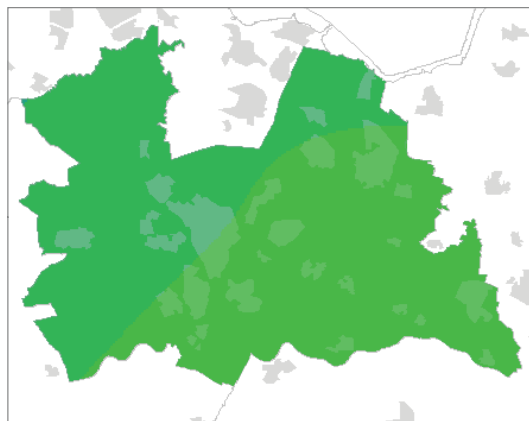
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- U kunt vaker zonder jas naar buiten (het aantal zomerse dagen, met een maximum temperatuur van $\geq 25^\circ\text{C}$ stijgt);
- U zult vaker last hebben van hittestress (het aantal tropische dagen met een maximum temperatuur van $\geq 30^\circ\text{C}$ stijgt);
- U moet het gras van uw gazon vaker maaien (door de hogere temperatuur begint het gras in het voorjaar weer eerder te groeien, en groeit het in het najaar langer door)
- Uw kosten voor verwarming in huis gaan omlaag, behoefte aan koeling gaat omhoog;
- De kans op Elfstedentochten neemt af (het aantal ijsdagen, waarop het de hele dag vriest, neemt af)
- Toename warmteminnende soorten (flora en fauna/natuur).

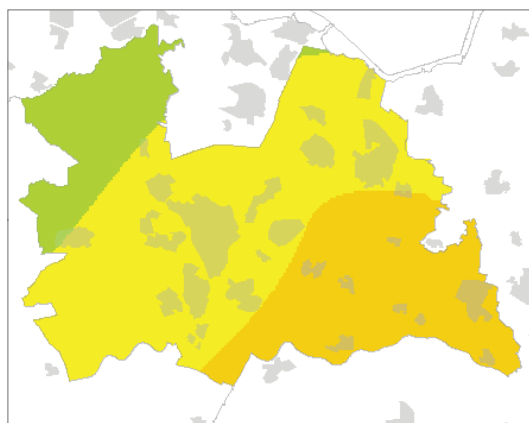
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$)

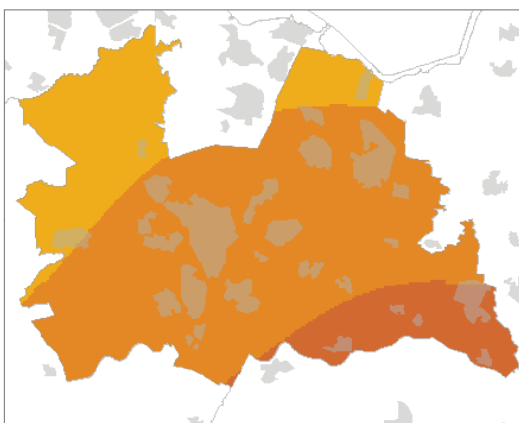
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.4 Kaarten met het gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de zomer van 2003 normaal rond 2050?

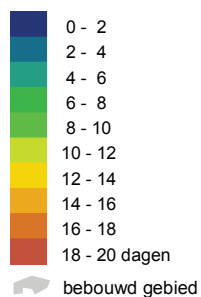
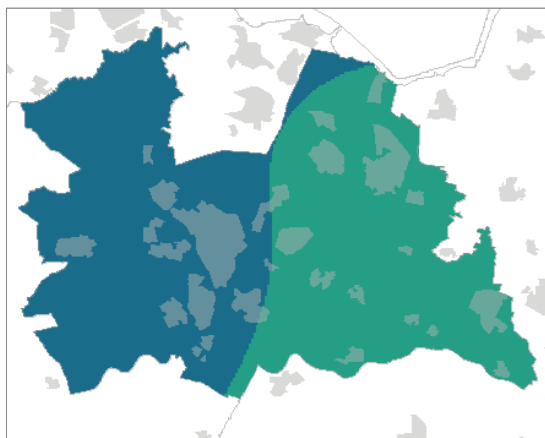
Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Gemiddeld over de periode 1976-2005 is de temperatuur in de zomermaanden juni t/m augustus in De Bilt 16,8 °C (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 15,3 en 18,6 °C). In 2003 was de gemiddelde temperatuur in De Bilt 18,7 °C, ongeveer 2 °C hoger dan normaal. Rond 2050 verwachten we dat in de W en W+ scenario's de zomertemperatuur 1,7 tot 2,8 °C hoger ligt. Met andere woorden de zomer van 2003 zou rond 2050 vrij normaal kunnen zijn. De zomer van 2006 was gemiddeld bijna even warm met een temperatuur van 18,5 °C in De Bilt. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.



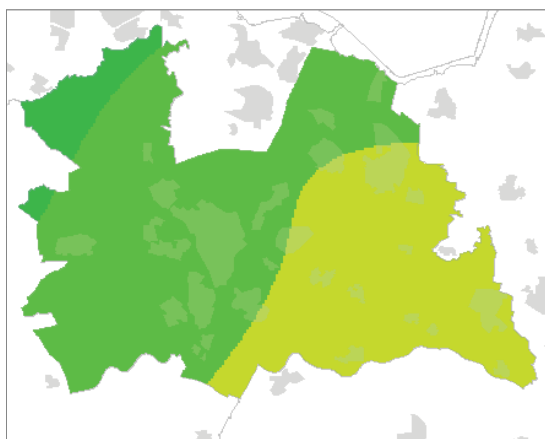
Veel dagen met strandweer in de zomer van 2003 en in de maanden juni en juli in 2006

Aantal tropische dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$)

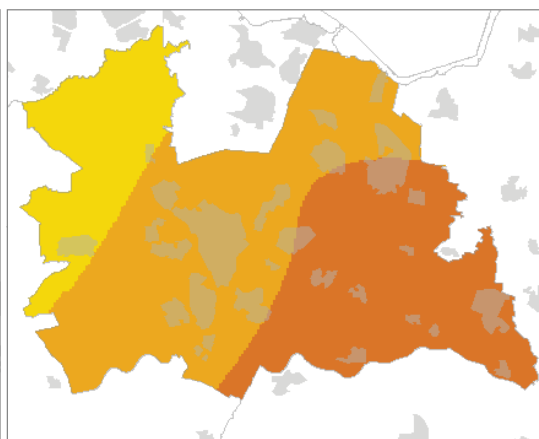
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.5 Kaarten met het gemiddeld aantal tropische dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/ kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de herfst/winter van 2006/2007 normaal rond 2050?

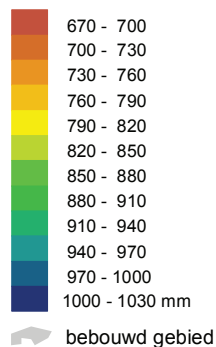
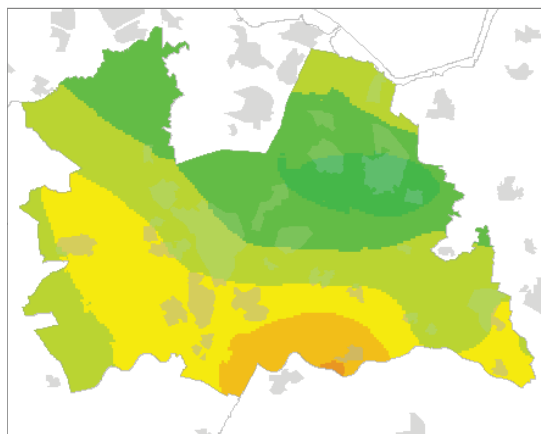
De herfst van 2006 en de winter van 2006/2007 waren erg warm. Waarschijnlijk herinnert u zich nog wel dat de bomen lang groen bleven en dat u nog tot laat in het najaar zonder jas op een terras kon zitten. In De Bilt was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 13,6 °C, tegen 10,5 °C normaal over de periode 1976-2005 (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 8,3 en 11,9 °C), en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 6,6 °C, tegen 3,2 °C normaal over de periode 1976-2005 (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de -0,6 en 5,9 °C). Dit verschil is meer dan we in het hoogste KNMI'06 scenario (W+) voor 2050 verwachten. Rond 2050 zou de herfst/winter van 2006/2007 nog steeds aan de warme kant zijn.



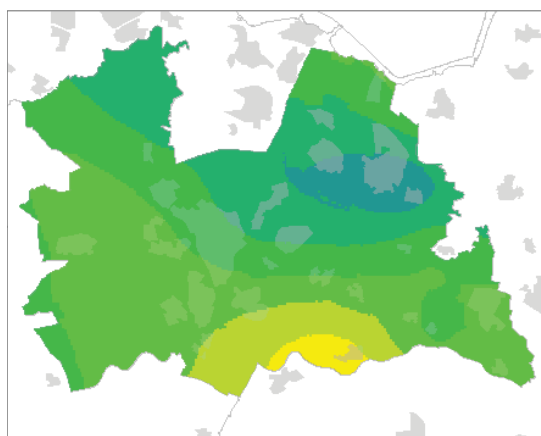
Hoe groen is de herfst? Verschil 1 november 2004/ 1 november 2006 (foto: Jacob Kuiper, WPI, KNMI)

Gemiddelde Neerslag (jaar)

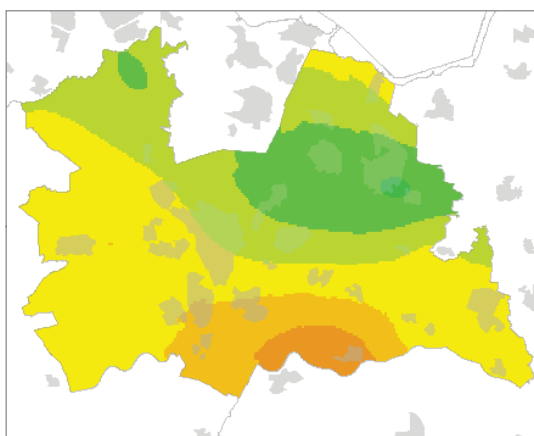
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.6 Kaarten met de gemiddelde neerslag per jaar (in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

2.3 Neerslag

Klimaatverandering betekent voor neerslag het volgende:

- Toename van de gemiddelde neerslag in de winter;
- Gemiddelde neerslag in de zomer kan licht toenemen maar ook sterk afnemen;
- Veranderingen in 2100 2x zo groot als in 2050;
- In alle KNMI'06 scenario's neemt de extreme neerslag toe;
- Afname van het aantal dagen met minimaal 1 mm (voldoende neerslag om nat van te worden)
- Toename van het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag (hevige neerslag).

2.3.1 Gemiddelde neerslag

Toekomstige trends

Volgens het IPCC (2007) neemt in Noord-Europa de seizoensgemiddelde neerslag toe (het sterkst in de winter) en in Zuid-Europa de neerslag af (het sterkst in de zomer). Gemiddeld gezien over alle modelprojecties die het IPCC presenteert, krijgt Nederland te maken met een lichte afname in de zomer en een toename in de winter. In de zomer ligt Nederland echter dicht bij een scherpe overgang tussen een kleine toename in het noorden en een sterke afname in het zuiden. De ligging van dit overgangsgebied verschilt onderling nogal tussen de klimaatmodellen. De veranderingen in zomerneerslag in Nederland zijn daarom relatief onzeker.

Dit komt tot uiting in de KNMI'06 scenario's. In de G en W scenario's (waarbij ervan uit wordt gegaan dat de stromingspatronen niet veranderen) neemt de neerslag in Nederland zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In de G+ en W+ scenario's (met verandering in stromingspatronen) neemt de neerslag extra toe in de winter (circa +7% per graad) en juist af in de zomer (circa -10% per graad). Figuren 2.7 en 2.8 geven kaarten voor de gemiddelde neerslag in het winter- en zomerhalfjaar in het huidige klimaat (1976-2005), en rond 2050 voor het W en W+ scenario. In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag in het winterhalfjaar toe, het sterkst in het W+ scenario. Dit geldt nog sterker voor de wintermaanden december, januari en februari. In het zomerhalfjaar neemt de gemiddelde neerslag in de G en W scenario's toe, en in de G+ en W+ scenario's af. Dit geldt nog sterker voor de zomermaanden juni, juli en augustus. De afname in de zomer onder G+ en W+ komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. De herfstmaanden september, oktober en november en de lentemaanden maart, april en mei laten een minder duidelijke verandering zien (ligt tussen de veranderingen in de winter en de zomer). In alle scenario's neemt het gemiddeld aantal dagen per jaar met minimaal 1 mm neerslag iets af (figuur 2.9). In de '+-' scenario's (G+ en W+) is de afname het grootst, en wordt deze vooral veroorzaakt door het geringere aantal regendagen in de zomermaanden.

Ruimtelijke patronen

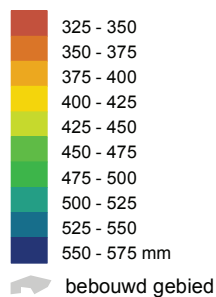
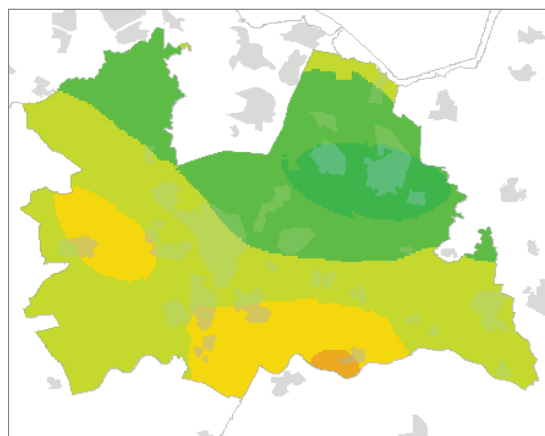
In Figuur 2.6 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen de provincie Utrecht. In de buurt van de Utrechtse Heuvelrug valt meer neerslag dan in de andere delen van de provincie. Het heuvellandschap veroorzaakt extra neerslag. Vergelijkbare patronen zijn terug te vinden in de gemiddelde neerslag in het winter- en zomerhalfjaar (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002)). In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

Neerslagpatronen Utrechtse Heuvelrug

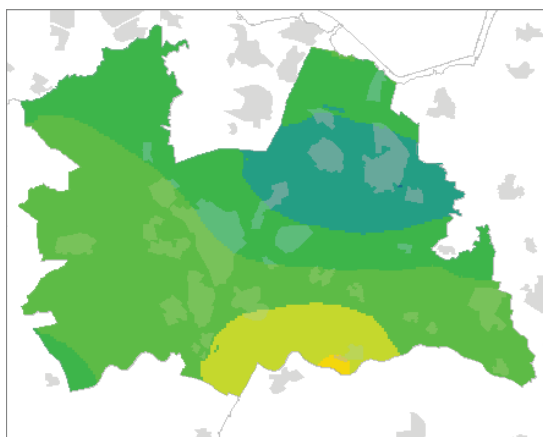
Het is altijd lastig om de oorzaken achter de ruimtelijke patronen voor neerslag exact te bepalen. De ligging van de stad Utrecht en de Utrechtse Heuvelrug spelen een rol bij de aanwezigheid van het neerslag maximum in het noordoosten van de provincie. Boven stedelijk gebied en heuvelachtig terrein ontstaat meer convectie en dit leidt tot een toename van neerslag. De overheersende zuidwestelijke stroming zorgt ervoor dat het neerslag maximum dan wat naar het noordoosten optreedt. Een verandering van luchtstromingspatronen zoals in de KNMI'06 scenario's zal hierin ook nauwelijks verandering brengen.

Gemiddelde Neerslag per winterhalfjaar

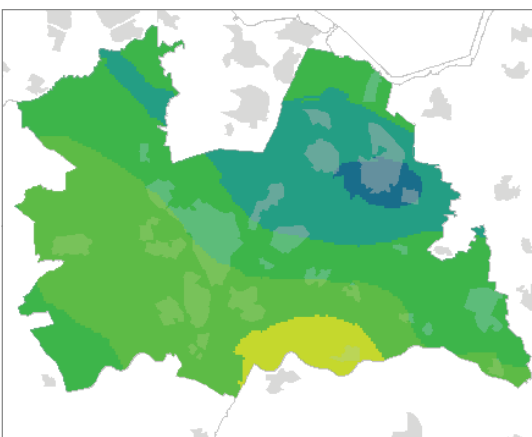
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

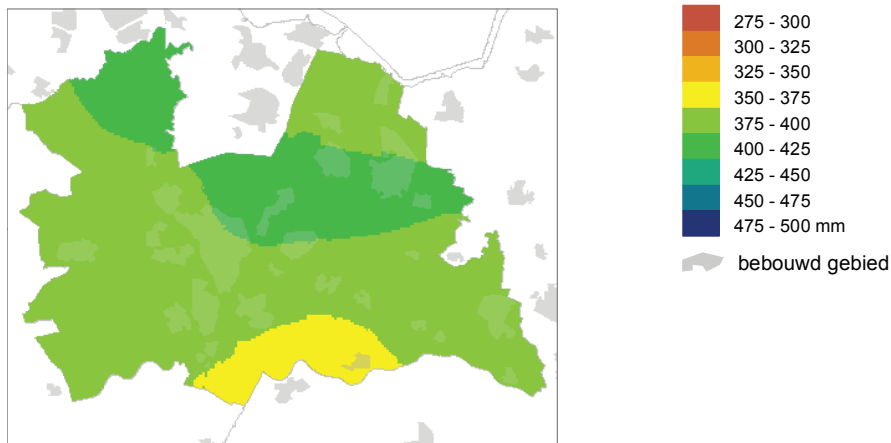


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

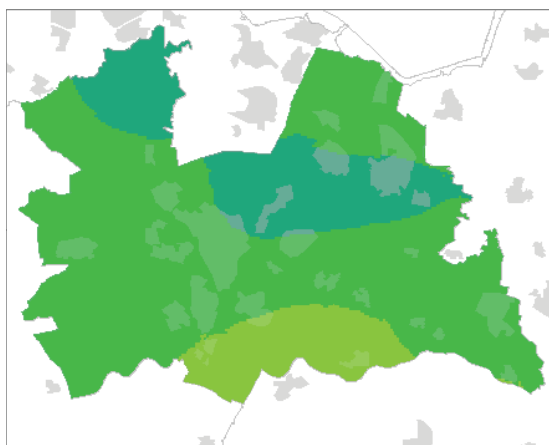
Figuur 2.7. Kaarten met de gemiddelde winterneerslag per jaar (oktober-maart; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

Gemiddelde Neerslag per zomerhalfjaar

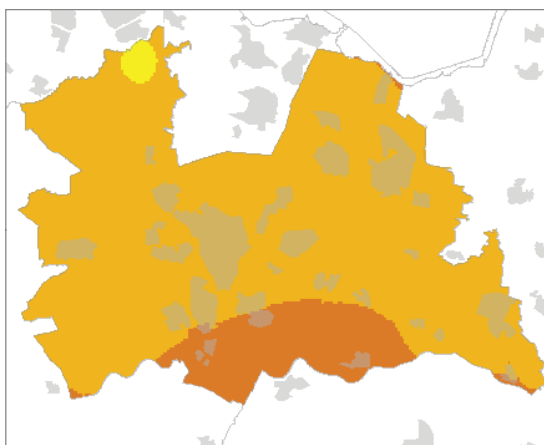
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

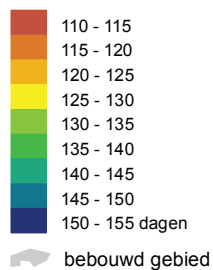
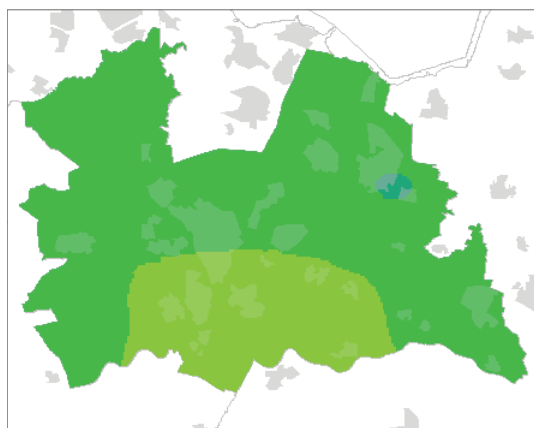


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

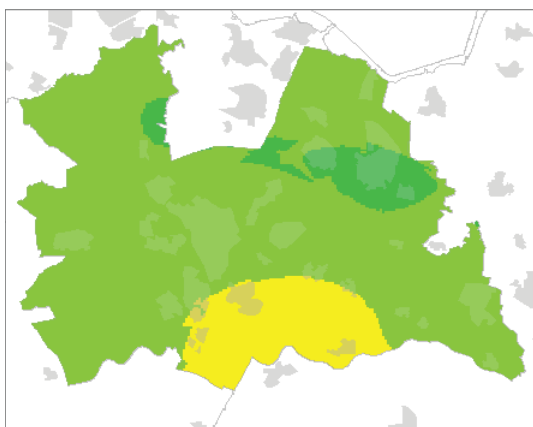
Figuur 2.8. Kaarten met de gemiddelde zomerneerslag per jaar (april-september; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

Aantal dagen met ≥ 1 mm neerslag (jaar)

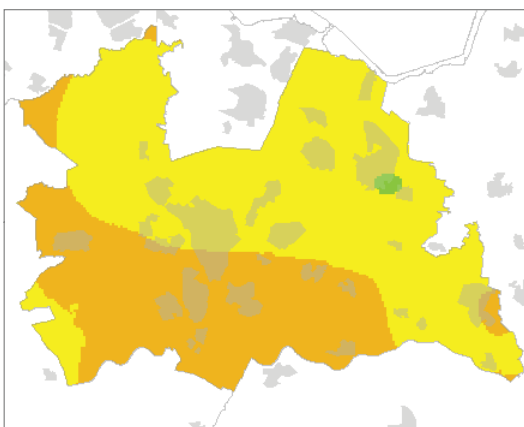
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.9 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per jaar met 1 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

2.3.2 Extreme neerslag

Toekomstige trends

Neerslagextremen nemen volgens het IPCC (2007) zeer waarschijnlijk toe. Alle KNMI'06 scenario's zijn hiermee in overeenstemming: in alle scenario's neemt in de zomer de gemiddelde neerslaghoeveelheid op dagen met veel regen toe door de zwaardere buien (het meest in het W scenario). Merk wel op dat in de G+ en W+ scenario's de gemiddelde zomerneerslag afneemt. Voor de winter geldt in alle scenario's dat de hoeveelheden in langere periodes met veel neerslag (extreme 10-daagse winterneerslag; belangrijk voor de afvoer van rivieren zoals de Rijn) toenemen en ongeveer evenveel veranderen als de gemiddelde winterneerslagsom.

De hoogste dagneerslagsom treedt meestal in het zomerhalfjaar op en kan voor lokale wateroverlast zorgen. Als een maat voor het aantal dagen met veel neerslag kan het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag gebruikt worden. Deze maat kan bijvoorbeeld een rol spelen bij het bepalen van de noodzakelijke gemaalcapaciteit bij polders. Dagen met minimaal 15 mm komen aan de kust het meest voor in de herfst. Meer landinwaarts komen deze dagen het meest voor in de zomer. Het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag (Figuur 2.10) neemt in alle scenario's toe. In de '+'- scenario's (G+ en W+) is de toename gering, en in de G en W scenario's het grootst. In deze scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen is de toename van extreme neerslag in de zomer procentueel ook het grootst.

Ruimtelijke patronen

Het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag (Figuur 2.10) neemt in alle scenario's toe. In de '+'- scenario's (G+ en W+) is de toename gering, en in de G en W scenario's het grootst. In deze scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen is de toename van extreme neerslag in de zomer procentueel ook het grootst. Gegevens voor De Bilt over extreme neerslag worden vaak voor heel Nederland gebruikt. Zo valt er eens per 10 jaar in De Bilt meer dan 54 mm in 24 uur in het huidige klimaat (1906-2003; STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Er is vastgesteld dat er voor de hoeveelheid neerslag die binnen 24 uur valt en die eens per 10 jaar wordt overschreden significante verschillen tussen stations in Nederland bestaan (STOWA, 2004). Deze verschillen tussen De Bilt en de overige beschouwde stations bedragen maximaal 12%. In de toekomst zullen deze extreme neerslagsommen in alle klimaatscenario's toenemen, het meest in het W scenario. Meer informatie wordt gegeven in Bijlage 5.

Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. In de toekomst neemt deze extreme 9-daagse neerslagsom toe, maar een schatting van de toekomstige waarden is moeilijk te maken.

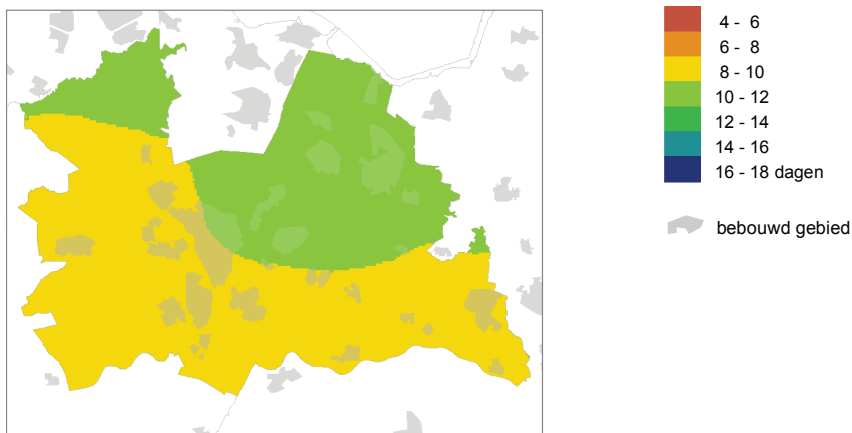
Hoge rivierwaterstanden 1993 en 1995

In 1993 en 1995 is er in de 10 daagse periode voorafgaand aan het hoge water van de grote rivieren gemiddeld ongeveer 100 millimeter neerslag gevallen in het Rijnstroomgebied, en ongeveer 150 millimeter in het Maasstroomgebied [bron: H2O, 11 januari 2008, nr.1]. Een dergelijke neerslaghoeveelheid in het Rijnstroomgebied heeft in het huidige klimaat een herhalingstijd van ongeveer 35 jaar [bron: Jules Beersma. Rainfall Generator for the Rhine Basin, Description of 1000-year simulations.]

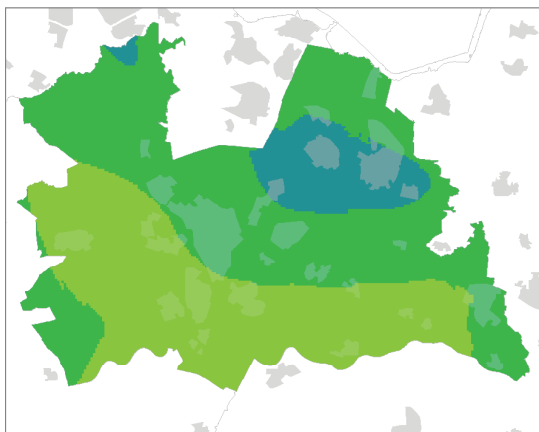
Op basis van het rapport van Beersma valt een eenvoudige eerste schatting te maken van hoe deze herhalingstijden gaan veranderen. In het huidige klimaat valt er eens in de 10 jaar een 10-daagse neerslaghoeveelheid in het stroomgebied van de Rijn van ongeveer 85 mm. In de vier KNMI'06 klimaatscenario's varieert dit rond 2050 van 88 mm (G) tot 95 mm (W+). Een grove eerste schatting levert een herhalingstijd van eens in de 15 jaar op voor een neerslaghoeveelheid van 100 mm rond 2050 onder het W+ scenario (aangenomen dat deze extremen in absolute zin even veel toenemen als de eens in de 10 jaar gebeurtenissen).

Aantal dagen met ≥ 15 mm neerslag (jaar)

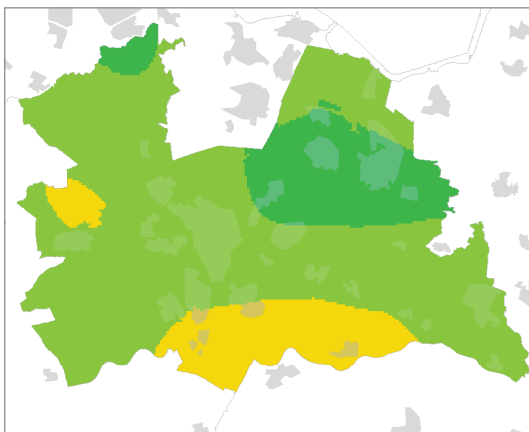
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 2.10 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-neerslagstations, zonder additionele klimatologische kennis.

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- Vaker water op straat als er geen maatregelen worden genomen (de extreme neerslag neemt in alle klimaatscenario's toe);
- In het geval van de scenario's G+ en W+ hoeft u in de zomer minder vaak een paraplu mee te nemen en is het risico dat een tuinfeest verregent minder groot (afname van het aantal regendagen in deze klimaatscenario's).

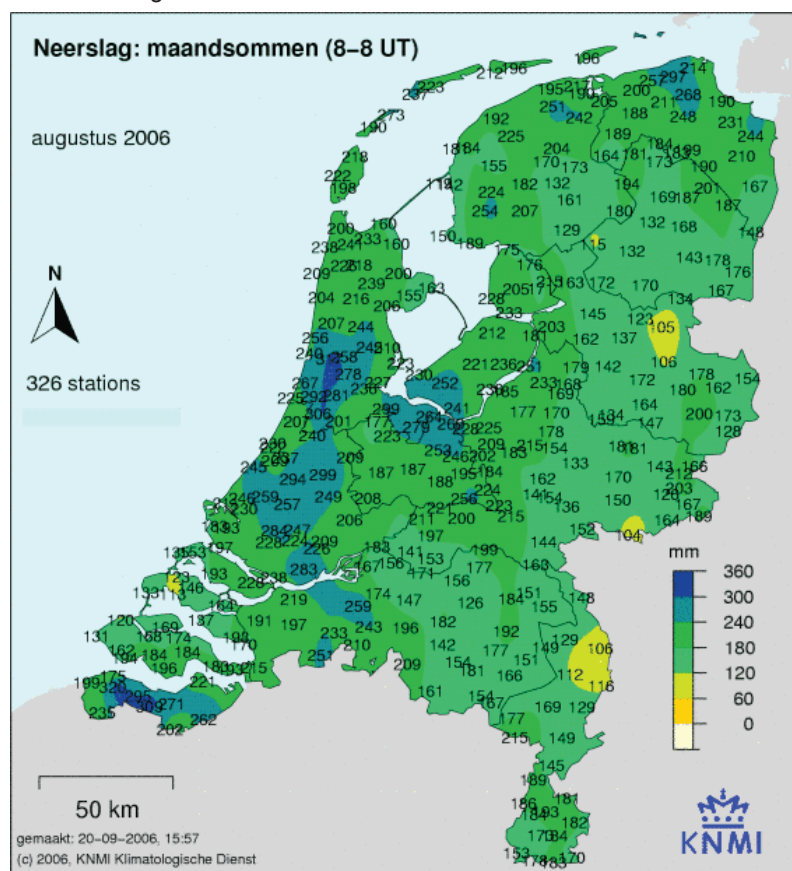
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten

Wordt augustus 2006 normaal rond 2050?

Augustus 2006 was een erg natte maand na een erg warme maand juli. Misschien herinnert u zich nog dat er vooral in het westen van Nederland veel wateroverlast was: straten die onder waren gelopen, water in kelders, etc.

De gemiddelde neerslag in augustus in de provincie Utrecht in de periode 1971-2000 bedraagt iets meer dan 60 mm. In augustus 2006 was de maandsom op veel stations hoger dan 200 mm (figuur 2.10). Er waren grote regionale verschillen in neerslag, maar dat is normaal voor de zomermaanden. Het aantal dagen met zware regen in augustus 2006 waarbij op tenminste één KNMI-station ≥ 50 mm werd afgetapt, bedroeg 11 tegen een langjarig gemiddelde van twee. Sinds 1951 is dit aantal dagen nog niet zo hoog geweest. Het landelijke maximum ligt in Schoondijk waar op 2 augustus zelfs 93 mm gevallen.

De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de gemiddelde neerslag in de zomer, en twee scenario's laten zelfs een duidelijke afname zien. Dat betekent dat in de toekomst zo'n grote hoeveelheid neerslag als in augustus 2006 ook nog steeds uitzonderlijk zal zijn. Alle KNMI'06 scenario's laten wel een toename van de hevigheid van extreme buien zien. Met andere woorden de hevigheid van de neerslag, zoals we die in augustus 2006 hebben gezien, zal in de toekomst minder uitzonderlijk worden, maar ook niet meteen heel gewoon!



Figuur 2.11 Maandneerslagsommen in augustus 2006.



Water op straat: overlast?

2.4 Neerslagtekort

Klimaatverandering betekent voor neerslagtekort het volgende:

- Toename van de potentiële verdamping in alle klimaatscenario's;
- Veranderingen in potentiële verdamping in 2100 tweemaal zo groot als in 2050;
- Het neerslagtekort (neerslag - potentiële verdamping) neemt nauwelijks tot sterk toe;
- Aan de kust is de gemiddelde potentiële verdamping hoger dan meer landinwaarts.

Het neerslagtekort wordt gedefinieerd als de neerslag minus de potentiële verdamping. Op het KNMI wordt de potentiële verdamping berekend met de formule van Makkink (op basis van straling en temperatuur). Het cumulatieve neerslagtekort wordt vaak vanaf 1 april berekend, aangezien 1 april ongeveer overeenkomt met het begin van het groeiseizoen voor veel planten. Bij een groot neerslagtekort wordt de groei van planten beperkt door watertekort. Droogte wordt soms gedefinieerd in termen van hoeveelheid neerslag, maar vaak ook in termen van neerslagtekort. Het jaar 2003 staat bekend als een droog jaar in het recente verleden (maximale cumulatieve neerslagtekort van 217 mm gemiddeld over Nederland), maar 1976 was nog veel droger in termen van neerslagtekort (361 mm; Beersma et al., 2004). Het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april en op basis van 13 KNMI-stations is 144 mm voor de periode 1906-2000.

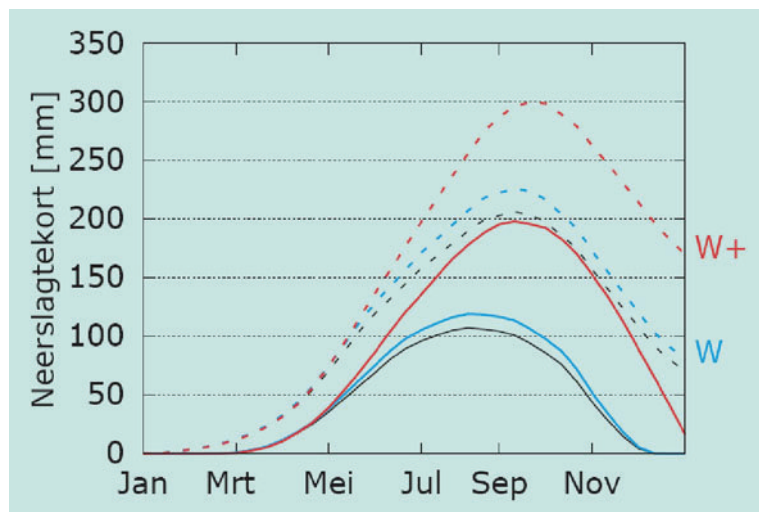
Toekomstige trends

In de KNMI'06 scenario's worden geen regionale verschillen in relatieve verandering in klimaatvariabelen meegenomen. Als gevolg van de hogere temperaturen zal de potentiële verdamping toenemen. In de zomermaanden neemt de potentiële verdamping in de '+'-scenario's aanzienlijk toe (8% tot 15%; in deze scenario's stijgt de temperatuur in de zomer ook het sterkst). Tegelijkertijd neemt de neerslag in de zomermaanden in deze '+' scenario's ook het sterkst af. Dit heeft tot gevolg dat de droogte, in termen van neerslagtekort, in het G+ en W+ scenario's in de zomer sterk zal toenemen. Rond 2050 zal het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april voor Nederland onder de KNMI'06 scenario's zijn gestegen: 151 mm (G-scenario) tot 220 mm (W+-scenario).

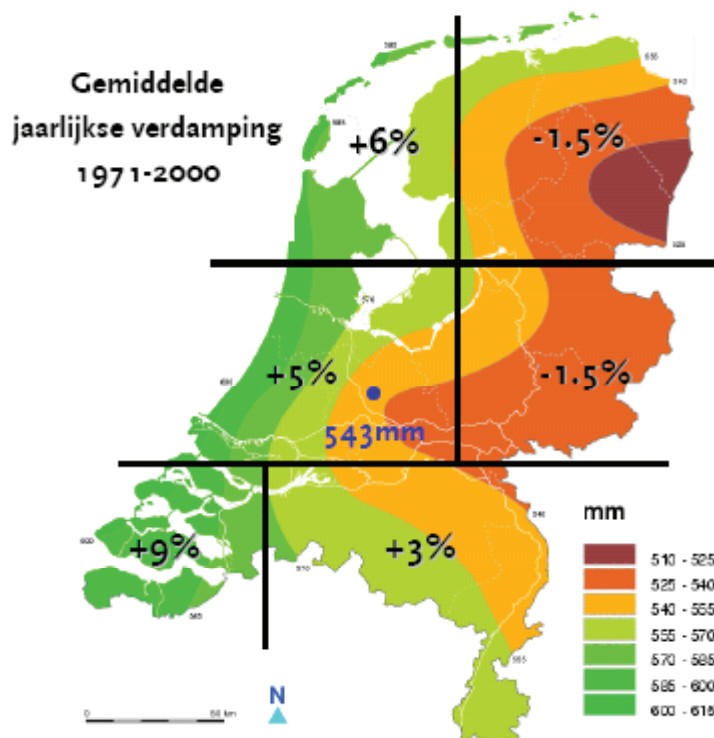
Figuur 2.12 laat zien dat het jaarlijkse verloop van het gemiddelde neerslagtekort in Nederland (de doorgetrokken lijnen) in het W-scenario rond 2050 slechts marginaal toeneemt ten opzichte van het klimaat in de periode 1906-2000. Hetzelfde geldt voor het G-scenario. Met andere woorden: in deze scenario's wordt het, gemiddeld gezien, nauwelijks droger rond 2050. Min of meer hetzelfde geldt voor de extremere jaren. Echter, in de G+ en W+ scenario's neemt het gemiddelde cumulatieve neerslagtekort duidelijk toe (door een afname van de zomerneerslag en een sterke toename van de verdamping). Rond 2050 komt het maximale neerslagtekort in een gemiddelde zomer onder het W+ scenario in de buurt van het maximale neerslagtekort in 2003.

Ruimtelijke patronen

De jaarlijkse potentiële verdamping verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002 p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de zomermaanden ligt de provincie Utrecht op de overgang van relatief veel zon (hoger neerslagtekort) aan de kust tot wat minder zon in het binnenland (lager neerslagtekort). Tevens zien we de verhoogde neerslag rond de Utrechtse Heuvelrug terug als een lager neerslagtekort (zomer) of hoger neerslagoverschot (winter). Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald.



Figuur 2.12 Cumulatief neerslagtekort (= verschil tussen neerslag en potentiële verdamping) in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-stations) voor het historische klimaat (1906-2000; zwarte lijnen), en twee klimaatscenario's voor 2050 (W en W+). Voor elke datum geldt steeds dat het cumulatief neerslagtekort in 50% van de jaren onder de doorgetrokken lijn ligt en in 90% van de jaren onder de onderbroken lijn.



Figuur 2.13 Gemiddelde jaarlijkse referentie-gewasverdamping (=potentiële verdamping) volgens Makkink (Bron KNMI, 2002), inclusief schalingsfactoren voor 6 regio's.

Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

- In het geval van de scenario's G+ en W+ moet men in de zomer vaker zijn gazon besproeien vanwege de droogte (neerslagtekort neemt flink toe)
- Het water in sloten en vijvers staat in de zomer lager (vooral in de G+ en W+ klimaatscenario's, en als het grondwater niet kunstmatig op peil wordt gehouden).

In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten

Wordt de droogte in de zomer van 2003 normaal rond 2050?

Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? In het huidige klimaat komt zo'n droge zomer eens in de ongeveer 10 jaar voor (zie tabel 2.2; (Beersma et al., 2004)). Ook de jaren 1995 en 1996 waren vrij droog met een neerslagtekort van bijna 200 mm (herhalingstijd eens in de 6-7 jaar). 1976 was het droogste jaar in de afgelopen eeuw met een neerslagtekort gemiddeld in Nederland van 361 mm (herhalingstijd eens in de 89 jaar). Rond 2050 neemt het neerslagtekort in de klimaatscenario's niet sterk toe, maar wel in de scenario's G+ en W+. Een zomer als 2003, zou rond 2050 onder het W+ scenario vrij normaal worden.

Tabel 2.2 Gemiddeld neerslagtekort in de huidige situatie en in de vier KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (217 mm vanaf 1 april)

	1906-2000	G	G+	W	W+
Gemiddeld neerslagtekort (mm)	144	151	179	158	220
Herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (jaren)	9,7	7,9	4,1	6,5	2,0

2.5 Zonneschijn

Klimaatverandering betekent voor zonneschijn het volgende:

- In het winterhalfjaar worden geen grote veranderingen in uren zonneschijn verwacht;
- In het zomerhalfjaar kan het aantal uren zonneschijn toenemen of gelijk blijven;
- Veranderingen in uren zonneschijn zijn in 2100 groter dan in 2050;
- De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts.

Toekomstige trends

De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Nederland in het overgangsgebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt (IPCC, 2007).

De KNMI'06 scenario's geven wel informatie over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneschijn en het aantal regendagen (of de neerslagduur), maar deze relatie is niet in elk seizoen of elke maand even duidelijk (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (2002) en vergelijk neerslagduur per seizoen en het aantal uren zonneschijn per maand). Voor de wintermaanden (december-februari) is de verandering in het aantal regendagen in alle gevallen klein (0% tot +2% tot 2050 t.o.v. het klimaat rond 1990). Voor de zomer (juni-augustus) is de verandering in het aantal regendagen in de G en W scenario's ook beperkt (-3% tot -2% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990). We verwachten daarom weinig verandering in het aantal zonneschijnuren. In de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer aanzienlijk af (-10% tot -19% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en verwachten we een toename van het aantal uren zonneschijn. Voor meer informatie wordt verwezen naar Bijlage 5.

De droogte van 2003 (en 2006 en 2007)

De zomer van 2003 was erg droog. In de provincie Utrecht is de waterstroming omgedraaid. Daarnaast is een beregeningsverbod voor boeren ingesteld.

Het landelijke maximale neerslagtekort, zoals opgetreden in 2003 heeft een herhalingsjijd van 10 jaar. Tabel 2.2 laat de herhalingsjijd van het neerslagtekort zoals opgetreden in 2003 en voor de vier KNMI'06 Klimaatscenario's rond 2050 zien. Tevens zijn andere drogere jaren ter indicatie toegevoegd.

Herhalingsjijden droogte 1976 bij vast (huidig) niveau van het neerslagtekort

Soort jaar	Neerslagtekort					
Herhalingsjijd (jaar)	Tekort mm	Huidig	G	G+	W	W+
Gemiddeld (1967)	151	3	2	1,5	2	1,2
Droog (1949)	226	12	10	5	8	2
Zeer droog (1959)	352	71	52	31	40	20
Extreem droog (1976)	361	89	64	36	47	22
Matig droog (1996)	199	7	6	3	5	2
Droog (2003)	217	10	8	4	7	2

2006 was ook een relatief droog jaar. Het landelijk maximum neerslagtekort kwam toen uit op ongeveer 200 mm. Toen moesten op een aantal plekken in het land maatregelen genomen worden ter bestrijding van de droogte. Zomer 2007 was voor het grootste gedeelte natter dan normaal. Bijzonder was echter dat de maand april zeer droog was, en er in een maand tijd een landelijk neerslagtekort van 100 mm was opgebouwd. Dit was tevens het maximum dat die zomer bereikt werd. Omdat het neerslagtekort pas vanaf 1 april wordt berekend, valt het uiteindelijke neerslagtekort in absolute zin mee. Maar omdat het eind maart ook al droog was, en de snelheid van de opbouw van het neerslagtekort in april dicht bij het maximaal haalbare in het huidige klimaat lag, heeft het toch her en der tot problemen geleid.

Regionaal

In de studie "Droog, droger, droogst" is tevens een regionale opsplitsing gemaakt. Daarbij vormen de stations Scheveningen, Hoofddorp en De Bilt de regio Middenwest Nederland. Deze regio is voor de provincie Utrecht interessant.

Het maximale neerslagtekort dat bereikt werd in 2003 voor de regio Middenwest Nederland was 259 mm. Over heel Nederland varieerde het maximale neerslagtekort van 178 voor Noordoost Nederland tot 291 mm voor Noordwest Nederland.

De herhalingsjijd die hoort bij een neerslagtekort zoals in 2003 is voor Middenwest Nederland 12 jaar. Dat betekent dat eens per 12 jaar een vergelijkbaar of groter neerslagtekort wordt bereikt. Over heel Nederland varieerde de herhalingsjijd die hoort bij het neerslagtekort dat bereikt werd in 2003 van eens per 4 jaar voor het Maasgebied, tot eens per 13 jaar voor Noord-West Nederland.

De zomer van 2003 was wat betreft droogte dus helemaal niet zo extreem

Ruimtelijke patronen

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde jaarlijkse zonneschijnduur. De provincie Utrecht ligt op de overgang van de kustprovincies naar het binnenland. Op maandbasis is het gemiddeld aantal zonneschijnuren aan de kust meestal ook hoger dan landinwaarts, maar dit verschil is sterker in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002)). In de toekomst zal dit globale patroon niet veranderen.

2.6 Wind

Klimaatverandering betekent voor wind het volgende:

- Veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie;
- Veranderingen in 2100 tweemaal zo groot als in 2050 in de KNMI'06 scenario's;
- De gemiddelde windsnelheid in de winter is hoger dan in de zomer;
- De gemiddelde windsnelheid is langs de kust groter dan landinwaarts.

Toekomstige trends

Op basis van de huidige kennis bestaat het vermoeden dat de veranderingen in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten klein zullen zijn. Er bestaan echter nog veel onzekerheden met betrekking tot wind en stormen. Voor het lokale windklimaat is een eventuele verandering van de ligging van de stormbanen belangrijker. Het effect voor Nederland van de verschuiving van de stormbanen is beperkt omdat de stormbaan boven Nederland breed is. Een verschuiving van een paar honderd kilometer heeft daarom geen groot effect.

Volgens de KNMI'06 klimaatscenario's, die gebaseerd zijn op dezelfde modellen als gebruikt voor het vierde Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze treedt meestal in de winter op). Deze is echter niet meer dan 2% per graad temperatuurstijging. Dit is klein ten opzichte van de jaar-op-jaar variaties en de natuurlijke schommelingen op langere termijn. In de G en W scenario's verandert de hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar nauwelijks ($\leq 1\%$ tot 2050).

Stormvloed aan de Nederlandse kust treden op bij stormen uit westelijke tot noordelijke richtingen. De wind zorgt dan voor extra wateropzet, dat wil zeggen de wind stuwt het water extra op tegen de kust. De modelberekeningen die voor de vier KNMI'06 scenario's zijn gebruikt geven aan dat de verandering van het aantal stormen uit deze richtingen gering is. Op basis hiervan wordt niet verwacht dat als gevolg van de mogelijke veranderingen in wind de stormvloed uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloed wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging (zie paragraaf 2.7).

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is de gemiddelde windsnelheid in alle seizoenen aan de kust het grootst en neemt landinwaarts af (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002), en Bijlage 5). De provincie Utrecht ligt op de overgang van de kustregio's naar het binnenland. Ditzelfde patroon zal in de toekomst blijven bestaan.

2.7 Zeespiegel

Klimaatverandering betekent voor de zeespiegel het volgende:

- De zeespiegel stijgt in alle klimaatscenario's;
- Veranderingen in 2100 zijn minimaal tweemaal zo groot als in 2050 in de KNMI'06 scenario's;
- Door de trage reactie van oceanen en ijskappen zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten;
- De absolute zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is overal gelijk;
- Als gevolg van bodemdaling kan de relatieve zeespiegelstijging van plaats tot plaats verschillen.

Toekomstige trends

De KNMI'06 klimaatscenario's vermelden een absolute zeespiegelstijging in 2050 (dat wil zeggen zonder rekening te houden met de bodemdaling in Nederland) aan de Nederlandse kust die varieert tussen de 15 cm en 35 cm. Omstreeks 2100 varieert de stijging tussen de 35 cm en 85 cm. Voor een vergelijking tussen de KNMI'06 scenario's en de IPCC scenario's wordt verwezen naar Bijlage 5.

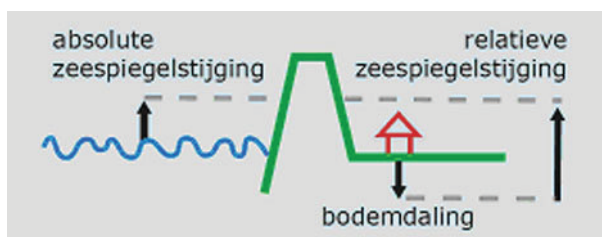
Oceanen en ijskappen reageren erg traag op veranderingen in de atmosfeer. Daarom zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten, zelfs als de temperatuur na 2100 niet meer zou stijgen. Alleen al door de uitzetting van het zeewater zal het zeeniveau in 2300 ongeveer 30 tot 80 centimeter hoger zijn dan in de 20^e eeuw. Als ook ijskappen op grote schaal gaan afsmelten wordt op een termijn van enkele eeuwen een zeespiegelstijging van enkele meters verwacht.

De Groenlandse ijskap zal in het warmere klimaat blijven slinken en dus bijdragen aan zeespiegelstijging. Modelstudies suggereren dat bij een gematigde stijging van de temperatuur de ijskap vrijwel geheel zal verdwijnen in enkele duizenden jaren. De Antarctische ijskap blijft zó koud dat het oppervlak nauwelijks zal gaan smelten. In modelstudies neemt de sneeuwval toe, waardoor de ijskap de komende eeuwen gaat groeien. Echter, de ijskap kan netto massa verliezen als blijkt dat de afkalving aan de randen dominant is.

Ruimtelijke patronen

De absolute zeespiegelstijging is overal langs de Nederlandse kust gelijk. De wateropzet als gevolg van wind en stormen (paragraaf 2.6) kan wel langs de kust verschillen.

In de KNMI'06 scenario's wordt de absolute zeespiegelstijging gepresenteerd, wat ongeveer overeenkomt met de verandering in de stand ten opzichte van NAP (Figuur 2.14). Om de relatieve verandering van het zeeniveau ten opzichte van de Nederlandse bodem te verkrijgen, moet de bodembeweging nog worden opgeteld bij de scenario's.



Figuur 2.14 Schematische weergave van het verschil tussen absolute en relatieve zeespiegelstijging als gevolg van bodemdaling

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- Stormvloedkeringen zullen vaker dichtgaan;
 - Het zoute water van de zee zal verder landinwaarts de rivier indringen;
- In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Thema	Trend	Gevolg	Paragraaf
Watersysteem			3.1
- Overstromingsrisico's Rijn	- Hogere rivierafvoer in de winter - Zeespiegelstijging	- Verandering piekafvoer onbekend. Afhankelijk van meerdere factoren.	3.1.1
- Prioritering rivierafvoer	- Lage rivierafvoer in de zomer	- Concurrerende wateraanvoerbehoeften	3.1.2
- Verandering regionaal watersysteem	- Verandering neerslag - Verandering verdamping	- Veranderende afvoeren op sloten en beken - Veranderende grondwaterstanden	3.1.3
- Waterkwaliteit	- Temperatuurstijging - Droogte in de zomer - Toename hevige buien	- Gunstigere omstandigheden voor blauwalg - Vaker riooloverstort	3.1.4
Stedelijk gebied			3.2
- Wateroverlast	- Toename hevige buien	- Vaker water op straat	3.2.1
- Watertekort	- Neerslagtekort in de zomer	- Drinkwatervoorziening onder druk - Paalrot in oude binnensteden - Fluctuatie grondwaterstanden	3.2.2
- Temperatuur	- Hogere temperaturen in binnensteden	- Toename hittestress	3.2.3
- Luchtkwaliteit	- Toename tropische dagen - Winter: lucht uit westelijke richting	- Kans op zomersmog groter - Kans op wintersmog kleiner	3.2.4
Landelijk gebied			3.3
- Wateroverlast	- Toename neerslag in winter - Intensere buien	- Meer wateroverlast	3.3.1
- Watertekort	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Verzilting - Bodemdaling door afbraak veenweide	3.3.2
Landbouw			3.4
- Vernatting	- Toename neerslag in winter - Intensere buien	- Incidentele schade	3.4.1
- Droogteschade	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Toename droogteschade in klei- en veenweidegebieden - Grotere wateraanvoerbehoefte in binnenduinrand	3.4.2
- Ziektes	- Temperatuurstijging - verzilting	- Kansen en bedreigingen voor verschillende gewassen	3.4.3
Natuur			3.5
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Verschuiving van soorten	3.5.1
- Verdroging en verzilting	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping - Zeespiegelstijging	- Verschuiving van soorten	3.5.2
Infrastructuur			3.6
- Wateroverlast droge infrastructuur	- Intensere buien	- Verkeersoverlast	3.6.1
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Meer spoorvorming - Meer berm- en bosbranden	3.6.2
Recreatie			3.7
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Kansen voor buitenrecreatie - Achteruitgang zwembadwaterkwaliteit	3.7

Tabel 3.1 Schematisch overzicht van klimaatveranderingseffecten, gebiedstypes en functies, te vinden in dit hoofdstuk

3 KLIMAATVERANDERINGSEFFECTEN EN -GEVOLGEN

Veranderingen in temperatuur, neerslag en zeespiegelstijging, zoals beschreven in hoofdstuk 2, hebben verschillende effecten op een gebied. Deze effecten zijn ook afhankelijk van verschillende fysisch-geografische aspecten in een gebied, zoals hoogteligging, bodemtype, rivier- en bekenstelsels, en van de manier waarop een gebied is ingericht. In dit hoofdstuk worden klimaatveranderingseffecten zoals wateroverschot, watertekort, veranderingen in rivierafvoer en de gevolgen van temperatuurstijgingen voor verschillende gebiedstypes en functies beschreven.

De beschrijvingen die in dit hoofdstuk zijn opgenomen zijn niet uitputtend. Er is vaak meer te zeggen over de gevolgen van klimaatverandering. Ook is het hoofdstuk niet volledig ten aanzien van het aantal effecten, gebiedstypes en functies.

De beschrijvingen in dit hoofdstuk over verschillende gebiedstypes en functies beperken zich tot de gevolgen van klimaatverandering. Sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen in het gebied en voor functies zullen in veel gevallen medebepalend zijn voor de veranderingen tot 2050. In sommige gevallen zullen de effecten van dergelijke ontwikkelingen zelfs invloedrijker zijn dan die van de klimaatverandering. Dit geldt bijvoorbeeld voor water in de stad. Het feit dat winkels vaker onder water lopen komt niet zozeer door een toename van de neerslag maar meer door de straatinrichting, bijvoorbeeld zonder stoepen.

In het klimaateffectschetsboek wordt nog zeer beperkt rekening mee gehouden met de sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen.

In tabel 3.1 zijn de verschillende klimaatveranderingseffecten en de gevolgen voor bepaalde functie te vinden. Deze worden in dit hoofdstuk verder beschreven.

3.1 Watersysteem

Klimaatverandering zal voor het watersysteem de volgende gevolgen hebben.

- De rivierafvoeren als gevolg van klimaatverandering zullen in de zomer groter worden en in de winter kleiner. Extreme hoogwaters zullen frequenter worden, de mate hangt af van maatregelen in stroomopwaarts.
- De overstromingsrisico's kunnen veranderen. De omvang van het effect is echter nog niet bekend.
- Grondwaterstanden zullen meer fluctueren.
- Door temperatuurstijging en stilstaand water worden de omstandigheden voor blauwalg gunstiger.
- Door meer intense buien kan het aantal riooloverstorten toenemen, dit is slecht voor de waterkwaliteit.
- Door temperatuurstijging zal de vraag naar drinkwater toenemen.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.1.1 Klimaatverandering; gevolgen voor de rivierafvoer en de zeespiegelstijging

Gaan de overstromingsrisico's veranderen onder invloed van klimaatverandering? Om over die vraag iets te kunnen zeggen zijn een aantal begrippen van belang: rivierafvoer, maatgevende afvoeren, normen, kansen, gevolgen en risico's.

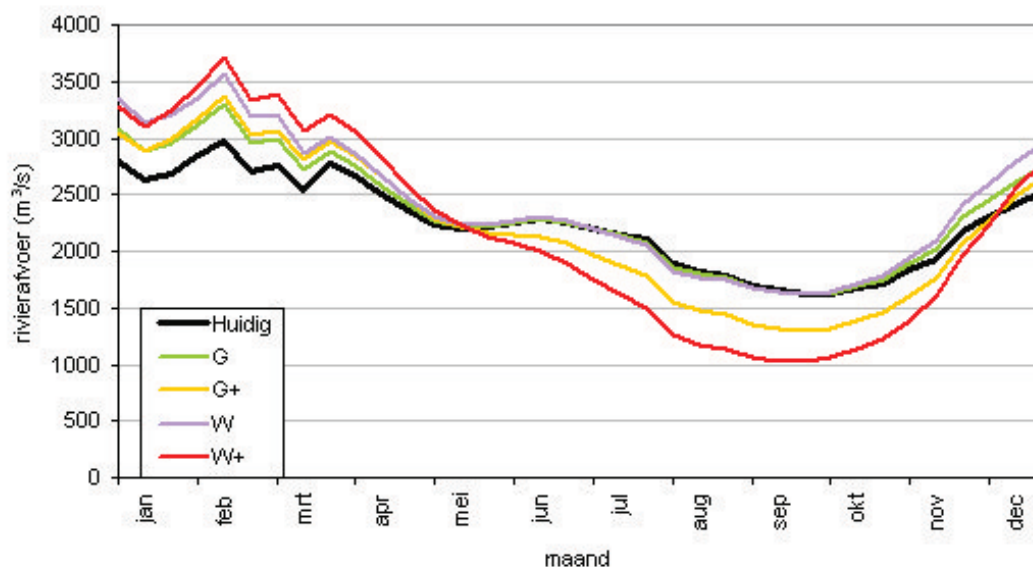
Hoeveel water er in Nederland door onze rivieren stroomt, wordt voor een groot deel bepaald door wat er vanuit het buitenland Nederland binnenkomt. Voor het overstromingsrisico van de Rijntakken is de rivieraanvoer bij Lobith een belangrijk gegeven. In de volgende grafiek staan de huidige gemiddelde rivieraanvoer bij Lobith en die bij verschillende KNMI'06 scenario's in 2050. Figuur 3.1 laat zien zal de fluctuatie in rivieraanvoeren in alle scenario's toenemen.

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van de rivier wordt niet uitgegaan van gemiddelde rivieraanvoeren, maar van de 'maatgevende afvoer'. De maatgevende afvoer in het bovenriviergebied heeft een overschrijdingskans van 1/1.250 per jaar en is bepalend voor de maatgevende hoogwaterstanden in dit gebied, zo ook voor de waterstand in de Nederrijn-Lek.

Door de hoge rivierafvoeren van 1993 en 1995 is de maatgevende afvoer van de Rijn verhoogd van 15.000 naar 16.000 m³/s. In het Programma Ruimte voor de Rivier worden maatregelen genomen om deze verhoogde afvoer veilig naar zee te leiden. Dit zijn vooral ruimtelijke maatregelen. Hierbij kan worden opgemerkt dat de daarmee gemoeide taakstelling op enkele plaatsen maar met moeite gehaald kan worden via een aanzienlijke ombouw van het winterbed.

Net als dat de gemiddelde rivierafvoer onder invloed van klimaatverandering zal veranderen, veranderen ook de maatgevende afvoeren onder invloed van klimaatverandering.

Zo wordt er voor de Rijn vaak gesproken over een toekomstige maatgevende afvoer van 18.000 m³/s. Klimaatverandering is echter maar één van de invloedsfactoren op de maatgevende afvoer. Voor een belangrijk deel zal de piekafvoer af hangen van de maatregelen die in het gehele stroomgebied van de Rijn worden genomen en vooral in Duitsland. Vergroot Duitsland de afvoercapaciteit dan zal de afvoer ook bij Lobith toenemen.



Figuur 3.1 Gemiddelde Rijnaanvoer bij KNMI'06 scenario's (m³/s) Bron: Investeringsruimte voor toekomstige droogte (2007 Royal Haskoning in opdracht van RIZA).

Voor het ontwerp van de dijken, die het land moeten beschermen tegen het water uit de rivier, worden behalve deze maatgevende afvoeren nog een aantal factoren mee genomen. Afhankelijk van de economische waarde in het 'achterland' zijn normen voor 'overschrijdingskansen' voor de primaire keringen in de wet verankerd. In Utrecht variëren die van 1/1.250 via 1/2.000 tot 1/10.000 per jaar. Een norm van 1/10.000 wil zeggen dat de dijk een waterstand met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar veilig moet kunnen keren. Bij het dijkontwerp wordt dan niet alleen rekening gehouden met de maatgevende piekafvoer maar onder andere ook met de golfaanval onder invloed van wind. Ook dat kan mogelijk veranderen onder invloed van klimaatverandering. Maar hoe en in welke mate, daarover zijn op dit moment nog geen relevante onderzoeken voor beschikbaar.

Als gevolg van klimaatverandering zal de zeespiegel stijgen. Het water van Rijn, Maas en Schelde kan bij een hogere zeestand niet meer vrij naar zee stromen en wordt opgestuwd. Zonder maatregelen leidt dat tot hogere waterstanden in de grotere wateren van Zeeland en Zuid-Holland, op de benedenrivieren en op het IJsselmeer (en daarmee onder andere ook in het Eemmeer). Deze hogere waterstanden kunnen met waterkeringen worden buitengehouden, of ze moeten worden uitgemalen.

Hogere waterstanden op de rijkswateren maken spuien van boezemwater onder vrij verval onmogelijk voor het deel van Nederland dat onder de zeespiegel ligt. Het deel van Nederland dat onder de zeespiegel ligt loopt op van circa 30% nu via 40, 45, 50, 55, naar 60% bij iedere extra meter zeespiegelstijging.

Klimaatverandering: gevolgen voor overstromingskansen en blootstelling

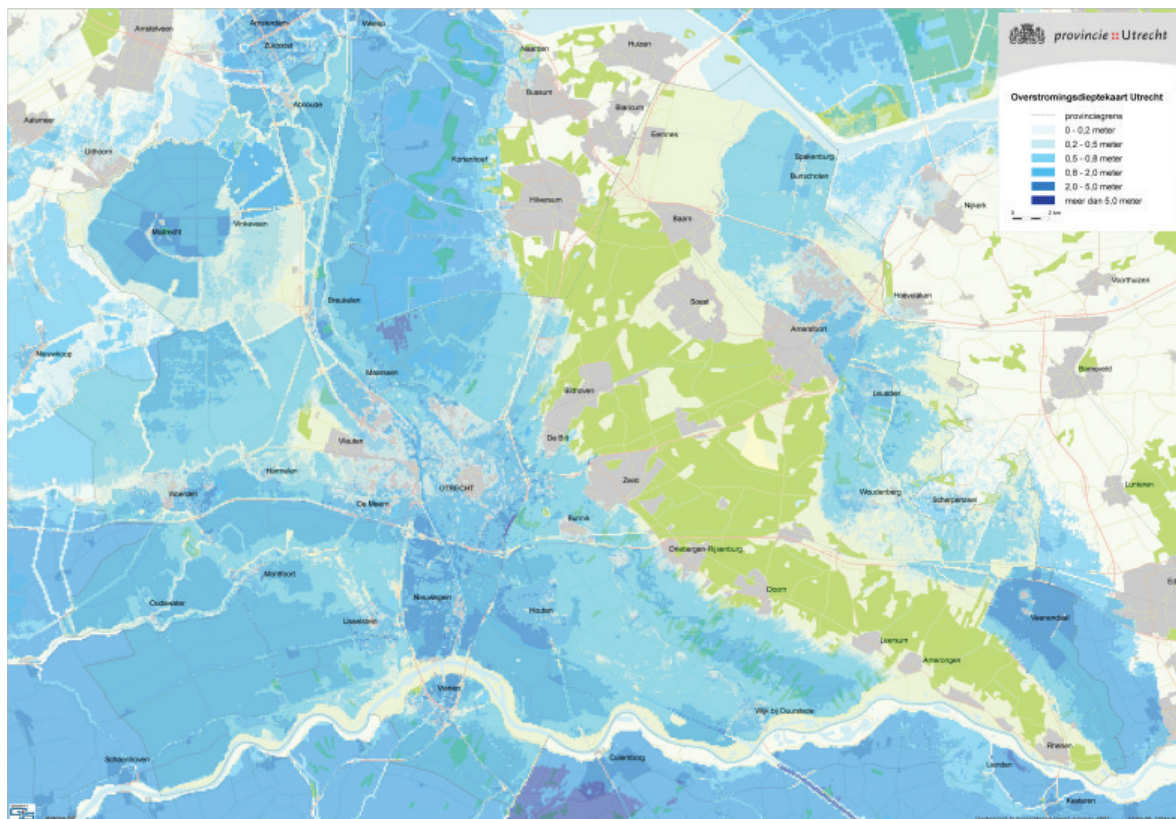
Er kan - voor kust, rivieren, meren en andere grote wateren - bij de verwachte zeespiegelstijging worden uitgegaan van gemiddeld een verdubbeling van de kans op de huidige maatgevende omstandigheden iedere 20-30 jaar en ongeveer een vertienvoudiging iedere eeuw. Zonder maatregelen betekent dat ook een verdubbeling – respectievelijk een vertienvoudiging van de kans op een overstroming.

Sedert 1950 is de kans op overstroming door de aanleg van deltawerken, dijkverbeteringen en goed kustonderhoud sterk gedaald. De kans op een overstroming van een aantal dijkringen is desalniettemin hoger dan volgens de vigerende norm wenselijk is. In Utrecht zijn bijvoorbeeld de indirect primaire waterkeringen

(categorie c keringen) langs de Hollandse IJssel en langs het Amsterdam Rijnkanaal te laag. Hierdoor is de kans dat het gebied achter dijkkring 14 onder water komt veel groter dan volgens de wet is vastgelegd (namelijk 1:10.000).

Tussen nu en 2020 zal de kans op overstroming in veel gebieden verder afnemen door verdere dijkverbetering (projecten als ruimte voor de rivier, zwakke schakels voorzien hierin). Bij voortzetting van het huidige beleid met vijfjaarlijkse toetsing aan herhaaldelijk herziene normen - zal de kans op overstroming na 2020 ongeveer gelijk blijven, omdat dat bij wet is vastgelegd. Het vaststellen van een kans op overstroming blijkt uiterst lastig en kan alleen met een grote bandbreedte aan onzekerheid. De blootstelling wordt vooral bepaald door de plaats waar de bres ontstaat en hoe snel deze groeit, maar ook door de eigenschappen van het overstromende land.

Wat gebeurt er als het toch mis gaat? Figuur 3.2 geeft een beeld van het overstroombare gebied en een indicatie van de maximale waterdiepten als gevolg van een eventuele dijkdoorbraak langs de Lek of vanuit het Eemmeer. Uitgangspunt is dat een doorbraak plaatsvindt onder maatgevende omstandigheden. Het belang van de kaart is dat het aangeeft met welke mogelijke waterdiepten rampenplannen rekening moeten houden, bij eventuele dijkdoorbraken.



Figuur 3.2 Overstromingsdieptekaart provincie Utrecht

De kaart geeft geen informatie over de kans op een overstroming. De doorbraakscenario's waarover in de kaarttoelichting gesproken wordt, hebben geen relatie met de klimaatscenario's in dit schetsboek. De scenario's gaan uit van de afvoer onder huidige klimaatcondities. (In het project Veiligheid Nederland in Kaart zullen de huidige 'kansen' op dijkdoorbraken berekend worden. Zie www.helpdeskwater.nl/projectvnl/). Waar bij het berekenen van deze kaarten wel rekening is gehouden, is de meest waarschijnlijke combinatie van rivierafvoer, stormvloedstand en keringssituatie van de stormvloedkeringen, die onder maatgevende omstandigheden optreden. Zoals in het stukje over maatgevende piekafvoeren is aangegeven kunnen de maatgevende hoogwaterstanden veranderen onder invloed van klimaatverandering, waardoor er ook mogelijk meer water een dijkkring in kan stromen als het misgaat.

Het overstromingsrisico is de kans op de mogelijke overstromingen maal de schade van zo'n overstroming. Die schade wordt bepaald door de hoeveelheid water, maar vooral door het gebruik van het land achter de dijk: aantal inwoners en de economische waarde. Naar de toekomst toe zal dat gebruik van land vooral beïnvloed

worden door de sociaal-economische ontwikkelingen in Nederland en de beleidsmatige besluitvorming over ruimtelijke ontwikkelingen. De overstromingsrisico's kunnen dus toenemen, zelfs als de kansen op overstromingen niet toenemen.

Samenvattend

Afvoer

De rivierafvoeren zullen als gevolg van klimaatverandering in het winterhalfjaar groter worden en voor in de zomer kleiner. Extreme hoogwaters zullen frequenter voorkomen, maar hoeveel water Nederland kan bereiken via de Rijn en Maas hangt mede af van maatregelen in Duitsland en België. Er wordt desalniettemin verwacht dat de maatgevende rivierafvoeren in Nederland zullen toenemen en een grotere dreiging zullen vormen. Daar kan met dijkverhoging of met rivierversuiming op worden gereageerd.

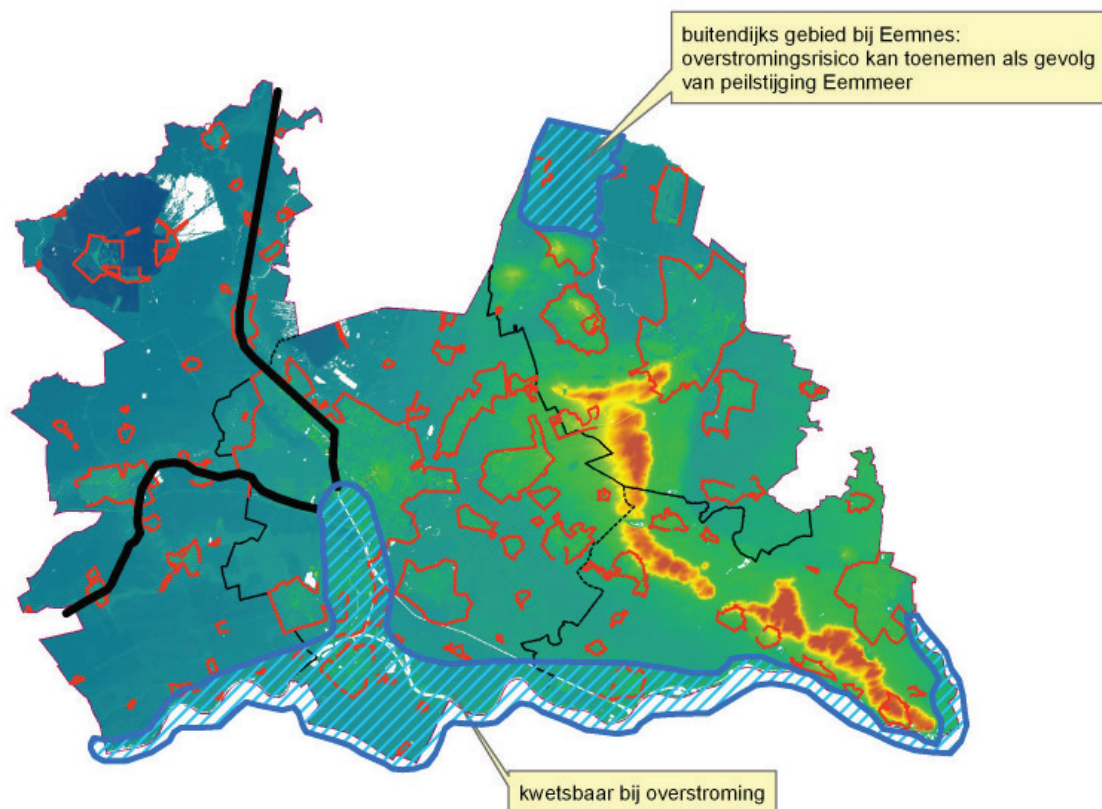
Overstromingskans

Tussen nu en 2020 zal de kans op overstroming in veel gebieden afnemen door maatregelen als verdere dijkverbetering, projecten als ruimte voor de rivier en zwakke schakels kust. Bij voortzetting van het huidige beleid met vijfjaarlijkse toetsing aan herhaaldelijk herziene normen - zal de kans op overstroming na 2020 ongeveer gelijk blijven, omdat dat bij wet is vastgelegd, mits de financiering rondkomt.

Het vaststellen van een kans op overstroming blijkt uiterst lastig en kan alleen met een grote bandbreedte aan onzekerheid.

Overstromingsrisico

Door bevolkingsgroei en economische groei neemt de kwetsbaarheid voor overstromingen (slachtoffers en schade) wel toe. Na 2020 zal bij voortzetting van het huidige beleid, dus bij handhaving van de normen en de overstromingskansen - het slachtoffer- en schaderisico stijgen (met name in Laag-Nederland en het riviergebied). (Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat, WL Delft Hydraulics, 2007)



Figuur 3.3 Enkele overstromingsrisico's in de provincie Utrecht

Onder invloed van klimaatveranderingen kunnen de overstromingsrisico's veranderen, maar die klimaatverandering is maar één van de vele factoren die veranderingen in overstromingsrisico's de komende jaren zullen bepalen. Over de omvang van het (mogelijke) effect van klimaatverandering op de overstromingsrisico's zijn op dit moment geen studies beschikbaar.

Adaptatieopgave

Op dit moment zijn er alleen grafieken over veranderende afvoeren in de Rijn en de Maas onder invloed van de klimaatverandering. Voor de provincie Utrecht is het erg belangrijk om te weten wat het effect van veranderende afvoeren in de Rijn op de afvoer in de Lek is. Dit geldt zowel voor de hoogwatersituatie als voor de laagwatersituatie.

In een hoogwatersituatie bestaat het risico voor grote delen van dijkkring 45 (Gelderse Vallei), dijkkring 44 (Kromme Rijn) en Dijkkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard). De kans op wateroverlast neemt waarschijnlijk toe in de Gelderse Vallei, nabij en in Amersfoort en Leusden, waar het Valleikanaal uitmond in de Eem. Vooral als ook het waterpeil in het Eemmeer stijgt.

Bij een laagwatersituatie is water uit de Lek nodig voor de zoetwaterbehoefte in het veenweide gebied en voor de landbouw in de Gelderse Vallei. Maar krijgt de Lek dan wel voldoende water om aan deze behoeften te voldoen?

Ook binnen een dijkkring zijn er grote verschillen in overstromingsrisico. De verschillen zijn zo groot dat daarmee rekening dient te worden gehouden bij de keuze voor woningbouwlocaties. Er kunnen vier risicozones worden onderscheiden, afhankelijk van hoe diep en hoe snel een gebied overstroomt: diep/snel, ondiep/snel, diep/laat en ondiep/laat.

Een ruimtelijke waterstrategie begint dus met een adequate risicozonering van een dijkkringgebied. Het verdient in dit kader aanbeveling te komen tot een nationale risicokaart, waarop voor ieder gebied in Nederland wordt nagegaan hoe diep en hoe snel een gebied kan overstroomen, en hoe groot de kans op zo'n overstroming is (RPB rapport Overstromingsrisico als ruimtelijke opgave).

3.1.2 *Prioritering bij lage rivierafvoer*

Naar aanleiding van de droge zomer in 1976 is het eerste landelijke droogtebeleid ontstaan. Onderdeel van het droogtebeleid vormt de verdringingsreeks (landelijk), waarmee de verdeling van water wordt geregeld in situaties van watertekort. Aanhoudende droogte in 2003 resulteerde in de behoefte om een regionale verdringingsreeks vast te stellen. Met de Verdringingsreeks Amstelland is voor een groot deel van Utrecht de prioritering voor de waterverdeling bij watertekort vastgelegd. Bij de regionale verdringingsreeks krijgt de stabiliteit van waterkering de eerste prioriteit, boven processen van klink en zetting en onomkeerbare schade voor natuur. Daarna volgen drinkwatervoorziening en energievoorziening etc. Zie hiervoor de Verdringingsreeks Amstelland.

3.1.3 *Veranderingen regionale watersystemen*

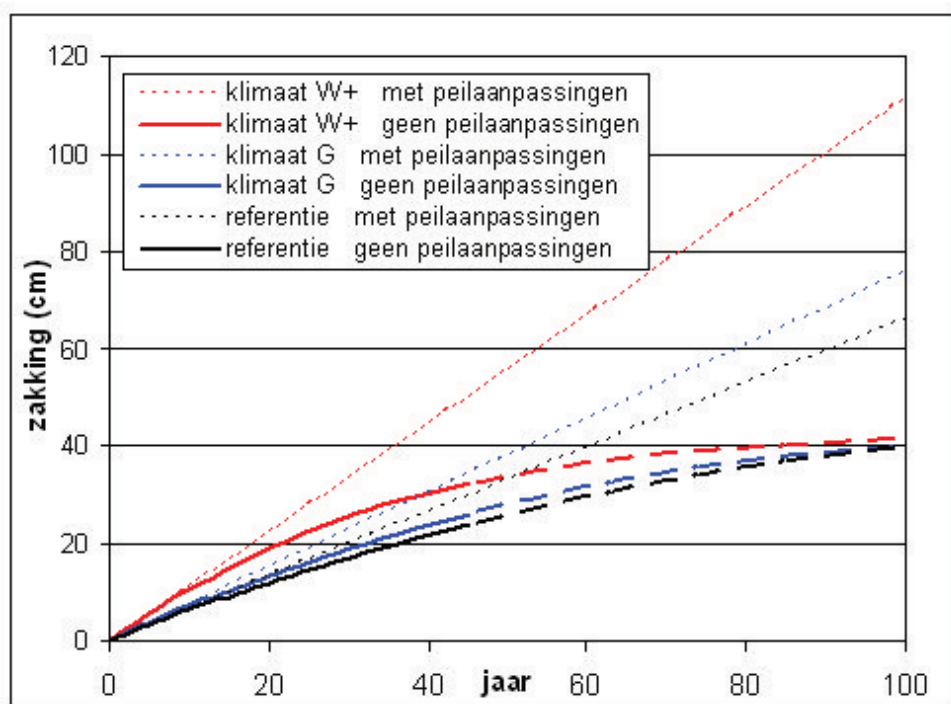
Klimaatveranderingen hebben gevolgen voor de regionale watersystemen. Het patroon van hydrologische veranderingen in ruimte en tijd is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de regionale systemen en kan zonder gebruik van regionale hydrologische modellen moeilijk worden gekwantificeerd. De hierna volgende analyse is gebaseerd op een kwalitatieve analyse van onder andere de resultaten van een studie van TAUW (2007).

Vrij-afwaterende gebieden

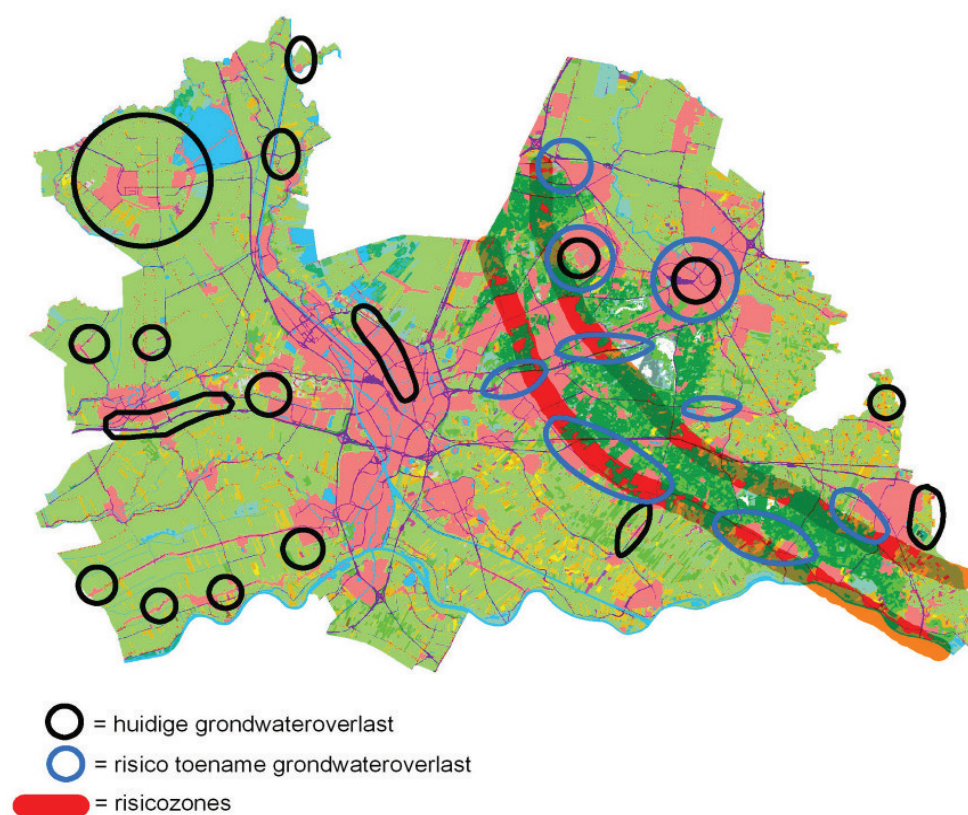
Door verandering in neerslag en verdamping verandert de grondwateraanvulling waardoor de grondwaterstanden en de grondwaterstroming veranderen. Daardoor zullen de afvoeren naar sloten en beken veranderen. Door de toename van de droogteschade in de landbouw bij vooral de +-scenario's kunnen de grond- of oppervlaktewateronttrekkingen voor beregening toenemen.

De vrij-afwaterende gebieden van Utrecht zijn sterk afhankelijk van het 'geheugen' van het hydrologische systeem.

Gebieden met intensieve ontwatering (de provincie Utrecht, exclusief de Utrechtse Heuvelrug, de kwelzone aan de rand van de Utrechtse Heuvelrug en diepe polders) die niet worden gevoed vanuit hoger gelegen gebieden volgen de seizoensveranderingen: meer neerslag in de winterperiode betekent hogere grondwaterstanden en meer afvoer in de winter; een hoger neerstagtekort in het zomerhalfjaar betekent lagere grondwaterstanden en minder afvoer in de zomer. Vooral bij het W+-scenario neemt de dynamiek van het hydrologisch systeem in dit



Figuur 3.4 Maailvelsdsaling als gevolg van peilaanpassingen



Figuur 3.5 Geschetste kaart van grondwateroverlast in de provincie Utrecht

type gebieden aanzienlijk toe. Bij het G-scenario resulteert de hogere neerslag in hogere grondwaterstanden en hogere afvoeren.

In gebieden zonder zichtbare ontwatering zoals de Utrechtse Heuvelrug zal bij vooral het W+-scenario's de grondwateraanvulling afnemen waardoor de grondwaterstanden aanzienlijk kunnen dalen. Daardoor zal de grondwaterstroming naar kwelgebieden afnemen. Ook bij het G+-scenario is dit effect aanwezig zij het in mindere mate, bij de W- en G-scenario's overheerst de toename van de neerslag de toename van de verdamping waardoor de grondwaterstanden zullen stijgen en de afvoeren zullen toenemen.

In gebieden met intensieve ontwatering die gevoed worden vanuit hoger gelegen gebieden (zoals in de kwelzone aan weerszijden van de Utrechtse Heuvelrug) neemt bij vooral de +-scenario's de kwelintensiteit af waardoor de grondwaterstanden in de zomer verder uitzakken en de kans op droogval van beken toeneemt. In de winter zullen de grondwaterstanden wat lager blijven waardoor de afvoeren ook enigszins lager worden omdat de bodem droger de winter ingaat en de afname van de kwel groter is dan de toename van de neerslag. Bij het G- en W-scenario neemt de kwel toe. In combinatie met de hogere neerslag in de winter zullen den winter grondwaterstanden hoger zijn en is er meer afvoer.

Peilbeheerste gebieden

In de peilbeheerste rivierklei- en veengebieden heeft een toename van de neerslag een gering effect op de hoogste grondwaterstanden. Wel kunnen door de goede capillaire eigenschappen de grondwaterstanden in vooral het W+-scenario enkele decimeters worden verlaagd maar dat heeft een gering effect op de regionale grondwaterstroming. Het heeft echter wel een lokaal effect.

Een indirect effect van een verlaging van de grondwaterstanden in de zomer is dat in veenweidegebieden de snelheid van veenafbraak toeneemt. Dit effect wordt aanzienlijk versterkt door de hogere temperaturen. Volgens figuur 3.4 (ontleend aan Jansen e.a, 2007) tot wel 60% bij het W+-scenario, indien de maaiveldsdaling wordt gevolgd door peilaanpassing (handhaving drooglegging).

Daardoor moeten vaker peilaanpassingen plaats vinden en/of vindt er een verslechtering plaats van de ontwateringssituatie. In beide gevallen betekent dat extra kosten voor het waterbeheer.

3.1.4 Waterkwaliteit

Blauwalg

In alle scenario's neemt de temperatuur toe, hiermee neemt ook de watertemperatuur toe. De omstandigheden voor blauwalgen zijn hierdoor beter. De toenemende droogte in de +-scenario's zorgt voor meer stilstaand water, waardoor de blauwalgen nog beter zullen gedijen. De intense buien, die in alle scenario's zullen vallen, kunnen de blauwalg mogelijk uitspoelen, maar door opvolgende droge periodes zullen blauwalgen weer toenemen. Bovendien zorgt afspoeling van nutriënten weer voor betere omstandigheden voor blauwalgen. Gevolg van deze blauwalgtoename is dat zwemwaterlocaties vaker gesloten zullen worden. Daarnaast zorgt blauwalg voor stankoverlast in stadswateren en jachthavens.

Riooloverstort

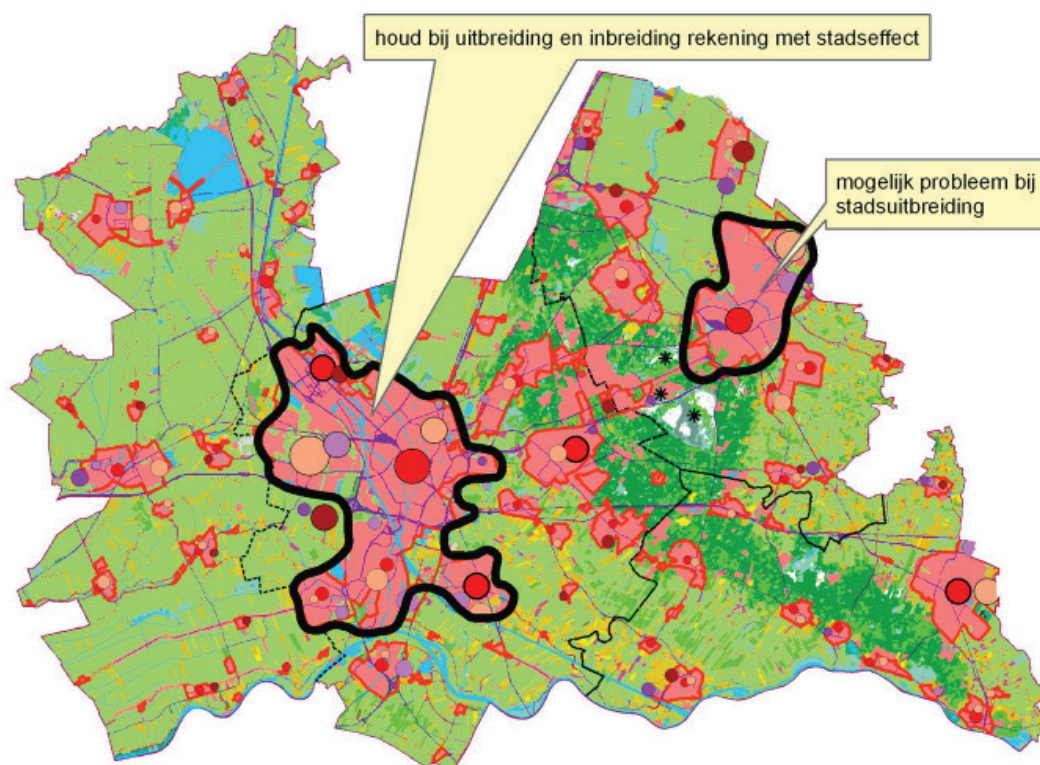
Bij intense buien stroomt in korte tijd een grote hoeveelheid water in het riool. Door een toename aan intense buien én een toename van de intensiteit van de buien zal het vaker voorkomen dat het riool deze hevige neerslag niet aan kan. Via het riooloverstort wordt dit overtollige water geloosd op sloten of vijver. Bij gemengde rioolstelsel (die in verharde gebieden, gebouwd voor 1970, worden gebruikt) is dit water vermengd met afvalwater. Hierdoor zal bijvoorbeeld de e.coli bacterie meer voorkomen. De waterkwaliteit zal dus afnemen.

Drinkwatervoorziening

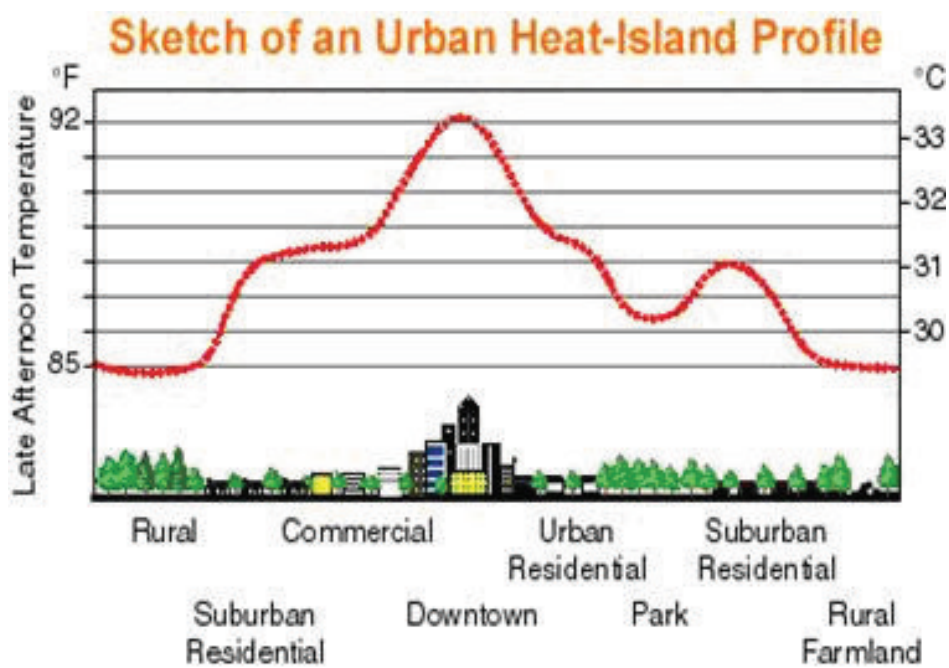
Er bestaat een verband tussen temperatuur en drinkwatervoorziening. Warme, droge zomers leiden tot hogere watervraag. Er zullen zich door droogte en opwarming meer pieken voordoen in de watervraag. In de toekomst zal de drinkwaterproductie mogelijk omhoog moeten. Om dit te voorkomen zal meer aandacht geschonken moeten worden aan waterbesparing.

Bij droogte wordt wel water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal gebruikt om druk op de pijpleiding van Nieuwegein naar Kennemerland te houden. Daarnaast lost de electriciteitscentrale bij Utrecht koelwater op het Amsterdam-Rijnkanaal. Het water mag hiervoor niet te warm zijn. Het kanaal moet daarnaast een continue stroming van 10 m³/s hebben.¹

¹ Regionale verdringingsreeks Amstelland



Figuur 3.6 Geschetse kaart van het stadseffect in de provincie Utrecht



Figuur 3.7 Schematische weergave van het temperatuurprofiel van een 'Urban Heat Island'.

3.2 Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In veel steden zal het huidige riool- en watersysteem niet berekend zijn op de toename van hevige buien.

- Het stedelijk gebied zal vaker extreme buien te verwerken krijgen, dit leidt mogelijk tot water op straat.
- In het stedelijk gebied leidt daling van grondwaterstanden bij de +-scenario's plaatselijk tot verdergaande paalrot in de historische binnensteden.
- Hittestress zal als gevolg van een stijgende gemiddelde temperatuur en het vaker voorkomen van extreme temperaturen toenemen.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.2.1 Wateroverlast in stedelijk gebied

In alle scenario's neemt de intensiteit van de hevigste buien toe. Het aantal dagen met meer dan 15 mm neerslag neemt in alle scenario's toe, met name in het W-scenario. In veel stedelijke gebieden zijn de rioolstelsels niet ingericht op hevige buien.

De klimaatveranderingseffecten versterken de door de commissie WB21 geformuleerde opgaven voor het omgaan met water in het stedelijk gebied.

Het watersysteem en het rioolstelsel zijn ontworpen op bepaalde hevige buien. Door de toename en intensiteit van dit soort buien kan het huidige watersysteem (riolering + oppervlaktewater) in bebouwd gebied het water niet aan. Hierdoor kan water op straat komen te staan met als gevolg overlast of zelfs schade aan woningen en winkels. De afvoercapaciteit van het transportsysteem (riolering + watergangen) kan niet eenvoudig vergroot worden. Waterberging creëren buiten de stad is daarom vaak geen afdoende oplossing voor de problemen in de stad. Daarnaast zal de vuilemissie uit gemengde rioolstelsels toenemen als de neerslagintensiteit toeneemt en het rioolsysteem niet wordt aangepast, zie paragraaf 3.1.4.

De toename van wateroverlast die we op dit moment ervaren wordt vergroot door de toename van verhard oppervlak. Zoals uit de Welvaart en Leefomgeving en Nederland Later studies (CPB et al., 2006; MNP, 2007) blijkt zal dat aandeel verhard oppervlak in de toekomst alleen maar verder toenemen.

Adaptatieopgave

De afvoercapaciteit van de transportsystemen is niet eenvoudig te vergroten, daarom is meer ruimte nodig in de 'haarvaten' van het stedelijke watersysteem. Het water moet opgevangen kunnen worden daar waar het valt. Dat kan door lokale berging van water of infiltratie in de bodem. De opgave ligt dus in de openbare en particuliere ruimte.

Om te voorkomen dat de wateroverlast verder wordt versterkt moet bij het herstructureren van wijken en bij de planning van nieuwe wijken rekening worden gehouden met de stedelijke wateropgave van de toekomst. Inpassing van (tijdelijke) waterberging (bijvoorbeeld wadi's) in de leefomgeving biedt daarbij kansen voor vergroting van de omgevingskwaliteit in de stad. Daarbij vermindert het aanleggen van gescheiden rioolstelsels het aantal riooloverstorten. Tijdens herstructurering van een wijk kan dit direct mee worden genomen.

Problemen met rioolsystemen doen zich nu voor in steden als Woerden, Utrecht en Amersfoort. In welke mate deze problemen groter gaan worden door klimaatverandering, en welke rioolsystemen nog meer tot problemen zullen gaan leiden is op dit moment niet bekend. Deze vraag zal in een vervolgtraject, samen met waterschappen moeten worden opgepakt.

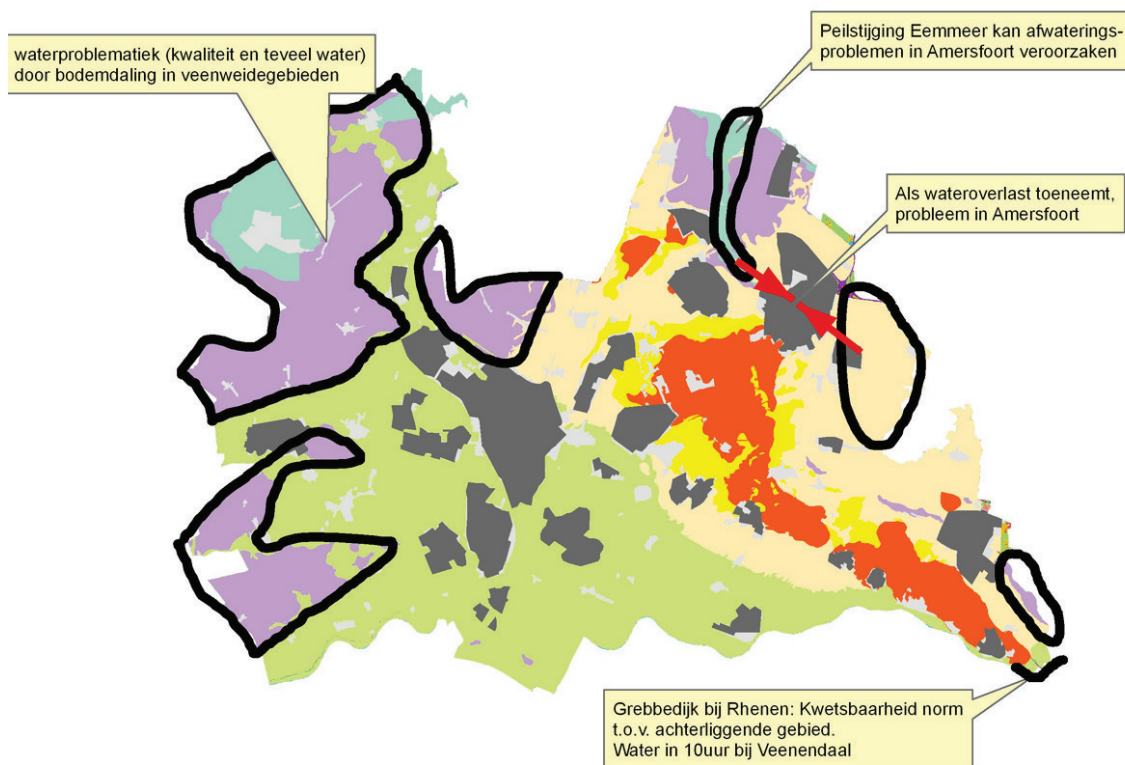
3.2.2 Watertekort in de stad

Paalrot in historische binnensteden op klei

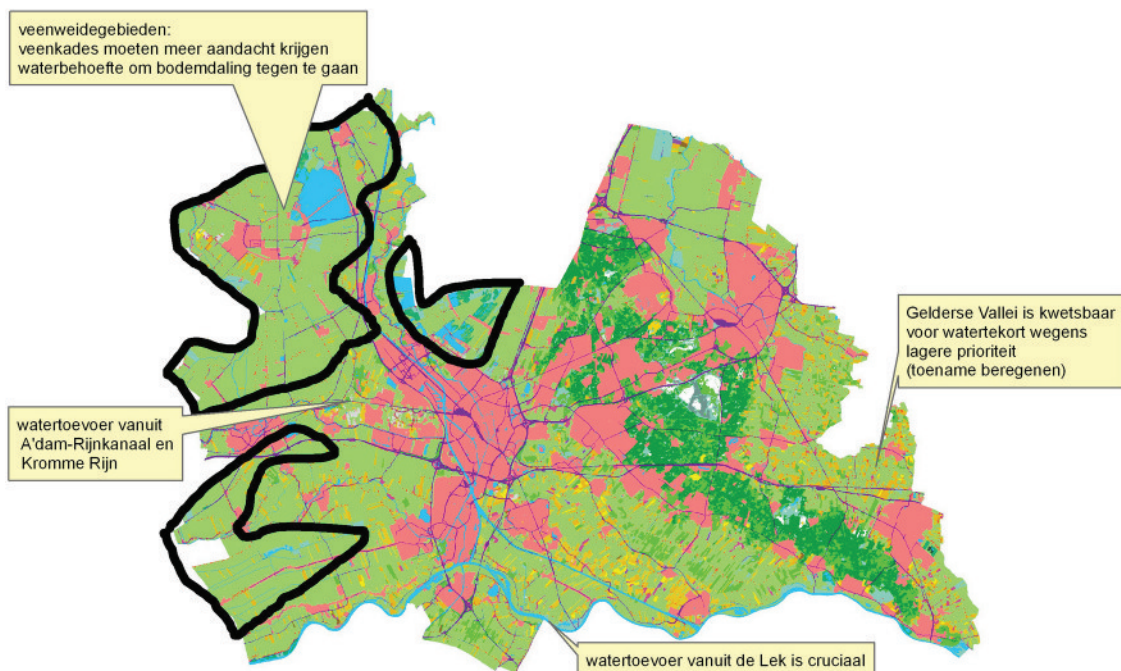
Door lagere grondwaterstanden als gevolg van structureel neerslagtekort kunnen de paalkoppen in oude binnensteden worden aangetast. Daarnaast heeft ook de stedelijke groenvoorziening last van het watertekort.

Het ene moment kan de riolering het water niet aan, vervolgens is het een tijd droog en ontstaat paalrot. Deze periodes kunnen aan elkaar worden gekoppeld. Als het water bij overlast wordt vastgehouden in het stedelijk watersysteem kan het effect van droogte verminderd worden. Dit volgens de WB21-trits: vasthouden, bergen, afvoeren.

In oude binnensteden, zoals Woerden, Mijdrecht en Spakenburg, die gebouwd zijn op een kleibodem in lager Nederland speelt dit probleem. In samenwerking tussen gemeente, waterschap en provincie zullen hier passende oplossingen voor gevonden moeten worden. Dit is een zeer lokaal probleem



Figuur 3.8 Geschetse kaart van wateroverlast door oppervlaktewater in de provincie Utrecht



Figuur 3.9 Geschetse kaart van het risico van watertekort in de provincie Utrecht. De waterkwaliteit en temperatuurstijging van het ARK-water kan voor problemen zorgen. Door lagere afvoeren van de Rijn neemt de kans op onvoldoende wateraanvoer toe.

3.2.3 Hittestress in de stad²

Hittestress als gevolg van stijgende gemiddelde temperatuur en het vaker voorkomen van extremen zal toenemen. Het is echter moeilijk hier meetgegevens over te verzamelen, wat het moeilijk te voorspellen maakt. De gemiddelde temperatuur in de stad is vaak hoger dan erbuiten. Dit kan oplopen tot 5 °C.

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter geen metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte-eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen en dergelijke. Deze warmte wordt 's nachts vertraagd weer afgegeven. De grootte van het temperatuurverschil tussen de stad en het omringende platteland is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Voor een stad als Utrecht bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstilte, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5 °C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht ca. 1,1 °C warmer dan het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag.

Adaptatieopgave

Bij het (her)ontwerp van steden en uitbreiding van steden moet rekening worden gehouden met gemiddeld hogere temperaturen. Mogelijk kunnen er via de ruimtelijke planning, en bouwtechnische aanpassingen en groenbeheer maatregelen getroffen worden die voorkomen dat steden zich als warmte-eilanden ontwikkelen.

3.2.4 Luchtkwaliteit

Weersomstandigheden zoals windrichting en zonneschijn bepalen in belangrijke mate de luchtkwaliteit door hun invloed op de aanvoer en vorming van verontreinigende stoffen. Zo vallen periodes met zomersmog (hoge ozonconcentraties) vaak samen met hittegolven (veel zonneschijn). Bij een toename van het aantal tropische dagen (maximum temperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in Nederland zal vooral in het W+ scenario bij gelijkblijvende emissies de kans op zomersmog groter worden. In de winter neemt de kans op wintersmog af in de G+ en W+ scenario's, doordat vaker relatief schone lucht wordt aangevoerd uit westelijke richting. (Bron: KNMI, 2006. Brochure klimaatscenario's)

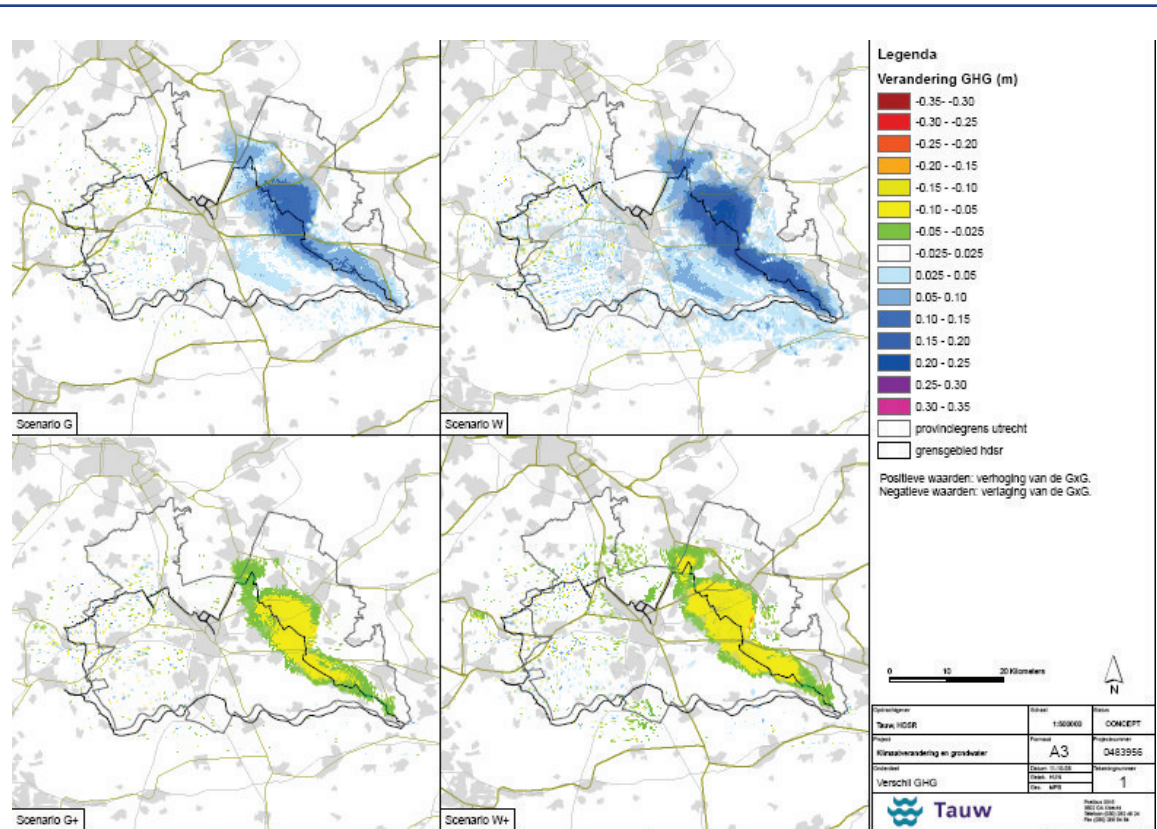
3.3 Landelijk gebied

In deze paragraaf worden de effecten, die in het landelijk gebied in zijn geheel optreden, beschouwd. In paragraaf 3.4 en 3.5 worden respectievelijk landbouw en natuur apart behandeld. In het landelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

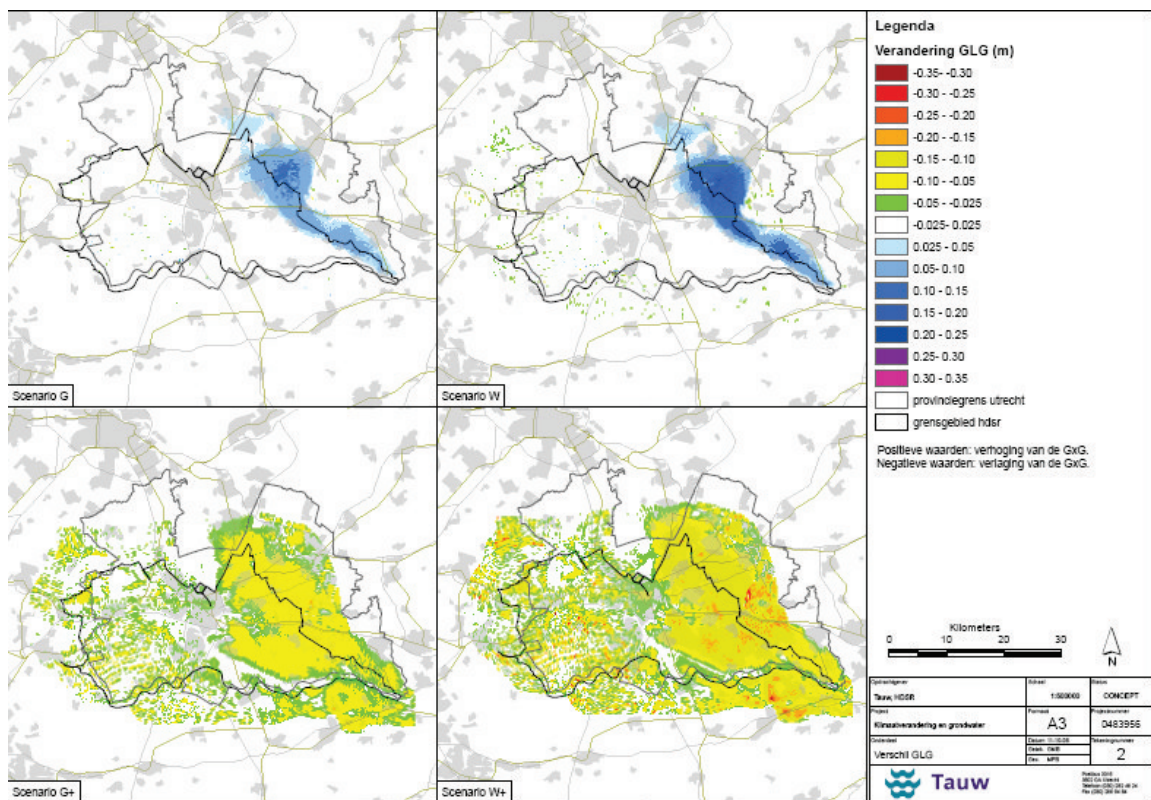
- Het landelijk gebied zal vaker wateroverlast krijgen.
- In het landelijk gebied leidt daling van de grondwaterstand in de zomer in de +-scenario's tot een grotere vraag naar oppervlaktewater voor peilhandhaving, beregening en doorspoeling voor het tegengaan van verzilting. Tegelijkertijd stijgt de behoefte aan oppervlaktewater voor andere doeleinden dan landbouw (koelwater, in stand houden natuurwaarden).

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

² Zie voor een uitgebreidere beschrijving van het hitte-eilandeffect bijlage 3



Figuur 3.10 Verandering van het GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) voor de vier KNMI'06-scenario's



Figuur 3.11 Verandering van het GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) voor de vier KNMI'06-scenario's

3.3.1 *Wateroverlast Landelijk gebied*

Wateroverlast landelijk gebied: winter

De 9-daagse neerslagsom zal toenemen. Hierdoor zal het landelijk gebied, met name in de winter, meer wateroverlast krijgen.

Veel waterschappen zijn bezig om vóór 2015 hun watersysteem WB21-proof te maken. In veel gevallen wordt hierbij overgedimensioneerd. De KNMI-scenario's geven aan dat er 10-20% meer water te verwerken zal zijn ten opzichte van het midden-scenario van WB21. De adaptatiestrategie van WB21 moet versterkt ingezet worden. Bij overdimensionering zal deze extra hoeveelheid water voorlopig nog goed te verwerken zijn. De grootte van het overlast is mede afhankelijk van de hoeveelheid verhard oppervlak in het gebied. Bij aanwezigheid van veel verhard oppervlak zullen waterbergingsvoorzieningen vaker worden gebruikt.

Adaptatieopgave

De zoekgebieden voor waterberging die voor het behalen van de WB21-doelen zijn aangewezen, handhaven; deze zullen voor 2050 ontoereikend zijn. In gebieden met veel verhard oppervlak (kassen, polders in binnensteden) zullen innovatieve oplossingen nodig zijn om meer tijdelijk bergen bij de bron versterkt door te voeren (denk aan extra berging in regenwaterbassins bij en onder kassen).

Wateroverlast landelijk gebied: zomer

Extreme buien in de zomer worden extremer. Hierdoor zal er meer wateroverlast zijn in het groeiseizoen. Er zullen meer lokale intense buien voorkomen, die vaker leiden tot water op het land of in de wortelzone omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem en/of de ontwateringcapaciteit onvoldoende is. Bij grasland leidt dit tot het verloren gaan van snedes, een deel van de grasopbrengst, en bij bouwland tot geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Ook recreatieterreinen (bijvoorbeeld campings of evenemententerreinen) zullen vaker last hebben van wateroverlast.

3.3.2 *Watertekort in het landelijk gebied*

Alle scenario's laten een opwarming zien in 2050. Deze opwarming varieert in de zomer van 0,9 °C tot 2,8 °C, ten opzichte van het klimaat in 1990. De opwarming heeft een verdampingstoename van 3% tot 15% als gevolg. In het W- en G-scenario neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar toe. Dit geeft aanleiding tot aanpassingen die in het verlengde liggen van maatregelen die in de huidige situatie ook worden overwogen. In de G+ en W+ scenario's neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar echter af. In combinatie met de toename van de verdamping laten de W+ en G+ scenario's in de zomer een aanzienlijke toename van het neerslagtekort zien. Het optreden van dit groter structureel neerslagtekort in het zomerhalfjaar is het adaptatievraagstuk dat onder ogen dient te worden gezien. Dit leidt tot een groter watertekort, wat in combinatie met de zeespiegelstijging ook tot een toename van de verziltingsproblematiek kan leiden.

Adaptatieopgave

Het optreden van dit groter structureel neerslagtekort in het zomerhalfjaar is het adaptatievraagstuk dat onder ogen dient te worden gezien. Dit leidt tot een groter watertekort, wat in combinatie met de zeespiegelstijging ook tot een toename van de verziltingsproblematiek kan leiden.

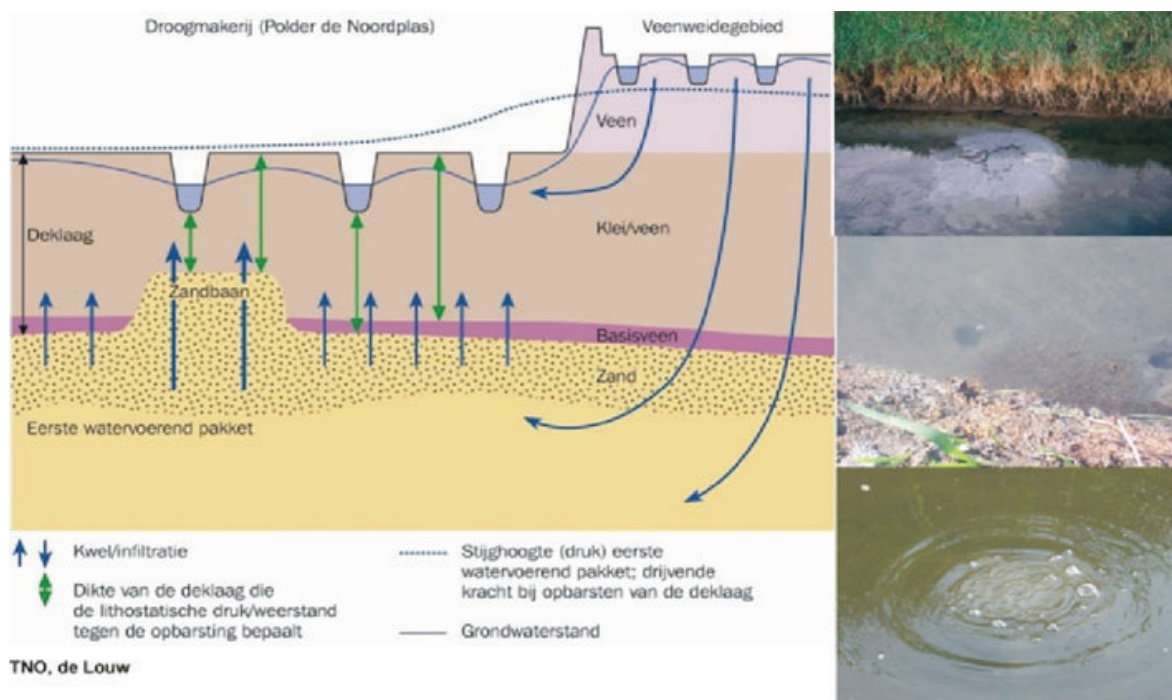
Er zal in de toekomst, in het W+ scenario, vaker een situatie van watertekort optreden. Via KWA's (Kleinschalige Water Aanvoervoorzieningen) is het mogelijk om water aan te voeren naar gebieden met watertekort. Met de KWA-Midden Holland kan bijvoorbeeld zoet water uit het Amsterdam-Rijnkanaal, respectievelijk de Lek worden aangevoerd of doorgevoerd via het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden ten behoeve van de beheergebieden van Hoogheemraadschappen van Delfland, Rijnland en Schieland en de Krimpenerwaard. Of de KWA-Midden Holland in de toekomst zal blijven functioneren zal afhangen van het beschikbare water dat kan worden ingelaten.

3.3.3 *Toename interne verzilting in het landelijk gebied*

Bij lage grondwaterstanden neemt de kweldruk toe. Het zoute water neemt als het ware de plaats in van het zoete water. Daarnaast stijgt de zeespiegel. Hierdoor reikt zoutindringing via de riviermond steeds verder landinwaarts én stijgt eveneens de kweldruk.

In veel polders in laag-Nederland (westelijk Utrecht) treedt kwel op. De gevolgen van deze ‘natuurlijke’ verzilting worden tegengegaan door met zoet water ‘door te spoelen’. Vanuit de rivieren en het IJsselmeer wordt op verschillende plaatsen zoet water ingelaten. Bij langdurige droogte is onvoldoende water beschikbaar om de verzilting tegen te gaan. De afvoer van de Rijn is laag en de vraag vanuit andere functies neemt toe.

Op dit moment moeten waterschappen al grote inspanningen doen om verzilting tegen te gaan. Verzilting kan (grote) gevolgen hebben voor de landbouw, bontenteelt, glastuinbouw en natuurgebieden. Door het watertekort zal de afbraak van veen sneller verlopen, waardoor het maaiveld daalt. Door deze bodemdaling kunnen op sommige plekken zoute wellen ook eerder opbarsten (zie figuur 3.12).



Figuur 3.12 Brakke kwel in een polder die geconcentreerd uittreedt via zogenoemde wellen; verticale doorsnede met schematische voorstelling van de grondwaterstroming (links) en drie voorbeelden uit de praktijk (rechts)

Adaptatieopgave

In toenemende mate ontstaat de vraag of verzilting op bepaalde plaatsen moet worden toegelaten en de gevoelige functies zich moeten aanpassen. Het is hierbij van belang of permanente verzilting wordt nagestreefd. Dit is namelijk beter voor de ecologie dan incidentele verzilting. Permanente verzilting is echter moeilijker te realiseren.

3.4 Landbouw

In de landbouw zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

- Door een grote piekbelasting zal de landbouw meer last hebben van incidentele natschade.
- Verdroging kan een dusdanig effect hebben op de landbouw dat landbouwbedrijven vanwege watertekort op andere gewassen over moeten stappen.
- Het watertekort en de temperatuurstijging bieden kansen voor andere landbouwgewassen.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.4.1 Vernatting: winter

Structurele natschade in de grondgebonden landbouw

In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag per winterhalfjaar toe met 4% in het G-scenario tot 14% in het W+-scenario. Dit kan leiden tot hogere grondwaterstanden en daardoor tot meer natschade. Een maat voor structurele natschade is de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG). De effecten van alle 4 klimaatscenario's op de GHG, zoals door TAUW (2007) berekend, zijn weergegeven in figuur 3.10.

Vooral op de Utrechtse Heuvelrug zijn de effecten aanzienlijk: een verhoging bij het G- en W-scenario en een verlaging bij de +-scenario's. Dit laatste als gevolg van een na-ijling van de verlaging van de grondwaterstanden in de zomer. Maar omdat de grondwaterstanden diep zijn heeft dit geen gevolgen voor landbouw en bosbouw. In de rest van de provincie zijn de effecten beperkt. Voor alle scenario's geldt bovendien dat door aanpassing in de drainageafstand de effecten op gedraineerde gronden goed kunnen worden opgevangen. Drainage wordt om de 20 jaar vervangen, geleidelijk aan kan dan de drainageafstand worden vervangen.

Incidentele natschade in de grondgebonden landbouw

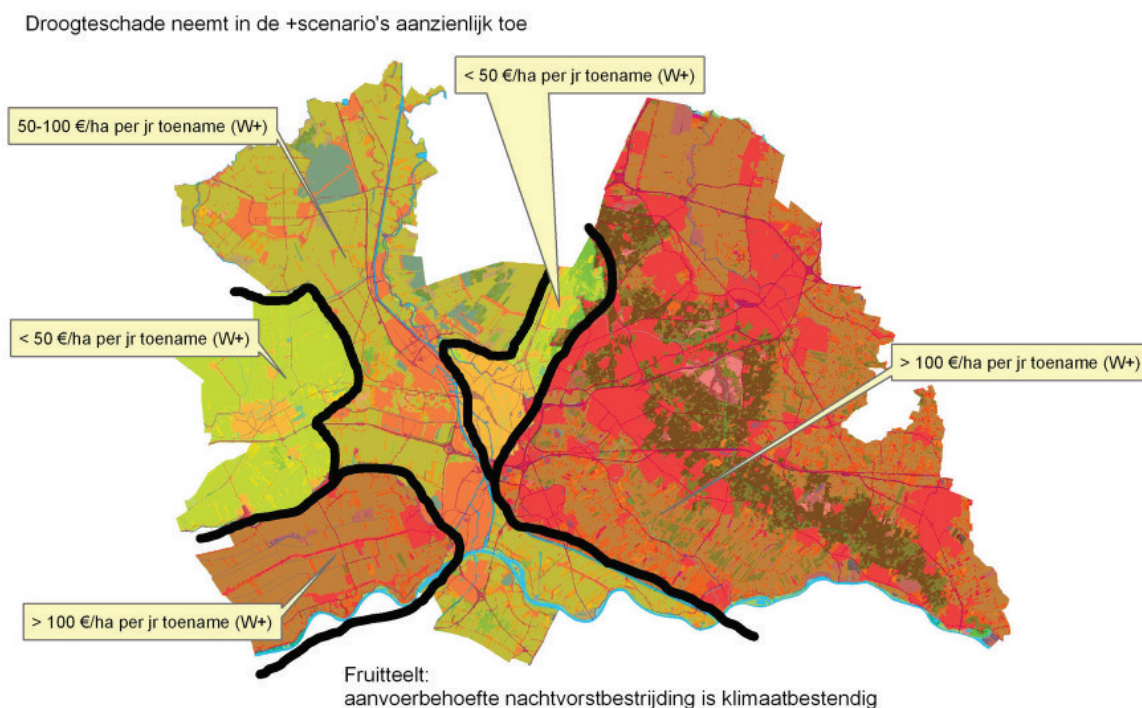
Door toename van de hoge neerslagpieken zal er frequenter een situatie ontstaan dat water op het land komt te staan en oppervlakkig afstroomt. Buiten het groeiseizoen is dat voor de landbouw niet zo bezwaarlijk maar de kans op piekbelasting van nutriënten op het oppervlaktewater nemen wel toe, vooral bij het W-scenario.

3.4.2 Droogteschade grondgebonden landbouw

De verandering van neerslag en de toename van de verdamping in het zomerhalfjaar leiden vooral bij de +-scenario's tot een toename van het neerslagtekort, met meer droogteschade tot gevolg.

Een indicatie voor de effecten op de droogteschade is de verandering van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). In figuur 3.11 zijn de door TAUW (2007) berekende veranderingen voor de 4 klimaatscenario's gegeven.

Bij de +-scenario's treedt er een verlaging op van de GLG. Een indicatie van de verandering in droogteschade is wel te ontleen aan de actualisatie van de Droogtestudie (Rijkswaterstaat, 2006). Voor de landgebruikssituatie en de prijzen in 2050 zijn voor de 4 klimaatscenario's de jaarlijkse verwachtingswaarden van de droogteschade per district berekend. In figuur 3.13 is de toename bij het W+-scenario ten opzichte van het G-scenario per ha landbouwgebied weergegeven.



Figuur 3.13 Droogteschade in de landbouw. Het W+-scenario ten opzichte van het G-scenario

De droogteschade kan derhalve aanzienlijk toenemen. In de veengebieden is de toename van de droogteschade minder omdat door de hoge grondwaterstanden meer nalevering vanuit het freatisch pakket mogelijk is. Hierbij is uitgegaan van handhaving van de bestaande wateraanvoer- en beregeningsmogelijkheden.

Adaptatieopgave

Door gewassen te verbouwen die minder water nodig hebben, kan met droogte om worden gegaan.

3.4.3 Ziektes in de landbouw

Niet alle soorten die door de veranderde klimatologische omstandigheden een prettig leefklimaat krijgen in Nederland zijn even welkom. Het is mogelijk dat sommige schimmels en virussen of ongedierten die tot nu toe niet in Nederland voorkwamen een grotere overlevingskans krijgen. Maar ook schimmels, virussen en ongedierten die in het huidige klimaat wel voorkomen, maar in de winter weinig overlevingskansen hebben, kunnen in de toekomst meer problemen veroorzaken, als ze zich ook in de winter verder kunnen vermenigvuldigen.

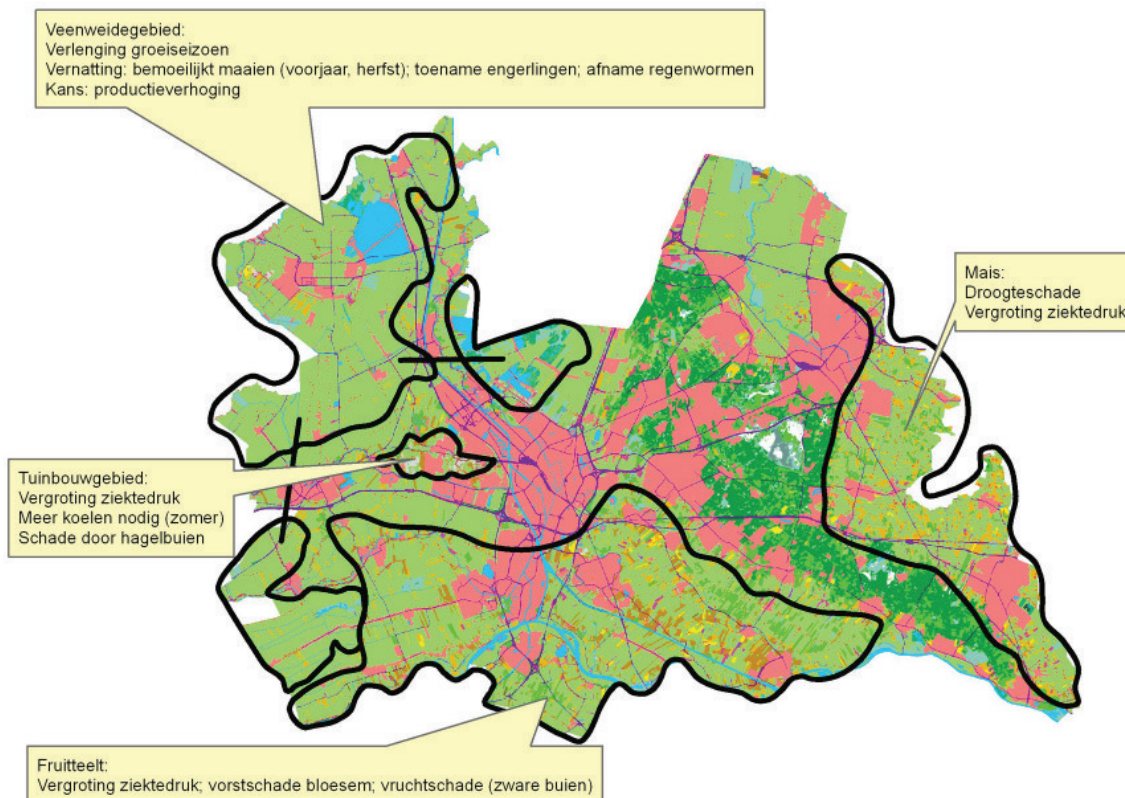
De gevoeligheden van de landbouw voor deze ontwikkelingen zijn afhankelijk van het type landbouw en gewas. Overigens is het goed om te realiseren dat intensieve handelsrelaties in de landbouw, en de intensiteit van de landbouw ook belangrijke oorzaken zijn van het voorkomen van (klimaatvreemde) ziekten en de snelheid waarmee die zich kunnen ontwikkelen. Door de verandering van het klimaat krijgen deze echter een grotere kans om zich in Nederland verder te ontwikkelen.

Veenweidegebieden

Door toenemende temperaturen en zachtere winters zal de duur van het groeiseizoen naar verwachting toenemen. Dit kan productiewinst opleveren.

De gevolgen van vernatting in het voorjaar en herfst kunnen zijn:

- Onvoldoende mogelijkheden om te maaien
- Toename van engerlingen en afname van de hoeveelheid regenwormen



Figuur 3.14 Geschetste kaart van ziekten in de landbouw als gevolg van klimaatverandering

Tuinbouwgebied

Temperatuursverhoging vergroot de ziektedruk en zomers de noodzaak tot meer koelen. Extremen in de zomer (hagel, etc.) kan schade aan kassen vergroten.

Boomgaarden/fruitteelt

Temperatuursverhoging en zachtere winters vergroot de ziektedruk.
Vervroeging van de bloei kan vorstschade opleveren. Extreme buien en hagel veroorzaken vruchtschade.

Mais

Dit gewas is zeer gevoelig voor droogte die in de +-scenario's in de zomer toeneemt. Toenemende vernatting en zachtere winters verhogen de ziektedruk (zoals maiswortelboorder). In alle scenario's neemt de vernatting in de winter toe.

In het algemeen vergroot temperatuursverhoging de kansen voor introductie van nieuwe gewassen, zoals druiven, zonnebloemen, etc.

3.5 Natuur

Voor de natuur zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

- Biodiversiteit: hogere gemiddelde temperatuur leidt tot verschuivingen in flora en fauna. Om deze verschuivingen mogelijk te maken is een goed werkende en complete EHS noodzakelijk.
- Een belangrijk gevolg van de verdroging en verzilting is dat natuurgebieden ten gevolge van de verstoringen die hierdoor worden veroorzaakt in toenemende mate te maken krijgen met verschuivingen in de soortensamenstelling.

3.5.1 Natuur en klimaatverandering

Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie van soorten, de fenologie van soorten, de geografische verspreiding van soorten en genetisch adaptatie. Al deze veranderingen zullen leiden tot veranderingen in functionele relaties tussen soorten, mede ook door abiotische veranderingen. Het gevolg zal zijn dat de soortensamenstelling en structuur van ecosystemen zal veranderen en ook het functioneren van ecosystemen.

Ruimtelijke adaptatiestrategieën

Het belangrijkste uitgangspunt voor ruimtelijke adaptatie is: het zo goed mogelijk inspelen op de mogelijkheden die klimaatverandering biedt voor (nieuwe) soorten en ecosystemen. Daarnaast zijn ze gericht op het vergroten van de veerkracht en herstelvermogen van soorten en ecosystemen. Een overzicht van de adaptatiestrategieën wordt hieronder gegeven.

In het algemeen geldt dat de uitvoering van de EHS en de Robuuste Verbindingen een goede strategie vormen voor adaptatie van het landschap voor natuur. Klimaatverandering maakt het echter nodig dat er meer maatregelen worden genomen

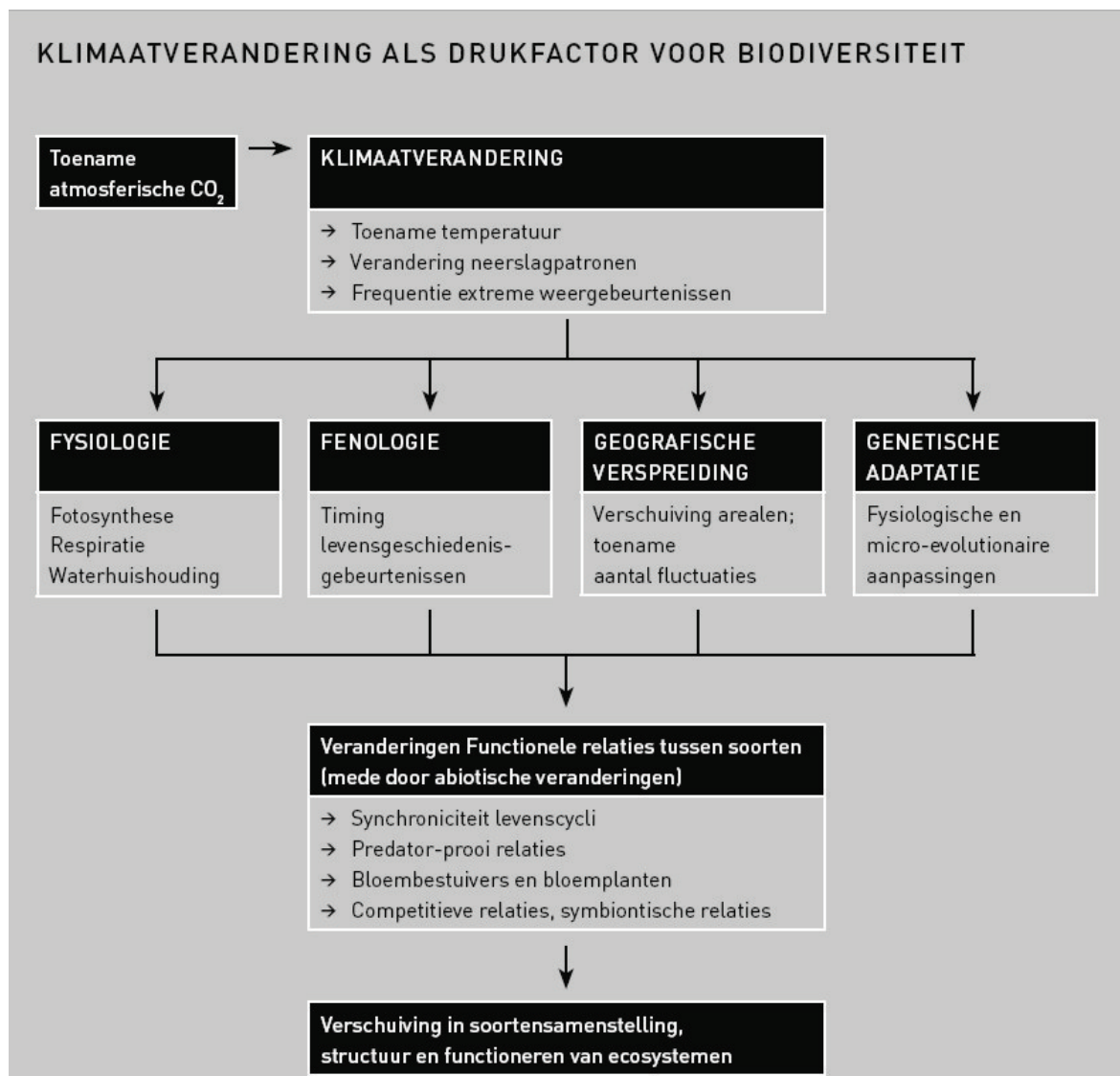
Overzicht van adaptatiestrategieën:

1. Verbinden natuurgebieden
2. Vergroten van natuurgebieden
3. Meer interne heterogeniteit (gradienten) binnen natuurgebieden
4. Verbeteren abiotische condities binnen natuurgebieden
5. Multifunctionele klimaatmantel rondom natuurgebieden.
 - abiotiek, - verbinden (groen-blauwe dooradering)
6. Natuur onderdeel Integrale adaptatie
 - kustverdediging, ruimte voor rivier

Adaptatiestrategieën voor de provincie Utrecht

- Uitvoeren van de natte as als robuuste verbinding: Natte as/groene ruggengraat en verbinden van de Vechtplassen aan de natte as (strategie verbinden).
- De Robuuste verbinding tussen bossystemen van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe uitvoeren

- (strategie verbinden).
- Rivieren zijn belangrijke natuurgebieden voor riviernatuur, en kunnen tevens dienen als een corridor voor binnenkomende soorten; soorten waarvoor het klimaat in Nederland nu niet of weinig geschikt is, maar in de toekomst geschikter zal worden. De Lek kan hierin een functie vervullen.
- Houdt rekening met veranderende hydrologische omstandigheden; indien nodig dienen er binnen of in het omringende gebied maatregelen genomen te worden.
- Verbinden is goed vanuit het oogpunt van connectiviteit van habitat en duurzaamheid, maar minder hydrologische isolatie kan een probleem geven voor de abiotiek van laagveen natuur (Lamers 2001 en Lucassen 2004)

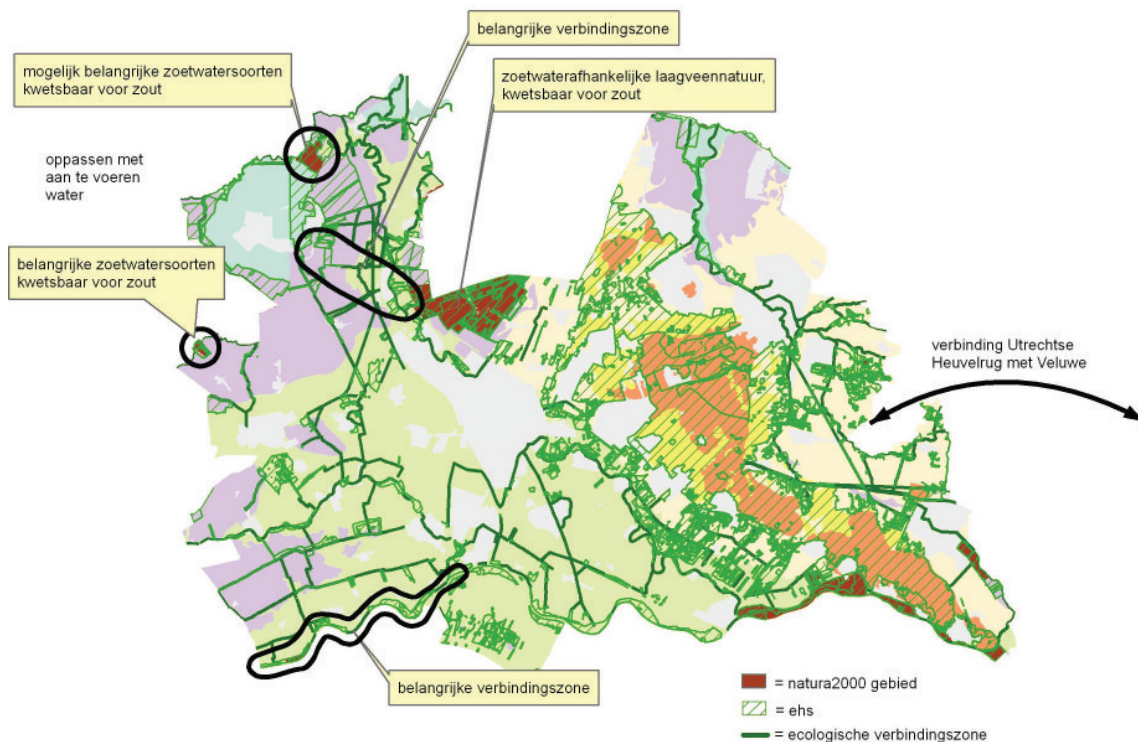


Figuur 3.15 Samenvatting processen die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000)

3.5.2 Verdroging en verzilting natuurgebieden

Een belangrijk gevolg van de verdroging en verzilting is dat natuurgebieden ten gevolge van de verstoringen die hierdoor worden veroorzaakt in toenemende mate te maken krijgen met verschuivingen in de soortensamenstelling. Het verschuiven van soorten is een natuurlijke reactie op klimaatverandering. Soorten kunnen geschikt geraakte leefgebieden echter alleen bereiken als de hierbij te overbruggen afstanden voor hen niet te groot zijn. Voldoende ruimtelijke samenhang van natuurgebieden is dus een belangrijke randvoorwaarde om het 'geografisch verschuiven' van soorten mogelijk te maken en om het herstel van soorten na een verstoring te bevorderen. Dit vraagt om veerkrachtige ecosystemen, met voldoende herstellen en aanpassingsvermogen. Hiervoor zijn nodig: een gezonde bodem, voldoende schoon water, en voldoende ruimte en ruimtelijke samenhang.

Het ontwikkelen van strategieën om soorten in staat te stellen het gecombineerde effect van klimaatverandering en versnippering van leefgebieden met succes te overleven is een grote uitdaging, ook in Nederland. Gebiedsgerichte adaptatie aan effecten van klimaatverandering is nodig om de bedreiging van natuur en biodiversiteit te keren. Interne heterogeniteit is een goede strategie voor het opvangen van weersextremen. Zowel de Ecologische Hoofdstructuur (EHS), de robuuste verbindingen als het Europese Natura2000 netwerk zijn goede vertrekpunten bij adaptatie van de ruimtelijke ordening aan klimaatverandering.



Figuur 3.16 Natuur en verzilting

Zoetwaterafhankelijke laagveennatuur

Bij zoetwaterafhankelijke laagveennatuur gaat het om bijvoorbeeld sloten met Krabbenscheer en verlandingsvegetaties. Grosso modo zijn de gebieden ten westen van het Amsterdam-Rijnkanaal gevoelig voor verzilting, met name in de diepe droogmakerijen en in de meer westelijke delen van de Lopikerwaard. Ten oosten speelt dit niet vanwege voldoende zoete kweldruk vanuit de Utrechtse Heuvelrug (Westbroek, Oostelijke Binnenvolpolder van Tienhoven).

3.6 Infrastructuur

Voor droge infrastructuur zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

- Het wegverkeer zal meer hinder ondervinden als gevolg van hevige regenval. Er zal minder hinder zijn door sneeuwval.
- Hogere extreme temperaturen leiden tot meer onderhoud en (in combinatie met droogte) tot een grotere kans op bermbranden.

3.6.1 *Wateroverlast verkeers-infrastructuur.*

In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag per winterhalfjaar toe en is er een toename aan extreme buien in de zomer

- Toename van buienintensiteit leidt tot grotere verkeershinder, overlast en verkeersonveilige situaties als gevolg van water op de weg.
- Toename van buienintensiteit en neerslag in de winter zal een negatief effect hebben op de verkeersdoorstroming.

Voorzieningen voor waterafvoer rond de weg en bij kunstwerken worden gedimensioneerd op basis van een standaard 'maatgevende bui'. De verwachte toename van intensiteit van buien in de zomer is mogelijk zo groot dat deze standaard 'maatgevende bui' wellicht aangepast dient te worden. Aanpassing heeft gevolgen voor ontwerpspecificaties (zoals afwateringshoek, pompen, waterbergingen e.d). Nader onderzoek is nodig om te bepalen of en in welke mate aanpassingen nodig zijn.

Naast een onvoldoende afwatering van wegen met de daarbij optredende overlast kunnen ook stabiliteitsproblemen ontstaan door erosie van wegbermen en taluds, met name na lange perioden van droogte. De toename van de neerslag in combinatie met een mogelijke toename van spoorvorming (zie Temperatuur en infrastructuur) maakt het probleem van verkeershinder extra groot.

Adaptatieopgave

Mogelijk zal in de toekomst de standaard 'maatgevende bui' moeten worden aangepast aan de nieuwe klimaatcondities. Dit leidt dan vervolgens ook weer tot aangepaste eisen aan wegen en kunstwerken. De vluchtroutes bij overstromingen zullen waarschijnlijk via verkeersinfrastructuur lopen. In hoeverre zijn deze begaanbaar tijdens een overstroming?

3.6.2 *Temperatuur en infrastructuur*

Meer onderhoud aan wegen ten gevolgen van spoorvorming

In de toekomst is meer onderhoud aan de wegen te verwachten vooral als gevolg van meer spoorvorming.

Spoorvorming op asfaltwegen ontstaat vooral in perioden met tropische warmte, als het ook 's nachts weinig afkoelt. Hierbij is het niet de eerste toplaag die vervormd, maar onderliggende lagen. Andere effecten van extreme warmte voor infrastructuur zijn het vast komen zitten van bewegende bruggen en problemen met dilatatievoegen bij vaste bruggen.

Adaptatieopgave

Meer spoorvorming en problemen met dilatatievoegen zullen tot meer onderhoud leiden op de provinciale wegen. Een mogelijke oplossing is toepassing van hardere onderlagen.

Een adaptatievraag die hier speelt is hoe robuust het wegennetwerk is, bijvoorbeeld bij calamiteiten.

Vaker bermbranden

Door hoge temperaturen en lange periodes van droogte neemt de kans op bermbranden toe.

De hete, droge zomer van 2006 heeft een groot aantal berm- en bosbranden laten zien. Dergelijke zomers kunnen veel vaker op gaan treden.

Bermbranden langs weg en spoor hebben kunnen lange, onverwachte files en vertragingen veroorzaken.

Voor bosrijke provincies kunnen bosbranden een grote impact hebben en waardevol natuur- en recreatiegebied verloren laten gaan

3.7 Recreatie:

Klimaatverandering biedt veel kansen voor meer buiten recreatie. Hogere extreme temperaturen maken het verantwoord gebruik van zwemwater echter ook risicovoller.

Temperatuur en recreatie

In alle scenario's zal de temperatuur en daarbij het aantal warme, zomerse en tropische dagen toenemen. Bij een toenemende temperatuur zullen er meer dagen komen die geschikt zijn voor recreatie. Wel wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik van zwemwater kritischer

Voor de recreatiesector is klimaatverandering overwegend positief. Er zullen meer dagen komen die geschikt zijn voor strand en vakantiepark. Dit kan een positief effect hebben op de recreatiesector.

Bij een toenemende temperatuur neemt in stilstaande wateren de kwaliteit van zwemwater af. Daarnaast nemen de zwembehoeften toe bij warm weer. Mensen zullen meer geconcentreerd van de zwemwaterlocaties gebruik maken. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik risicovoller. De waterkwaliteit zal echter door de uitvoering van de Kaderrichtlijn Water wel verbeteren. Het uitgangspunt zal dan beter zijn.

Utrecht heeft veel kunstmatige zwemwatergebieden, die zijn gegraven in klei en veengebieden. Hier is weinig bewegend water, waardoor de kans op blauwalg toeneemt (zie paragraaf 3.1.4).

3.8 Lopend onderzoek naar gevolgen van klimaatverandering

Klimaatverandering en de mogelijke gevolgen daarvan staan volop in de belangstelling. Er lopen dan op dit moment nationaal en internationaal vele onderzoeken die hier op gericht zijn. In dit rapport is op verschillende plaatsen verwezen naar onderzoek waarvan in deze versie van de klimaateffectschemasboeken al gebruik gemaakt kon worden. In de komende jaren zullen er nog veel meer resultaten komen waarmee de resultaten van dit schetsboek kunnen worden aangescherpt en huidige kennisleemtes kunnen worden ingevuld.

Het programma 'Klimaat voor Ruimte' (www.klimaatvoorruimte.nl) bundelt veel van dit onderzoek. Een uitgebreide beschrijving van alle deel projecten staat op de website. Vooral de projecten in de thema's Adaptatie en Communicatie zullen relevante resultaten voor de provincies opleveren. Voorbeelden zijn de projecten "A-2 Adaptatie van de Ecologische Hoofd Structuur (EHS)", "A7-Aanpassing aan weersextremen in grensoverschrijdende stroomgebieden", "A17 – Dialoogproject Klimaat in de stad" en "COM22 - Definitiestudie hitte in de stad" en "COM23 - Definitiestudie waterrobuust bouwen"

De Droogtestudie Nederland (<http://www.droogtestudie.nl/>) levert een verkenning van de investeringsruimte van de nieuwe klimaatscenario's. In de zomer van 2008 wordt een analyse van maatregelen bij de nieuwe klimaatscenario's verwacht.

Het project "Veiligheid Nederland in Kaart" (<http://www.helpdeskwater.nl/projectvkn/>) is niet primair gericht op de gevolgen van klimaatverandering, maar biedt wel relevante basis informatie over overstromingsrisico's.

Op de website van het programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) zijn voor verschillende thema's Routeplanners te vinden met daarin ook verwijzingen naar relevant onderzoek. (<http://www.programmaark.nl/achtergrond/default.aspx>)

Ook de volgende websites bieden informatie over (de gevolgen van) klimaatverandering.

www.klimaatportaal.nl

www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect

www.natuurkalender.nl

www.opgewarmdnederland.nl

www.ruimtevoorderivier.nl

Internationaal:

<http://climatechange.unep.net>

<http://unfccc.int/2860.php>

<http://www2.wau.nl/ccb>

www.branchproject.org

www.climateark.org

www.climatechallenge.gov.uk/
www.climatehotmap.org
www.climatescience.gov
www.defra.gov.uk
www.EEAC-net.org www.eea.eu.int
www.epbrs.org/
www.hwl.nl
www.ipcc.nl
www.unep-wcmc.org/climate/index.html

REFERENTIES

Bakel, P.J.T. van, M. van de Wouw, A. Poelman en Stuyt, L.C.P.M., 2007. Water vasthouden aan de bron: inzicht door modelberekeningen. H2O 40(2007)14/15:35-38.

Beersma, J., T.A. Buishand, & H. Buiteveld, 2004. Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II.

Bloemendaal F.H.J.L., Roelofs J.G.M. & De Lyon M.J.H. 1988. Saliniteit en chemische typologie. In: Bloemendaal F.H.J.L. & Roelofs J.G.M. (red.). Waterplanten en waterkwaliteit. KNNV, Utrecht.

Broekmeyer, M. & E. Steingrover, 2001. Handboek Robuuste verbindingen; ecologische randvoorwaarden. Wageningen, Alterra, Instituut voor de groene ruimte.

Diermanse, F., Ogink, H., van Dansik, J., Gloudemans, E., 2005. Neerslagstatistiek, extreem gevoelig? H2O, jaargang 38, nummer 17, 25-27, Rijswijk.

Giessen, A. van der (ed.), 2005. Naar een gezamenlijk nationaal hydrologisch modelinstrumentarium. Eindrapport van de werkgroep Consensus Hydrologie (WUR/Alterra; RIVM/MNP; RWS/RIZA). Rapport 500026002/2005, MNP, Bilthoven.

Hurk, B.J.J.M. van den, A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A.P. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C.A. Katsman, H.W. van den Brink, F. Keller, J.J.F. Bessembinder, G. Burgers, G.J. Komen, W. Hazeleger en S.S. Drijfhout, KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI-publicatie: WR-2006-01, pp82.

IPCC, 2007. IPCC Working Group I Fourth assessment report 'The Physical Science Basis'.

Janssen J.A.M. & Schaminée J.H.J. 2003. Europese natuur in Nederland. Habitattypen. KNNV Uitgeverij, Utrecht.

Jansen, H.C., M.E. Sicco Smit, T.P. Leenders, F.J.E. van der Bolt en L.V. Renaud, 2006. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuitenbeek. Monitoring stroomgebieden 8-II. Rapport 1387 Alterra, Wageningen.

KNMI, 2002. Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000. KNMI, De Bilt.

KNMI-publicatie: PUBL-199-II, ISBN 90-369-2260-7, 8/2004.

KNMI, 2006. Klimaat in de 21e eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Brochure. KNMI, De Bilt.

Können, GJ (2001): Climate Scenarios For Impact Studies In The Netherlands; see www.knmi.nl/onderzk/klimscen/scenarios/Scenarios2001_Web.htm

Kors, A.G., F.A.M. Claessen, J.W. Wesseling and G.P. Können, 2000. Scenario's externe krachten voor WB21; WL Delft Hydraulics; Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) ; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS, RIZA) (in Dutch).

Kroon, T., W. Werkman en A. Biesheuvel, 2004. Modelling the impact of climate change on drought in the Netherlands. Int. Conf. on Climate change: a challenge or a threat for water management? Amsterdam, the Netherlands, September 27-29, 2004

Lamers LPM 2001. Tackling some biogeochemical questions in peatlands. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.

Lucassen ECHET 2004. Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.

Linde, A. te, 2007, Effect of climate change on the rivers Rhine and Meuse, WL Delft Hydraulics.

Louw, P. de, 2007. Brakke kwel in diepe polders: Case polder de Noordplas. In: Verzilting in Nederland, NHV-special 7 (Ed. Perry de Louw), Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters; J.Int.Water Eng. 11, 277-288.

Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak. 1997. Invloed van de grondwaterstand op de oppervlaktewaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van de veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Rapport 527.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Oude Essink, G, 2007. Regionale modellering zoet-zout grondwater in het Nederlandse kustgebied. In: Verzilting in Nederland, NHV-special 7 (Ed. Perry de Louw), Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

Paulissen, M.P.C.P. en E.P.A.G. Schouwenberg, 2007. Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen. Rapport 1545, Alterra, Wageningen

STOWA, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26. STOWA.

Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J.G. Kroes, E.J. Bos, M. van der Elst, B. Pronk, P.J. Rijk., O.A. Clevering, A.J.G. Dekking, M.P.J. van der Voort, M. de Wolf en W.A. Brandenburg. 2006. Transitie en toekomst van Deltalandbouw; indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland., Alterra-rapport 1132, Wageningen.

Stuyt, L.C.P.M., 2007. Kansen voor zilte aquacultuur in Nederland, met speciale aandacht voor visteelt op land. Rapport Alterra (in voorbereiding).

Tauw B.V., 2007 Effecten klimaatverandering op het grondwatersysteem provincie Utrecht

Vos, C., P. Opdam, G. Nabuurs, R. Bugter & M. Epe, 2007. Klimaatverandering en ruimtelijke adaptatie natuur: wat we (niet) weten. Routeplanner.

Werkgroep HELP-tabel, 1987. De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

BIJLAGE 1 KNMI'06 KLIMAATSCENARIO'S

		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtstromingspatronen		nee	ja	nee	ja
Winter ³	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 ³	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

Tabel B1.1 Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 klimaatscenario's.

1 gegevens over de veranderingen in 2100 zijn te vinden op www.knmi.nl/klimaatscenario's

2 het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005

3 onder 'winter' wordt hier verstaan december, januari en februari; 'zomer' staat gelijk aan juni, juli en augustus

In het waterbeleid is gebruik gemaakt van de WB21 klimaatscenario's uit 2000. In bovenstaande tabel zijn de WB21 en de KNMI'06 scenario's naast elkaar gezet. De KNMI'06 scenario's G en W lijken vrij veel op de WB21 scenario's, respectievelijk "midden/centraal" en "hoog".

WB21 en KNMI'06 scenario's: overeenkomsten en verschillen

Overeenkomsten

- De IPCC (Intergouvernemental Panel on Climate Change) projecties voor mondiale temperatuurstijging zijn als uitgangspunt gebruikt. De mondiale temperatuurstijging van +2 °C in 2100 (of +1 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude 'centrale' WB21-scenario gebruikt als in de nieuwe G en G+ scenario's. Een temperatuurstijging van +4 °C in 2100 (of +2 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude 'hoge' WB21-scenario gebruikt als in de nieuwe W en W+ scenario's (echter voor de KNMI'06 scenario's zijn de projecties uit het IPCC AR4 gebruikt (IPCC, 2007));
- Als basisjaar wordt 1990 gebruikt (de gebruikte referentieperiode om het klimaat rond 1990 te beschrijven, verschilt wel).

Verschillen

- In de KNMI'06 scenario's zijn zowel de wereldwijde temperatuurstijging als ook de mogelijke verandering in luchtstromingspatronen gebruikt voor de indeling van de scenario's. In de WB21 scenario's werd alleen de wereldwijde temperatuurstijging gebruikt als 'stuurparameter', en werd verondersteld dat de

- luchtstromingspatronen niet zouden wijzigen;
- Voor de KNMI'06 scenario's zijn recente uitkomsten geanalyseerd van een groot aantal klimaatmodellen. Voor de WB21 scenario's was slechts een beperkt aantal klimaatmodellen beschikbaar en daaruit werd alleen de wereldwijde opwarming en zeespiegelstijging gebruikt. Met de nieuwe analyses is de samenhang tussen de wereldwijde opwarming, veranderingen in de luchtstroming boven West Europa en klimaatverandering in Nederland systematisch in kaart gebracht. Het is voor het eerst dat dit gedaan is door de uitkomsten van een scala aan mondiale en regionale klimaatmodellen en meetreeksen te combineren;
 - Het 'lage' WB21 scenario is vervallen. Deze waarde ligt buiten de range in de IPCC rapporten uit 2001 en 2007. Bovendien is de waargenomen wereldwijde temperatuurstijging sinds 1990 zo sterk dat dit 'lage' scenario (+0,5 °C tot 2050) weinig waarschijnlijk lijkt;
 - In de WB21 scenario's is de temperatuurstijging in Nederland gelijk aan de wereldwijde temperatuurstijging. In de KNMI'06 scenario's is dit niet het geval. Vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen is de temperatuurstijging in Nederland groter dan de wereldwijde temperatuurstijging;
 - De hevige neerslag in de winter neemt in de KNMI'06 scenario's minder toe dan in de WB21 scenario's;
 - In de WB21 scenario's werd nog de relatieve zeespiegelstijging (inclusief bodemdaling) gegeven. De waargenomen bodemdaling in de 20e eeuw varieerde echter zo sterk per locatie (0-40 cm), dat het weinig relevant lijkt een gemiddelde bodemdaling voor Nederland te gebruiken

Variabele	laag WB21	midden WB21	G '06	hoog WB21	W '06	hoog droog WB21*	G+ '06	W+ '06
Temperatuur (°C)								
Gemiddeld winter (DJF)	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,8	+2,0	+1,1	+2,3
Gemiddeld zomer (JJA)	+0,5	+1	+0,9	+2	+1,7	+3,1	+1,4	+2,8
Neerslag zomer (%)								
Gemiddeld (halfjaar)	+0,5	+1		+2				
Gemiddeld (JJA)			+3		+6	-20	-10	-19
Intensiteit in buien	+5	+10		+20				
dagsom, eens in 10 jaar overschreden (JJA)			+13		+27		+5	+10
Natte dag frequentie (JJA)	0	0	-2	0	-3	0	-10	-19
Neerslag winter (%)								
Gemiddeld (halfjaar)	+3	+6		+12				
Gemiddeld (DJF)			+4		+7	+13	+7	+14
10-daagse som (halfjaar)	+5	+10		+20				
10-daagse som, eens in 10 jaar overschreden (DJF)			+4		+8		+6	+12
Natte dag frequentie (DJF)	0	0	0	0	0	0	+1	+2
Potentiële evaporatie (%)								
Jaarlijks	+2	+4		+8		+8		
Zomer (JJA)			+3		+7	+24	+8	+15
Zeespiegel (cm)								
Absolute stijging in 2050	+5	+20	+15 - +25	+40	+20 - +35	+40	+15 - +25	+20 - +35
Absolute stijging in 2100	+10	+50	+35 - +60	+100	+40 - +85	+100	+35 - +60	+40 - +85

Tabel B1 2. Beknopte vergelijking van de WB21 en KNMI'06 scenario's voor 2050. * Data voor het "Hoog en droog scenario" zijn de data gebruikt in de "Droogtestudie".

Relatie met MNP-scenario's (sociaal-economische scenario's)

Klimaatmodellen gebruiken veronderstellingen over de uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes in de 21e eeuw. Daarbij horen beelden van hoe de wereldbevolking, economie, en techniek zich ontwikkelen. Het Milieu en Natuurplanbureau (MNP) gebruikt dergelijke wereldbeelden voor het maken van sociaal-economische toekomstscenario's voor Nederland. Deze wereldbeelden kunnen echter niet 1 op 1 aan de KNMI klimaatscenario's worden gekoppeld.

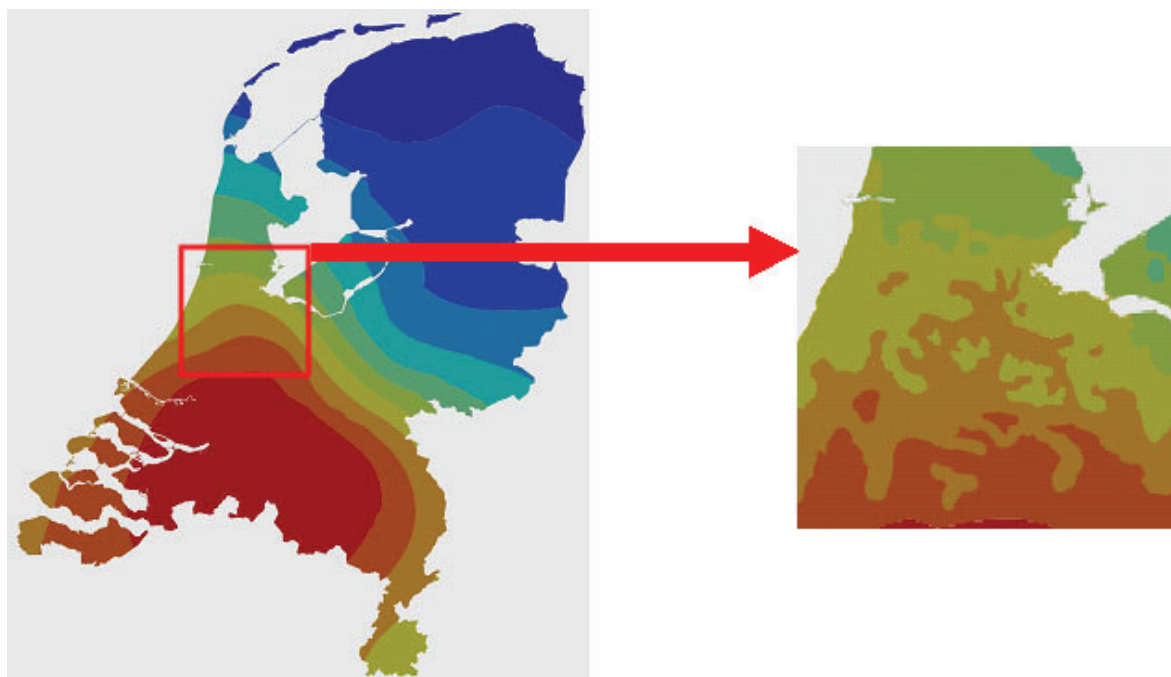
Onzekerheid over toekomstige emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes veroorzaakt slechts een klein deel van de verschillen tussen de KNMI klimaatscenario's voor 2050. De grootste onzekerheid is te wijten aan verschillen in modelberekeningen ten gevolge van de beperkte kennis van het klimaatstelsel. Grofweg kan wel worden gezegd dat de G en G+ scenario's beide beter passen bij de wereldbeelden B1 (mondiale solidariteit) en B2 (zorgzame regio) van het MNP, terwijl de W en W+ scenario's beide beter passen bij de wereldbeelden A1 (mondiale markt) en A2 (veilige regio).

BIJLAGE 2 INTERPRETATIE VAN DE KAARTEN

Door klimaatgegevens op kaarten te zetten kan de indruk gewekt worden van een grote geografische nauwkeurigheid. Dit is niet het geval, ook niet voor het huidige klimaat voor de toekomst. De contourlijnen zijn geen exacte scheidingen. Verder is het belangrijk om te beseffen dat er geen één op één relatie is tussen klimaateffecten, in termen van neerslag en temperatuur, en gevolgen in termen van wateroverlast of droogte. Soms kan een kleine hoeveelheid (extra) neerslag al voor overlast zorgen, terwijl op een andere plek een grote hoeveelheid neerslag geen problemen veroorzaakt.

Meer in detail is het belangrijk dat er bij het interpreteren en gebruik van de klimaatkaarten in het rapport rekening gehouden wordt met de volgende aspecten:

- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis. Voor dit rapport zijn voor temperatuur 17 KNMI-stations gebruikt en voor neerslag 280 KNMI-neerslagstations. Om voor punten tussen deze stations een waarde te bepalen, is een interpolatieschema gebruikt (zie bijlage 6). Sommige stations zijn representatief voor een groter gebied dan andere stations. De automatische interpolatieschema's houden hier geen rekening mee en wegen alle stations even zwaar mee.
- Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's. Het toepassen van de automatische interpolatieschema's veroorzaakt soms lokale verschillen die geheel berusten op de numerieke bewerking van de data. De positie van contourlijnen wordt voor een deel bepaald door subjectieve keuzes in de interpolatietechnieken. In deze atlas zijn geen kaarten opgenomen waarvan de globale ruimtelijke patronen niet goed zijn, maar om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de lokale patronen wordt verwezen naar 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002).
- Voor temperatuur kunnen alleen grootschalige patronen worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KNMI-stations. Het aantal van 17 meetpunten in Nederland is onvoldoende om kleinschalige ruimtelijke patronen in beeld te brengen. Dit betekent dat alleen grootschalige patronen (Figuur B2.1) kunnen worden weergegeven, zoals land-zee-overgangen. Op kleinere schaal speelt ook de aanwezigheid van bijvoorbeeld meren, rivieren, steden en infrastructuur een rol. Dit wordt dus niet weergegeven in de kaarten in deze atlas.
- Kleinschalige ruimtelijke verschillen in neerslag kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden. Een deel van de ruimtelijke verschillen in neerslag kan verklaard worden door bijv. orografie (bijv. meer neerslag bij de Utrechtse Heuvelrug), en steden (bijv. lokale maxima bij Rotterdam en Amsterdam). Ruimtelijke verschillen kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden. Toevallige treklijnen van buien, fronten en lagedrukgebieden kunnen verschillen veroorzaken.
- Contourlijnen moeten niet als exacte, stringente scheidingen tussen klassen worden geïnterpreteerd. De locatie van een contourlijn op de kaart wordt beïnvloed door het interpolatieproces, en de kaarten geven slechts een globaal ruimtelijk patroon weer (Figuur B2.1 dat voor een deel samenhangt met de toevallige ligging van de KNMI-stations (de lokale omgevingskarakteristieken van de stations)).
- De KNMI'06 scenario's onderscheiden geen regionale verschillen in klimaatverandering. De ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst zijn daarom in principe hetzelfde. De relatieve veranderingen (neerslag) of absolute veranderingen (temperatuur) zijn in de KNMI'06 scenario's voor heel Nederland gelijk. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering rond Nederland niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de onderstaande kaarten worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. Kaarten met verschillen tussen de huidige en toekomstige situatie zijn daarom niet zinvol.
- De ruimtelijke verschillen geven niet aan waar de gevolgen van klimaatverandering het grootst zijn. Bijvoorbeeld op de natste locaties rond 2050 ontstaan niet automatisch ook de grootste problemen met wateroverlast. Voor de vertaling van de gevolgen van de klimaatveranderingen is het belangrijk dat er extra kennis wordt toegevoegd, die veranderingen in temperatuur, neerslag, etc. op een juiste wijze vertaald naar gevolgen voor de natuur, maatschappij en ruimtelijke ordening (zie ook Hoofdstuk 3).



Figuur B2.1 Fictief voorbeeld met het verschil tussen een kaart met globale patronen (links) en de mogelijke werkelijke situatie die afhang van lokale factoren (rechts)

BIJLAGE 3 HET STADSEFFECT

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter geen metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

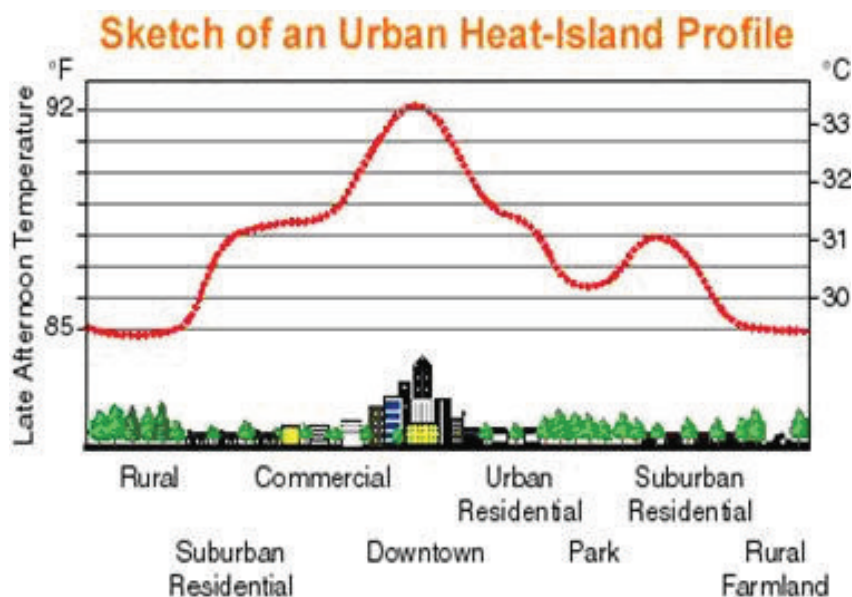
Het is bekend dat zich boven steden zgn. warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen e.d. Deze warmte wordt 's nachts vertraagd weer afgegeven. De grootte van het temperatuurverschil tussen de stad en het omringende platteland is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Voor een stad als Utrecht bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstilte, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5°C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht ca. 1,1°C warmer dan het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag.

Neerslag

Een stad kan ook effect hebben op de neerslag daaromheen. Dit is o.a. terug te zien in de neerslagmetingen aan de lijzijde (stroomafwaarts van de overwegend zuidwestelijke wind) van grote steden (Rotterdam, Amsterdam en Utrecht). De neerslagsommen zijn ten noordoosten van deze steden net wat hoger dan aan de zuidwest kant. De opstijgende warme lucht boven een stad en de aanwezigheid van extra condensatiekernen, versterkt de vorming van neerslag. Dit effect is het sterkst in de zomer.

Wind

De bebouwing in steden heeft ook een invloed op de wind. Hoge gebouwen zorgen voor grote ruimtelijke verschillen in windrichting en windsnelheid. Bovendien kan de wind rond deze gebouwen versnellingen ondergaan die ertoe leiden dat de windsnelheden groter worden dan gemeten in de landelijke omgeving. Aan de ander kant zorgt lage bebouwing ervoor dat de wind bij het aardoppervlak sterker afneemt dan boven de landelijke omgeving. Hierdoor mengt de lucht dichtbij het oppervlak minder goed met de bovenliggende lucht dan op het platteland het geval is.



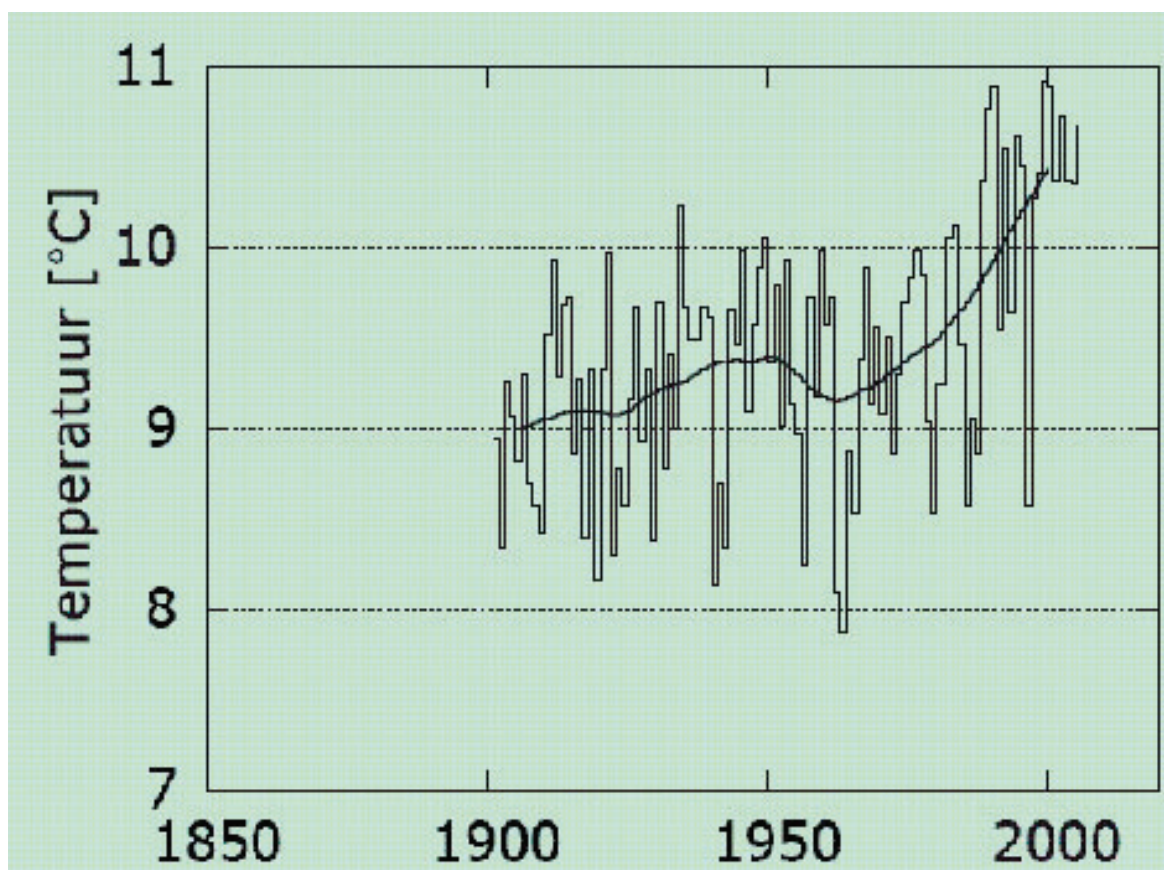
Figuur B3 1 Schematische weergave van het temperatuur profiel van een 'Urban Heat Island'.

BIJLAGE 4 WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN NEDERLAND

Temperatuur

In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld $1,2^{\circ}\text{C}$ gestegen (Figuur B4.1). Hetzelfde patroon aan veranderingen in de gemiddelde jaartemperatuur is terug te vinden in de metingen in Rotterdam (metingen vanaf 1956). De stijging van de temperatuur resulteerde in een afname van het aantal vorstdagen en een toename van het aantal zomerse dagen.

De top tien van de warmste jaren sinds 1900 bestaat volledig uit jaren na 1988. Vooral februari en maart zijn de afgelopen 20 jaar aanzienlijk warmer geworden. Behalve door de wereldwijde opwarming komt dit door een toename van het aantal dagen waarop de wind uit het zuidwesten waait.



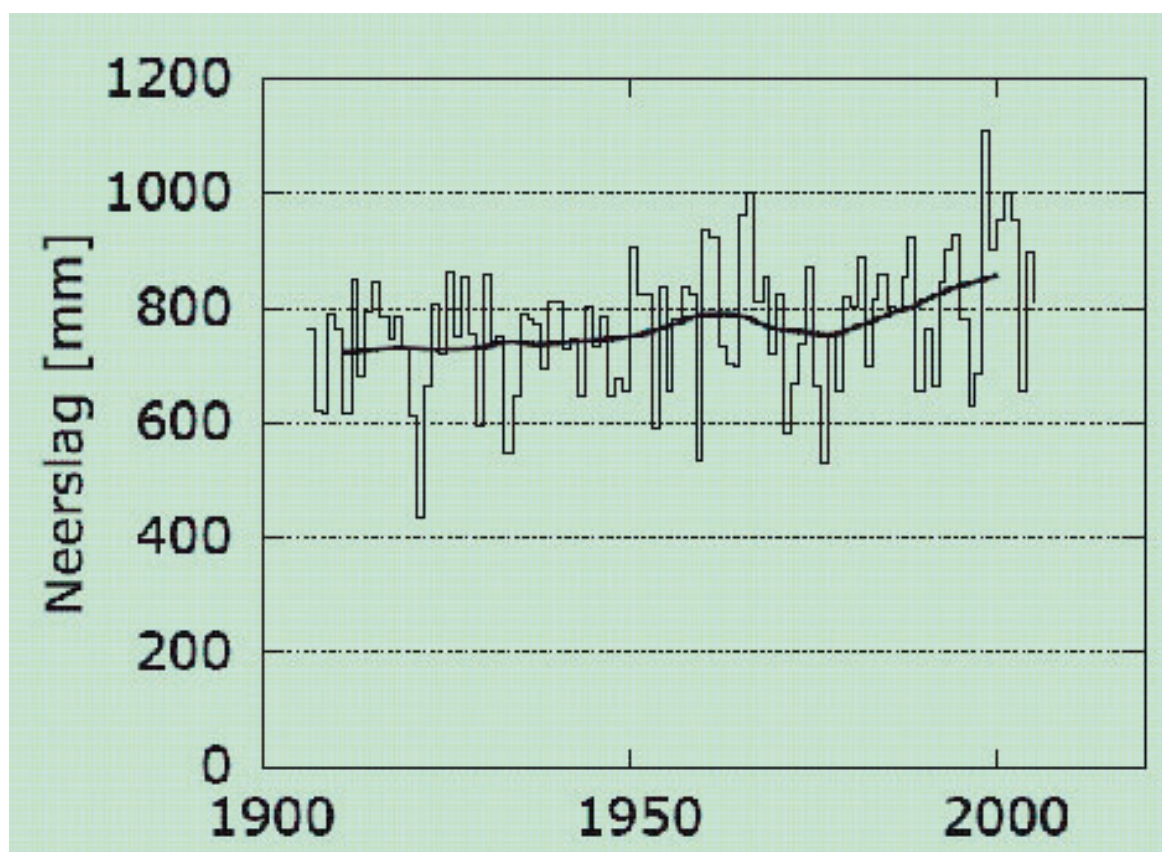
Figuur B4.1 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

De temperatuur in ons land wordt sterk beïnvloed door de overheersende wind. Westenwind, die lucht aanvoert vanaf de zee, zorgt in de winter voor zacht weer. Oostenwind (over land dus) leidt in de zomer tot relatief hoge temperaturen. Onduidelijk is of de toename van 'warme' winden in februari en maart deels samenhangt met menselijke invloed op het klimaat of dat die verandering uitsluitend wordt veroorzaakt door natuurlijke schommelingen.

Neerslag

In Nederland is de jaarlijkse neerslag vanaf 1906 toegenomen met 18% (Figuur B4.2). Dit komt vooral voor rekening van de winter (+26%), het voorjaar (+21%) en de herfst (+26%). In de zomer is de neerslaghoeveelheid nauwelijks veranderd (+3%).

In de winter nam ook de neerslaghoeveelheid in lange periodes met veel regen toe. De hoogste 10-daagse neerslagsom per winter is sinds 1906 met 29% gestegen. In de zomer is geen duidelijke trend in extreme neerslag vastgesteld.

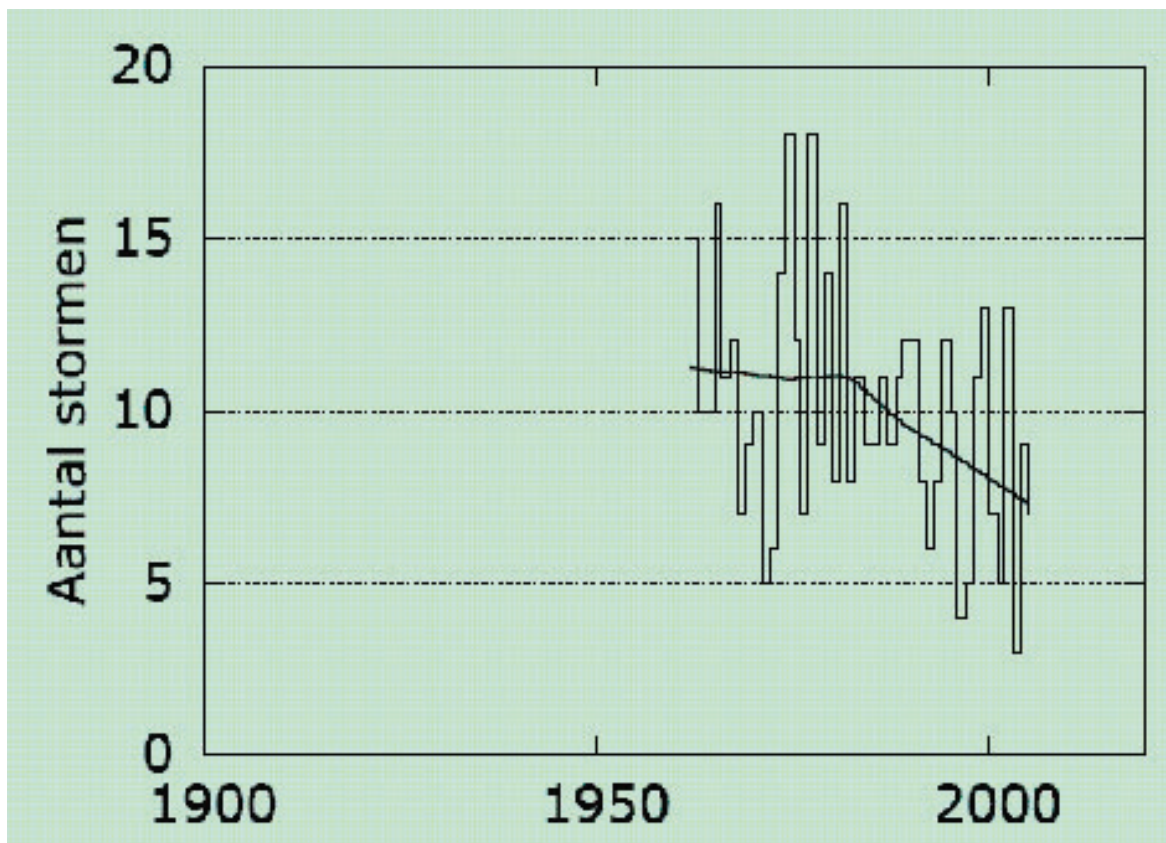


Figuur B4.2 Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

Wind

Uit metingen op KNMI-stations blijkt dat het totale aantal 'stormen' (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) in Nederland sinds 1962 is afgenomen (Figuur B4.3). Dergelijke gebeurtenissen komen gewoonlijk gemiddeld 10 keer per jaar voor, maar momenteel hebben we 20-40% minder 'stormen' dan begin jaren zestig.

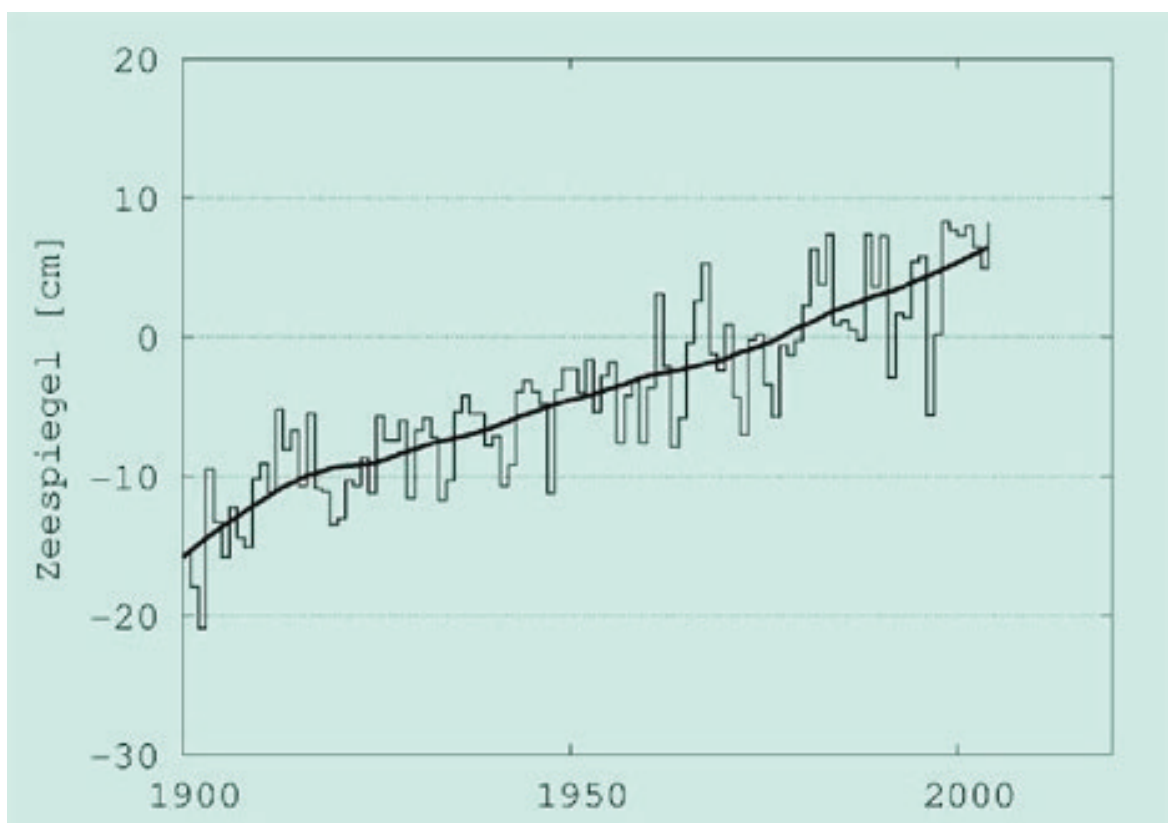
Nederland is te klein en de meetreeksen zijn te kort om veranderingen in het aantal zware stormen (minstens windkracht 10 à 11) bij ons vast te stellen. Daarvoor komen ze te weinig voor: gemiddeld namelijk minder dan 1 keer per jaar.



Figuur B4.3 Aantal 'stormen' in Nederland (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) tussen 1962 en 2005 (gemiddelde van 13 stations). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

Zeespiegel

Voor de periode vanaf 1900 was de stijging in de Noordzee gemiddeld 2 mm per jaar, ofwel 20 cm in de 20e eeuw (Figuur B4.4). De waterstand in de Noordzee wordt niet alleen bepaald door de zeespiegelstijging in de Atlantische Oceaan, maar ook door veranderingen in de opstuwing van het water in de Noordzee.



Figuur B4.4 Gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust tussen 1900 en 2004 ten opzichte van NAP ($\approx$ absolute zeespiegelstijging). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie. Bron waarnemingen: RWS-RIKZ.

Het totale effect aan de Nederlandse kust (= relatieve zeespiegelstijging) is groter door de opgetreden bodemdaling. In Nederland varieerde de bodemdaling in de 20e eeuw afhankelijk van de plaats gemiddeld tussen 0 en 4 mm per jaar. De zeespiegelstijging t.o.v. NAP is ongeveer gelijk aan de absolute zeespiegelstijging.

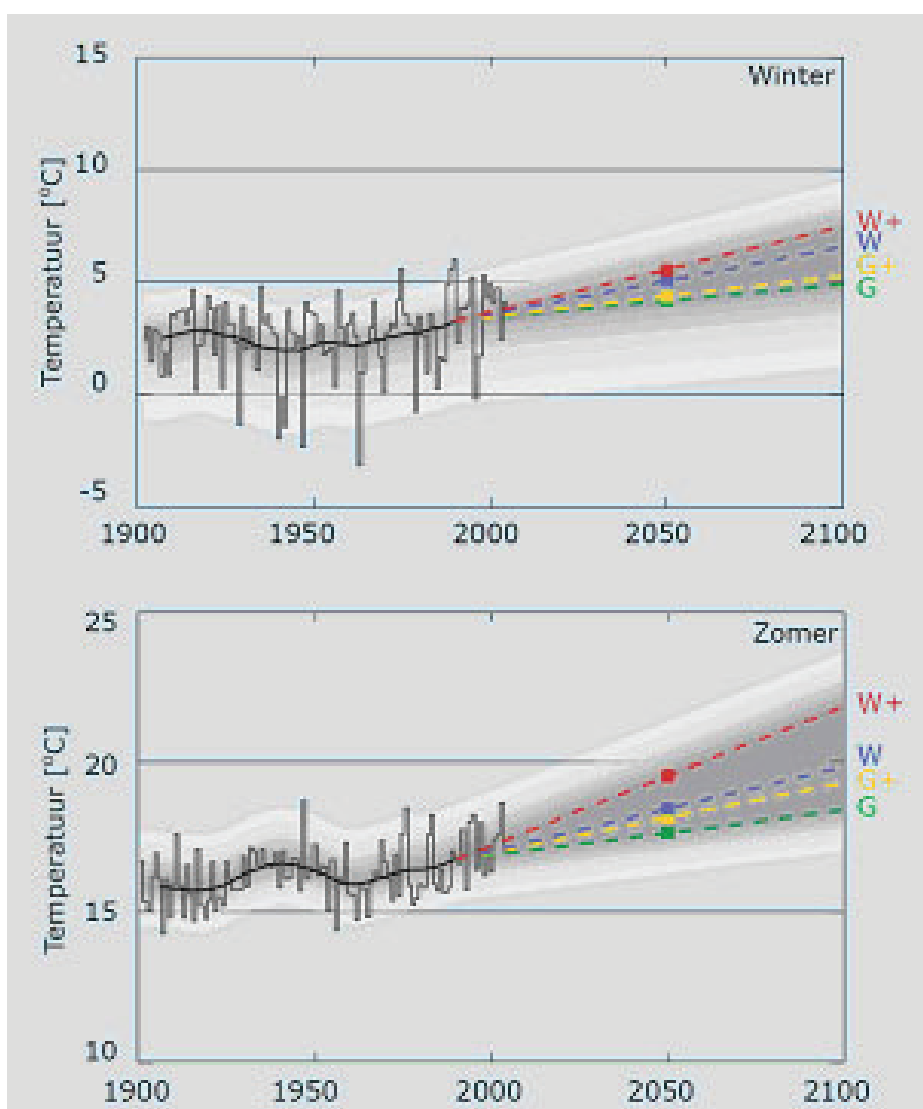
BIJLAGE 5 PRIMAIRE EFFECTEN: KAARTEN EN ADDITIONELE INFORMATIE

Voor de interpretatie van de kaarten wordt sterk aangeraden eerst paragraaf 2.1 en bijlage 2 te lezen. Voor meer informatie over hoe de kaarten zijn gemaakt wordt verwezen naar Bijlage 6 (Methodieken klimatologische kaarten).

Temperatuur

Gemiddelde temperaturen

Figuur B5.1 laat de vier scenario's tot 2100 zien. De waargenomen temperatuurstijging tussen 1990 en 2005 is naar verhouding groot en bedraagt gemiddeld meer dan 0,5°C. Dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat de laagste scenario's voor 2050 te conservatief zijn. In de waargenomen temperatuurstijging spelen ook natuurlijke schommelingen een grote rol. Doordat die schommelingen zullen blijven voorkomen, is het goed mogelijk dat er in de komende decennia tijdelijk een periode van relatief koel weer zal volgen (KNMI, 2006).



Figuur B5.1 Temperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.

Tabel B5.1 geeft een vertaling van de klimaatscenario's naar gemiddelde minimum- en maximumtemperaturen per seizoen in enkele plaatsen in Zuid-Holland. Deze gegevens zijn gegenereerd met behulp van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. De tabel laat zien dat de temperatuurstijging in het W+ scenario het grootst is in alle seizoenen. Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumdagtemperatuur is in alle scenario's voorsnog gelijk gehouden aan de huidige situatie. Uit waarnemingen van de afgelopen 25 jaar blijkt dat de minimum- en maximumtemperatuur ongeveer even snel stijgen (IPCC, 2007), maar het is niet onmogelijk dat de temperatuurschommeling per etmaal wel verandert in de toekomst. De bewolgingsgraad heeft een duidelijke invloed op de temperatuurschommeling per etmaal. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Nederland in het overgangsgebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt. Op basis van deze gegevens en de geringe verandering van het aantal regendagen in alle seizoenen voor het G en W scenario (KNMI, 2006) lijkt de aanname gerechtvaardigd dat de verschillen tussen de minimum- en maximumtemperatuur in de toekomst niet echt veranderen. Ook in het G+ en W+ scenario verandert het aantal regendagen in de winter weinig, en op basis hiervan verwachten we ook geen grote verandering in dagelijkse gang van de temperatuur. In de zomer in de G+ en W+ scenario's verandert het aantal dagen met neerslag wel aanzienlijk. In die gevallen is de kans het grootst dat de verschillen tussen minimum- en maximumtemperaturen toch veranderen. De afname van het aantal natte dagen in de zomer in deze scenario's en de daarbij mogelijke afname van de bewolking leidt mogelijk tot een sterkere toename van de maximumtemperatuur (door extra instraling overdag) en tot een minder sterke toename van de minimumtemperatuur (door extra uitstraling 's nachts), met als gevolg een toename van de dagelijkse gang. De relatie tussen hoeveelheid straling en de neerslagduur in de zomermaanden (juni-augustus) is niet erg eenduidig in het huidige klimaat (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002) p. 55 en p. 78)

Tabel B5.1 Gemiddelde en extreme minimum- en maximumtemperaturen in enkele plaatsen in Zuid-Holland in het huidige klimaat (1976-2005) en rond 2050 voor de verschillende KNMI'06 scenario's (gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/).*

	plaats	1976-2005	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
Gemiddelde maximum dagtemperatuur (°C)						
winter	Rotterdam	6,2	7,2	7,4	8,1	8,6
	Valkenburg	6,2	7,1	7,4	8,0	8,5
lente	Rotterdam	13,3	14,2	14,5	15,1	15,8
	Valkenburg	12,6	13,5	13,9	14,4	15,1
zomer	Rotterdam	21,1	22,1	22,6	23,0	24,1
	Valkenburg	20,3	21,3	21,8	22,2	23,3
herfst	Rotterdam	14,3	15,3	15,7	16,2	17,0
	Valkenburg	14,2	15,1	15,5	16,0	16,8
Gemiddelde minimum dagtemperatuur (°C)						
winter	Rotterdam	0,9	1,8	2,0	2,7	3,2
	Valkenburg	1,0	2,0	2,2	2,9	3,4
lente	Rotterdam	4,7	5,6	5,9	6,5	7,2
	Valkenburg	4,8	5,8	6,1	6,7	7,4
zomer	Rotterdam	11,9	12,9	13,4	13,8	14,9
	Valkenburg	12,4	13,3	13,8	14,2	15,3
herfst	Rotterdam	7,3	8,2	8,6	9,1	10,0
	Valkenburg	7,6	8,5	8,9	9,4	10,3
Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur (°C)						
	Rotterdam	31,0	32,1	33,1	33,2	35,2
	Valkenburg	30,9	32,0	33,0	33,1	35,1
Gemiddelde jaarlijkse laagste minimum temperatuur (°C)						
	Rotterdam	-10,2	-9,1	-8,6	-8,1	-7,1
	Valkenburg	-9,5	-8,4	-7,9	-7,3	-6,3

* De verandering in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 is twee maal zo groot als de verandering in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

Temperatuur extremen

Voor de warmste zomerdagen en de koudste winterdagen neemt de temperatuur relatief sterker toe, vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen (zie ook Figuur 6). De figuren 2.1-2.5 laten de veranderingen zien in het gemiddeld aantal ijsdagen (maximumtemperatuur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), vorstdagen (minimumtemperatuur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), warme dagen (maximumtemperatuur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), zomerse dagen (maximumtemperatuur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tropische dagen (maximumtemperatuur $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) per jaar rond 2050 voor het W en W+ scenario ten opzichte van het klimaat rond 1990 (1976-2005). Deze figuren zijn gegenereerd op basis van gegevens van 17 KNMI-stations in Nederland, waarvan de stations Rotterdam en Valkenburg in de provincie Zuid-Holland liggen. Dit aantal is te klein om alle ruimtelijke patronen goed met behulp van een GIS te genereren. De figuren geven het ruimtelijk patroon binnen Zuid-Holland wel redelijk weer (om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid kunnen de kaarten het best vergeleken worden met de kaarten uit de "Klimaatatlas 1971-2000" (KNMI, 2002; p. 40 en 44).

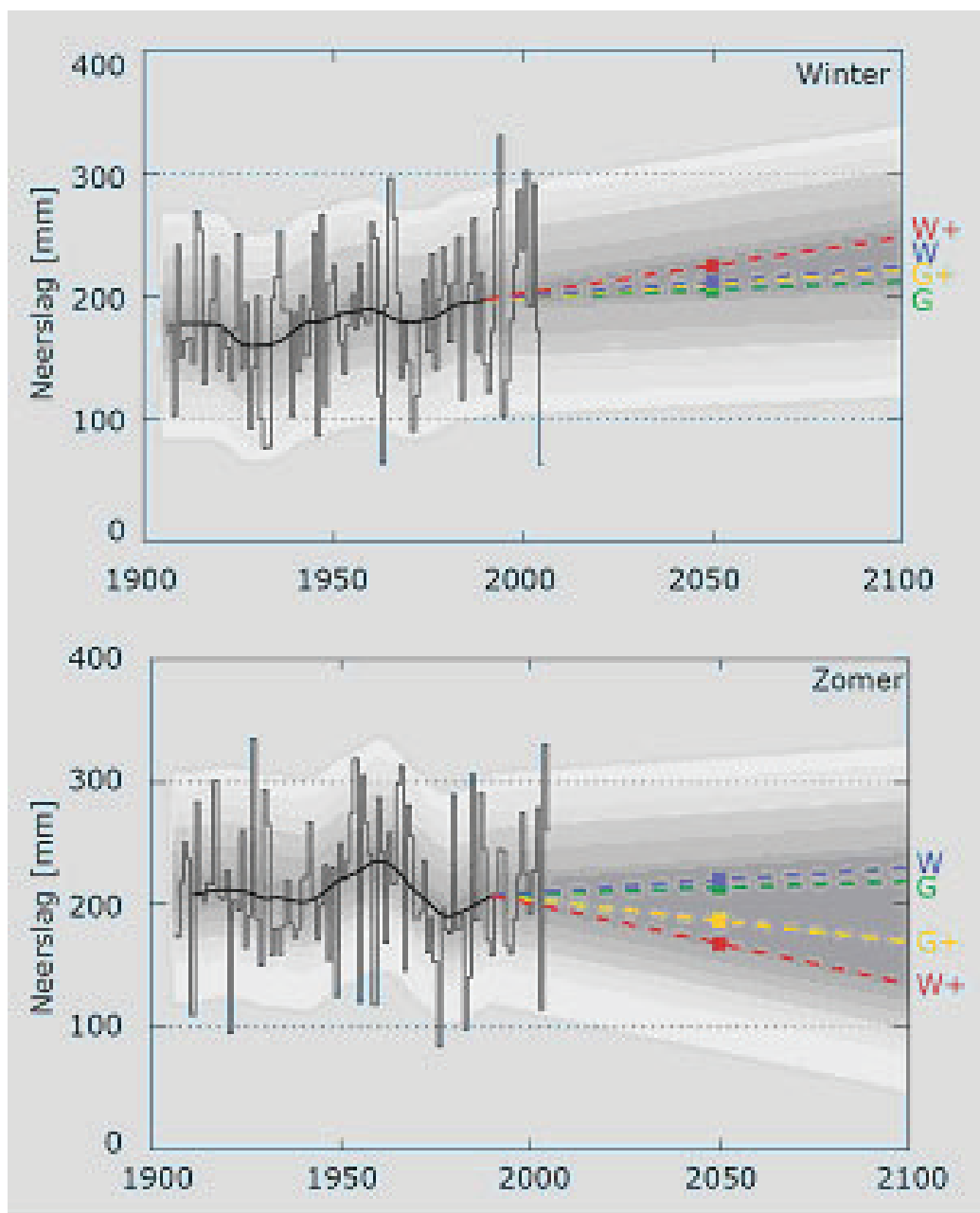
In het huidige klimaat is het aantal warme, zomerse, tropische en vorstdagen aan de kust kleiner dan meer in het binnenland (Figuren 2.1-2.5) Voor ijsdagen is er een minder duidelijk land-zee-effect, doordat ijsdagen vooral optreden bij noorden- tot oostenwind (terwijl in Nederland de overheersende windrichting zuid-west is). Afwijkingen van dit globale patroon worden veroorzaakt door de toevallige condities op een KNMI-station.

De KNMI'06 scenario's gaan uit van dezelfde verandering in temperatuur voor heel Nederland. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Nederland te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de onderstaande kaarten worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. Vandaar dat de ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst (in principe) hetzelfde zijn.

Neerslag

Gemiddelde neerslag

Figuur B5.2 laat de veranderingen in gemiddelde zomer- en winterneerslag onder de verschillende scenario's zien.



Figuur B5.2 Neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.

Figuur 22.1-2.10 zijn gegenereerd op basis van gegevens van 280 KNMI-neerslagstations in Nederland, waarvan een redelijk aantal in de provincie Zuid-Holland liggen. Dit is voldoende om een vrij goed beeld te schetsen van de ruimtelijke patronen. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid kunnen de kaarten het best vergeleken worden met de kaarten uit de 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Merk op dat de

ruimtelijke verschillen binnen Nederland niet alleen het gevolg zijn van klimatologische verschillen maar, door het grillige karakter van de neerslag, voor een deel ook het gevolg van toevallige verschillen.

De figuren laten de veranderingen in de gemiddelde jaarneerslag en de neerslag per winter- en zomerhalfjaar zien voor het W en W+ scenario ten opzichte van het klimaat rond 1990 (beschreven met data voor de periode 1976-2005) zien.

In de KNMI'06 scenario's worden geen regionale verschillen in relatieve veranderingen in de gemiddelde en extreme neerslag binnen Nederland meegenomen. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Nederland te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de onderstaande kaarten worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. Vandaar dat de ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst (in principe) hetzelfde zijn.

Neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's komen de relatieve veranderingen van de gemiddelde en extreme neerslag niet overeen. Het duidelijkst is dit te zien bij de zomerneerslag. In de '+'-scenario's (G+ en W+) neemt de gemiddelde neerslag in de maanden juni t/m augustus af, terwijl de extreme neerslag toeneemt (dagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden). De hoogste dagneerslagsom treedt meestal in het zomerhalfjaar op. In de zomermaanden zijn, bij gelijke overschrijdingsfrequentie (bijvoorbeeld eens per 10 jaar), de dagsommen van de neerslag ongeveer 1,5 maal zo groot (50% groter) dan in de wintermaanden (STOWA, 2004). Deze extreme neerslag kan voor lokale wateroverlast zorgen. Dit speelt vooral in het stedelijk gebied, maar ook in het landelijk gebied kan dan lokale wateroverlast optreden bijvoorbeeld als de gemaalcapaciteit in polders niet voldoende is om het water snel af te voeren. Om een indruk te geven van de verandering in extreme neerslag is in Figuur 2.9 het aantal dagen met meer dan 15 mm afgebeeld. Uit deze figuur is af te leiden dat het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag in alle scenario's toeneemt. In de "+"- scenario's (G+ en W+) is de toename gering, en in de G en W scenario's het grootst. In deze scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen is de toename van extreme neerslag in de zomer procentueel ook het grootst.

Ruimtelijke patronen neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's wordt onder andere de verandering in de dagsom die eens per 10 jaar voorkomt in de zomermaanden (juni-augustus) genoemd. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 54 mm of meer in 24 uur (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Aangezien er voor te weinig stations in Nederland lange tijdreeksen bestaan, is het moeilijk om eventuele ruimtelijke verschillen hierin vast te stellen. Er kan ook niet zonder meer worden aangenomen dat de afgeleide statistiek voor De Bilt in het STOWA-rapport (2004) representatief is voor heel Nederland. Hoewel Nederland maar een klein land is, bestaan er grote verschillen in het neerslagklimaat door verschillen in verschillen in land-/zeeligging, grondsoorten, landgebruik, en in mindere mate orografie. Bij een overschrijdingsfrequentie van eens per 10 jaar is vastgesteld dat de neerslag die in 24 uur of langer valt significant verschilt tussen stations in Nederland, waarbij is vastgesteld dat de verschillen tussen De Bilt en de overige beschouwde stations maximaal 12% is. Het STOWA-rapport (2004) vermeldt dat een eerste schatting voor andere locaties in Nederland is te maken door lineaire schaling met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid (door de resultaten voor De Bilt te vermenigvuldigen met de ratio van de gemiddelde jaarsom van de gewenste locatie en die van De Bilt). Tabel 5.2 geeft voor enkele stations in Zuid-Holland een schatting met deze methode van de neerslaghoeveelheid in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het huidige klimaat en voor alle vier de KNMI'06 scenario's rond 2050. Daarbij is de verandering in de zomermaanden gebruikt, omdat jaarmaxima meestal in deze maanden vallen (zie figuur 3B in STOWA-rapport, 2004), en de lineaire schaling is gebaseerd op de gemiddelde jaarneerslag in de periode 1976-2005. De verschillen tussen de KNMI-neerslagstations zijn zeer klein, ook ten opzichte van station De Bilt. Vandaar dat de gegevens van De Bilt vaak wel als representatief voor Nederland worden gezien. In een artikel in H2O (2005, pp. 25-27) stellen Diermanse e.a. dat de schaling met de gemiddelde jaarneerslag voor Delfland een onderschatting geeft. De eerste resultaten van onderzoek op het KNMI in het kader van het project 'Neerslag tot Schade' bevestigen de resultaten van Diermanse e.a. (2005).

Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. Het STOWA-rapport (2004) vermeldt dat ook voor de 9-daagse extreme neerslagsom een eerste schatting voor andere locaties in Nederland is te maken door lineaire schaling met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid. Ook hier

geldt dat dan de verschillen tussen de KNMI-neerslagstations in Zuid-Holland (range 113-108 mm) klein zijn, ook ten opzichte van station De Bilt. Een schatting van de toekomstige waarden is moeilijker te maken. Met behulp van het transformatieprogramma (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/) worden er voor De Bilt veranderingen van -1% (W+) tot +14% (W) rond 2050 voor deze 9-daagse neerslagsommen verkregen. Echter, het transformatieprogramma onderschat de extreme dagsommen met lange herhalingsstijden, en daarmee wellicht ook de extreme 9-daagse neerslagsommen.

Tabel B5.2 Schatting van de neerslaghoeveelheid (mm) in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het huidige klimaat (1906-2003) en rond 2050 voor de verschillende KNMI'06 scenario's (zie voor methode bovenstaande tekst).

KNMI-neerslagstation	Huidig klimaat	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
24-uurs neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (mm)					
Rotterdam Waalhaven	56	63	59	71	61
Gouda	54	61	56	68	59
Katwijk	55	62	58	70	60

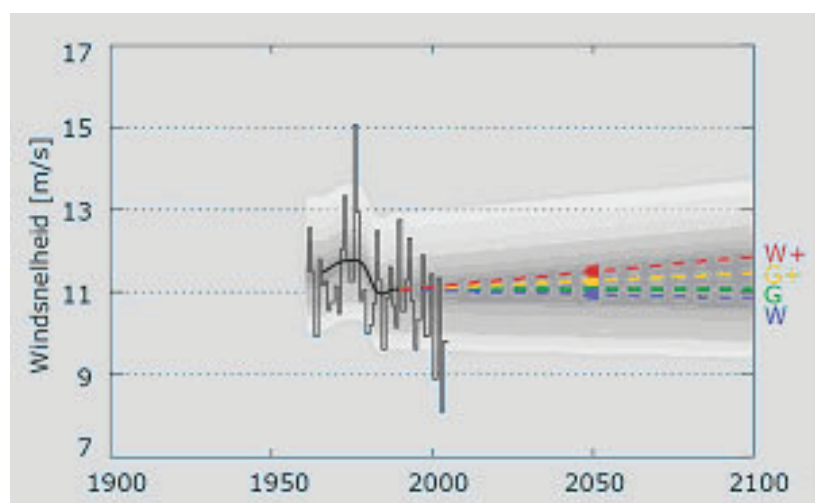
* De veranderingen in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 zijn twee maal zo groot als de veranderingen in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

Wind

Voor het windklimaat in West-Europa is het van belang te weten in hoeverre de wereldwijde opwarming zal leiden tot een verandering van de luchtstromingspatronen. Die zijn bepalend voor het aantal, de sterkte en de gemiddelde baan van depressies, en daarmee voor het toekomstige stormklimaat. De modelberekeningen voor de stromingspatronen in onze regio verschillen onderling behoorlijk.

Op basis van de huidige kennis bestaat het vermoeden dat de veranderingen in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten klein zullen zijn. Echter er bestaan nog veel onzekerheden met betrekking tot wind en stormen. Voor het lokale windklimaat is daarom een eventuele verandering van de ligging van de stormbanen belangrijker. De meeste klimaatmodellen simuleren een poolwaartse verschuiving van de stormbanen met maximaal enkele honderden kilometers. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen, die over de afgelopen 40 jaar een noordwaartse verschuiving van 100 kilometer over de Atlantische oceaan laten zien. Het effect voor Nederland van de verschuiving van de stormbanen is beperkt omdat de stormbaan boven Nederland breed is. Een verschuiving van een paar honderd kilometer heeft daarom geen groot effect.

Figuur B5.3 geeft de veranderingen tot 2100 voor de vier KNMI'06 scenario's. In geen van de scenario's zet de waargenomen dalende trend van het totale aantal stormen in Nederland in dezelfde mate door.



Figuur B5.3 Hoogste daggemiddelde windsnelheid in De Bilt per jaar tussen 1962 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.

Ruimtelijke patronen

Om een indruk te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde windsnelheid wordt verwezen naar de 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Op het KNMI-station Rotterdam is de gemiddelde windsnelheid over het jaar 4,9 m/s (periode 1971-2000) en op het KNMI-station Valkenburg (ZH) is dit 5,2 m/s. De hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar ligt voor deze stations hoger dan voor De Bilt (figuur B5.3).

Neerslagtekort

Het neerslagtekort wordt gedefinieerd als de neerslag minus de potentiële verdamping. Op het KNMI wordt de potentiële verdamping berekend met de formule van Makkink (op basis van straling en temperatuur). Het cumulatieve neerslagtekort wordt vaak vanaf 1 april berekend, aangezien 1 april ongeveer overeenkomt met het begin van het groeiseizoen voor veel planten. Bij een groot neerslagtekort wordt de groei van planten beperkt door watertekort. Droogte wordt soms gedefinieerd in termen van hoeveelheid neerslag, maar vaak ook in termen van neerslagtekort. Het jaar 2003 staat bekend als een droog jaar in het recente verleden (maximale cumulatieve neerslagtekort van 217 mm gemiddeld over Nederland), maar 1976 was nog veel droger in termen van neerslagtekort (361 mm; Beersma et al., 2004). Het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april en op basis van 13 KNMI-stations is 144 mm voor de periode 1906-2000.

Als gevolg van de hogere temperaturen zal de potentiële verdamping toenemen. In de zomermaanden neemt de potentiële verdamping in de '+'-scenario's aanzienlijk toe (met 8% tot 15%; in deze scenario's stijgt de temperatuur in de zomer ook het sterkst). In de G+ en W+ scenario's is van de respectievelijke 8 (7,6)% en 15 (15,2)% toename in de potentiële verdamping rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 3,6 en 7,2% toename het gevolg van de bijbehorende verandering in luchtstromingspatronen (de rest is het gevolg van de temperatuurstoename: 4% per graad; van den Hurk et al., 2006: Hoofdstuk 5). Tegelijkertijd neemt de neerslag in de zomermaanden in deze '+' scenario's ook het sterkst af. Dit heeft tot gevolg dat de droogte, in termen van neerslagtekort, in het G+ en W+ scenario's in de zomer sterk zal toenemen. Rond 2050 zal het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april voor Nederland onder de KNMI'06 scenario's zijn gestegen van 151 mm (G-scenario) tot 220 mm (W+-scenario).

Ruimtelijke patronen

De jaarlijkse potentiële verdamping verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002; p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de maanden mei t/m juli is het neerslagtekort langs de kust van Zuid-Holland wat groter dan meer landinwaarts, maar in de andere maanden van het zomerhalfjaar (april-september) is er weinig ruimtelijk verschil binnen de provincie. Door deze temporele en ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald. In de KNMI'06 scenario's worden geen regionale verschillen in relatieve verandering in klimaatvariabelen meegenomen.

Zonneschijn

De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneshijnduur, maar wel over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneshijnduur en het aantal regendagen (of de neerslagduur), maar deze relatie is niet in elk seizoen of elke maand even duidelijk (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002) en vergelijk neerslagduur per seizoen en het aantal uren zonneshijnduur per maand. Voor de wintermaanden (december-februari) is de verandering in het aantal regendagen in alle gevallen klein (0% tot +2% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990). Voor de zomer (juni-augustus) is de verandering in het aantal regendagen in de G en W scenario's ook beperkt (-3% tot -2% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en we verwachten daarom weinig verandering in het aantal zonneshijnduren. In de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer aanzienlijk af (-10% tot -19% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en verwachten we een toename van het aantal uren zonneshijnduur.

Om een kwantitatieve inschatting van de verandering in straling te maken, kunnen we gebruik maken van de informatie over verandering in de potentiële verdamping. Van den Hurk et al. (2006) vermelden dat op basis van modelresultaten van het PRUDENCE-project is bepaald dat als gevolg van temperatuurstijging de potentiële verdamping met ongeveer 4% per °C toeneemt, en als gevolg van verandering in luchtstroming met 6% per m/s verandering in Ugeo (er treed een toename op van de potentiële verdamping en straling bij een lagere Ugeo, de maat die is gebruikt om de verandering in luchtstromingspatronen weer te geven). In de G+ en W+ scenario's is van de respectievelijk 8 (7,6)% en 15 (15,2)% toename in de potentiële verdamping

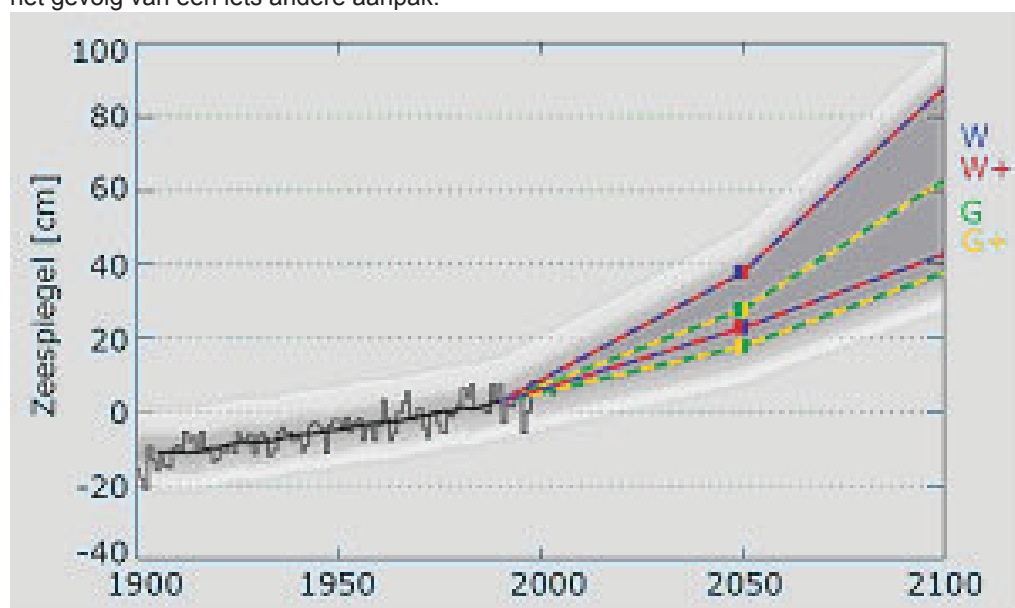
in de zomermaanden rond 2050 ten opzichte van 1990 3,6% en 7,2% van deze toename het gevolg van de verandering in luchtstromingspatronen en de bijbehorende verandering in straling. In de wintermaanden treedt in het G+ en W+ scenario ook een verandering in luchtstromingspatronen op (meer westenwind). Dit zou bij dezelfde regels een vermindering van de straling met respectievelijk 3% en 6% rond 2050 ten opzichte van 1990 tot gevolg hebben.

Zeespiegel

De KNMI'06 klimaatscenario's vermelden een absolute zeespiegelstijging in 2050 (dat wil zeggen zonder rekening te houden met de bodemdaling in Nederland) aan de Nederlandse kust die varieert tussen de 15 cm en 35 cm (Figuur B5.11). Omstreeks 2100 varieert de stijging tussen de 35 cm en 85 cm.

Vergelijking IPCC en KNMI'06 klimaatscenario's

De zeespiegelstijgingen uit de klimaatscenario's van het KNMI zijn gebaseerd op dezelfde modelstudies waarop het IPCC (2007) zich baseert. Toch komt het KNMI uit op een grotere bandbreedte: 35 tot 85 centimeter zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van 1990. Dit verschil van ruim 25 centimeter voor de bovengrens is het gevolg van een iets andere aanpak.



Figuur B5.4 Gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust tussen 1900 en 2004 ten opzichte van NAP ("absolute zeespiegelstijging"), en de klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Bron waarnemingen: RWS-RIKZ.

In de KNMI'06 scenario's zijn regionale effecten meegenomen voor de uitzetting van het zeewater: de cijfers representeren niet het wereldgemiddelde maar de zeespiegelstijging door uitzetting in het noordoosten van de Atlantische Oceaan. Naar verwachting zal de zeespiegel daar ongeveer 0 tot 15 centimeter meer stijgen dan het wereldgemiddelde. In het noorden brengt de 'Warme Golfstroom' water van het oppervlak naar de diepte. In het noorden warmt daarom niet alleen het zeewater aan het oppervlak maar ook dat op grotere diepte op in reactie op een stijgende atmosfeertemperatuur. Het gevolg is meer uitzetting in het noorden dan in de tropen en subtropen. De extra opwarming en de verwachte afzwakking van de "Warme Golfstroom" hangen met elkaar samen.

Een ander belangrijk verschil tussen de cijfers van het KNMI en het IPCC is de bijdrage van de Groenlandse en West-Antarctische ijskap. De laatste jaren neemt bij beide ijskappen de afkalving aan de randen sterk toe. Deze waarnemingen hebben een belangrijke beperking van de huidige ijskapmodellen blootgelegd: de processen die deze toename kunnen veroorzaken ontbreken nog in de modellen. Het IPCC stelt daarom dat de gevoeligheid van de ijskappen voor opwarming van de atmosfeer groter kan zijn dan tot nu toe gedacht. De bijdrage van 10 tot 20 centimeter wordt apart genoemd, en niet opgenomen in de schatting voor de totale zeespiegelstijging. Gezien de mogelijk grote gevolgen voor Nederland acht het KNMI het van belang om de bijdrage van versneld afkalven mee te nemen in de bepaling van de bovengrens.

BIJLAGE 6 METHODIEKEN KLIMATOLOGISCHE KAARTEN

Klimaatatlas

Elke 10 jaar maakt het KNMI een klimaatatlas met een beschrijving van het huidige klimaat in Nederland. De laatst verschenen atlas beschrijft de periode 1971-2000. Gegevens uit deze atlas worden bijvoorbeeld tijdens het journaal gebruikt bij “het weer” als “de normale temperaturen” voor een bepaalde tijd in het jaar. De volgende klimaatatlas zal de periode 1981-2010 beschrijven.

Beschikbare historische klimaatgegevens

Voordat iets gezegd kan worden over de veranderingen in de toekomst heeft men eerst een goede beschrijving van de huidige situatie nodig. In de huidige klimaatatlas staan vele kaarten. Deze kaarten zijn gemaakt met behulp van puntgegevens van KNMI-meetstations met voldoende gegevens (30 jaar). De daggegevens van alle weerstations van het KNMI zitten in een database, die zeer regelmatig met de meest recente gegevens wordt aangevuld. Het KNMI heeft weerstations (waarvan 15 met voldoende lange tijdreeksen), waar een grote verscheidenheid aan gegevens wordt verzameld, en neerslagstations (283), waar alleen de neerslag per dag wordt gemeten (figuur B6.1). De historische periode waarover gemeten waarden aanwezig zijn verschilt per station.



Figuur B6 1 Locatie KNMI-weerstations (links) en -neerslagstations (rechts; zie website KNMI, onder Klimatologie/verleden weer).

Bij het maken van de kaarten in de Klimaatatlas is indertijd gebruik gemaakt van een GIS, maar vooral bij temperatuur moesten de kaarten met de hand worden aangepast (te weinig punten voor goede ruimtelijke patronen) op basis van klimatologische kennis. Ook zijn gegevens van stations gebruikt die een tijdreeks hadden die eigenlijk niet lang genoeg was. In die gevallen is de volgende methode gebruikt. Stel een station (bijvoorbeeld Delfzijl) heeft slecht 20 jaar met data en we willen het aantal zomerse dagen bepalen:

bepaal het gemiddeld aantal zomerse dagen op basis van de 20 jaar voor Delfzijl;

bepaal het aantal zomerse dagen voor enkele stations dicht bij Delfzijl met minimaal 30 jaar gegevens op basis van 30 jaar en op basis van dezelfde 20 jaar als beschikbaar voor Delfzijl;

bepaal de verhouding tussen het aantal zomerse dagen op basis van 20 jaar en 30 jaar;

gebruik deze verhouding op het aantal zomerse dagen voor Delfzijl op basis van 20 jaar gegevens aan te passen tot een schatting van het aantal dagen op basis van een langere (30 jaar) reeks voor Delfzijl..

Voor enkele stations met een te korte tijdreeks kan deze reeks gecombineerd worden met een nabijgelegen station. Dit is bijvoorbeeld gebeurd voor Lelystad en voor Westdorpe.

Klimaatgegevens voor de toekomst

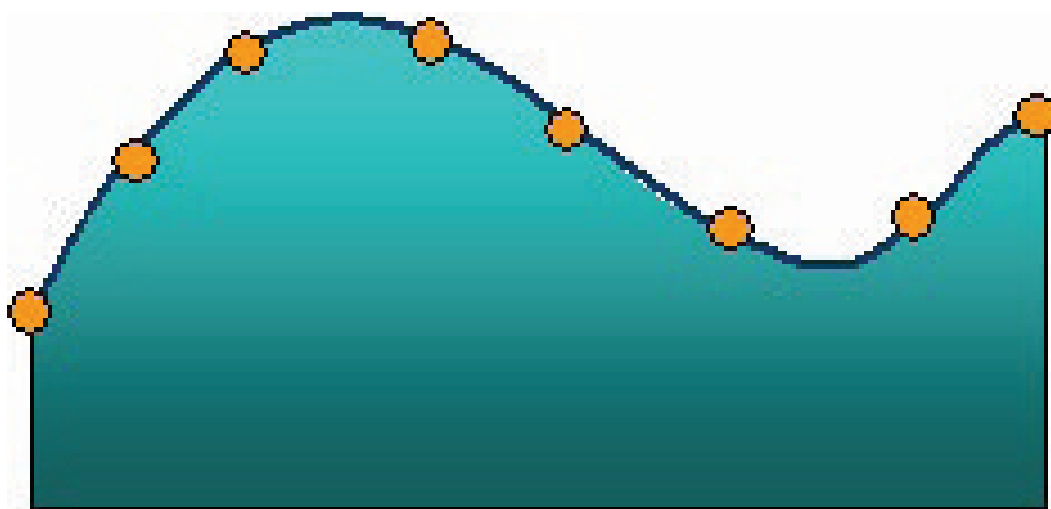
Voor de toekomst data is gebruik gemaakt van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. Het doel van dit programma is het omzetten van een historische neerslag- of temperatuurreeks op dagbasis in een reeks die past bij het klimaat onder één van de vier KNMI'06 klimaatscenario's voor een bepaalde tijdshorizon. Via het menu op de webpagina kan er gekozen worden uit verschillende klimaatscenario's, stations en tijdhorizonten. Het is ook mogelijk eigen historische tijdreeksen in te voeren. Dit programma houdt er expliciet rekening mee dat de gemiddelden anders kunnen veranderen dan de extremen.

Op basis van de getransformeerde tijdreeksen voor het klimaat rond 2050 zijn de verschillende klimaatvariabelen

voor de toekomst berekend. Voor temperatuur waren er 15 stations met voldoende lange tijdreeksen. Daarnaast is voor 2 stations met kortere tijdreeksen (Lelystad en Westdorpe) de reeks verlengd met die van een nabijgelegen station. Voor neerslag waren er ongeveer 280 stations met voldoende lange tijdreeksen.

Klimaatkaarten

Voor de interpolatie van meetgegevens van individuele stations naar vlakdekkende bestanden is gebruik gemaakt van de "thin-plate splines (TPS)" interpolatie techniek. TPS behoort tot de familie van Radial Basis Function (RBF) interpolatietechnieken. RBF interpolaties zijn exacte interpolaties. Dat betekent dat het gegenereerde vlak door alle meetwaarden gaat. Conceptueel gezien proberen de RBF interpolatietechnieken een rubberen vel door de meetwaarden te fitten.



Zoals in de figuur te zien is kan dit betekenen dat de resultaten lokaal hoger (zie bijvoorbeeld tussen waarneming 3 en 4 in de figuur) zijn dan de maximum meetwaarden in de dataset en ook lager dan de lokale minimum meetwaarden in de dataset. RBF interpolatie is vooral geschikt voor het interpoleren van geleidelijk veranderende fenomenen op basis van relatief veel waarnemingen.

Opdrachtgever : Provincie Noord-Holland
 Project : Klimaatschetsboek
 Dossier : B1661.01-001
 Redactie : Ir. Annemarieke Verbout, DHV B.V.
 Auteurs : Dr. P.J.T. (Jan) van Bakel, Alterra Regionale waterhuishouding
 Dr. Janette Bessembinder, KNMI, adviseur, Afdeling Klimaatdata en -advies
 Dr.Ir. M. (Greet) Blom-Zandstra, Plant Research International, Plantaardige
 productiesystemen
 Christa Docter, provincie Utrecht
 Ir. C.M.L. (Tia) Hermans, Alterra Ruimtelijke Ordening; dynamiek van het ruimtegebruik
 Dr.ir. Annemarth Idenburg, DHV B.V. Senior consultant duurzaamheid
 Ir. Jan Willem Kooiman, Kiwa Water Reseach, Teamleider Geohydrologie; diepere
 grondwater- en bodemsystemen
 Dr.ir. G.H.P. (Gualbert) Oude Essink, Deltares, Hydrogeologie, zoet-zout grondwater
 Dr. Maurice P.C.P. Paulissen, Alterra, Gevolgen van abiotische veranderingen en
 verzilting voor natuur
 Connie Raijmaekers, provincie Utrecht
 Drs. Sabine van Rooij, Alterra Landschapsecologie
 Dr. Eveliene Steingröver, Alterra Landschapsecologie
 Dr.Ir. Lodewijk C.P.M. Stuyt, Alterra Integraal waterbeheer, verzilting
 Ir. Annemarieke Verbout, DHV B.V. Adviseur
 Dr. Claire C. Vos, Alterra Landschapsecologie
 Drs. Nander Wever, KNMI, klimaatonderzoeker, Afdeling Klimaatdata en -advies
 Naam/paraaf :
 Layout : Hanneke Busscher
 Interne controle :
 Projectleider : Job van den Berg
 Projectmanager : Marjolein Demmers
 Datum : 29 augustus 2008
