



Klimaat-effectschetsboek Gelderland

Alterra
DHV B.V.
KNMI
VU

Provincie Gelderland
augustus 2008

dossier : B1661.01.001
registratienummer :
versie : definitief

Provincie: Gelderland
augustus 2008

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

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 meegenomen. 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 Gelderland en het klimaateffetschetsboek	7
1.2	Het klimaat verandert	7
1.2.1	Klimaatverandering en het broeikas-effect	7
1.2.2	Klimaatsscenario's	8
1.2.3	Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?	10
2	PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN	15
2.1	Welke informatie geven de kaarten?	15
2.2	Temperatuur	17
2.2.1	Gemiddelde temperaturen	17
2.2.2	Temperatuur extremen	19
2.3	Neerslag	25
2.3.1	Gemiddelde neerslag	25
2.3.2	Extreme neerslag	29
2.4	Neerslagtekort	33
2.5	Zonneschijn	37
2.6	Wind	38
2.7	Zeespiegel	38
3	KLIMAATVERANDERINGSEFFECTEN	41
3.1	Watersysteem	41
3.1.1	Veiligheid/overstromingsrisico's: gevolgen voor de rivierafvoer en de zeespiegelstijging	41
3.1.2	Prioritering bij lage rivierafvoer	44
3.1.3	Waterkwaliteit	44
3.2	Stedelijk gebied	45
3.2.1	Wateroverlast in stedelijk gebied	45
3.2.2	Watertekort in de stad	46
3.2.3	Hittestress in de stad	47
3.2.4	Luchtkwaliteit	48
3.3	Landelijk gebied	48
3.3.1	Ruimedruk in de provincie Gelderland	49
3.3.2	Wateroverlast Landelijk gebied	49
3.3.3	Verdroging in het landelijk gebied	51
3.4	Landbouw	51
3.4.1	Vernatting in de winter	51
3.4.2	Droogteschade grondgebonden landbouw	52
3.4.3	Ziekten en plagen in de landbouw	53
3.5	Natuur	54
3.5.1	Effecten op natuur - algemeen	54
3.5.2	Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Gelderland	58
3.5.3	Adaptatie mogelijkheden	62
3.6	Infrastructuur	62
3.6.1	Wateroverlast verkeers-infrastructuur	63
3.6.2	Temperatuur en infrastructuur	63
3.7	Recreatie	63
	REFERENTIES	65
	BEGRIPPENLIJST	67
BIJLAGE 1	KNMI'06 klimaatsscenario's	68
BIJLAGE 2	Interpretatie van de kaarten	71
BIJLAGE 3	Het stadseffect	73
BIJLAGE 4	Waargenomen veranderingen in Nederland	74
BIJLAGE 5	Primaire effecten: kaarten en additionele informatie	78
BIJLAGE 6	Methodieken klimatologische kaarten	86

1 INLEIDING

Het klimaat verandert, dat is inmiddels wel duidelijk, en dat heeft maatschappelijke en ruimtelijke gevolgen voor Nederland. De precieze impact is nog niet bekend, maar de eerste tekenen geven wel aan dat er veranderingen gaan optreden voor neerslagpatronen en temperatuur. Als gevolg kan Nederland te maken krijgen met wateroverlast, watertekorten, zeespiegelstijging en verzilting en afname van de biodiversiteit. Dit heeft gevolgen voor de ruimtelijk inrichting. Om deze gevolgen inzichtelijk te maken heeft Gelderland, evenals een aantal andere provincies, een klimaateffectschetsboek op laten stellen.

In de schetsboeken 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 en bijlage 1). Bij de uitwerking van dit schetsboek is er voor gekozen om 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).

Hiermee bieden de schetsboeken inzicht in de basisgegevens over klimaatverandering in de komende vier decennia in de provincie Gelderland. Het doel van de schetsboeken is om een feitelijke basis te bieden voor de discussie over een klimaatbestendige adaptatiestrategie.

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

Dit schetsboek is samengesteld door een consortium van het KNMI, Alterra en DHV. 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.

1.1 De Provincie Gelderland en het klimaateffectschetsboek

In oktober 2007 heeft de provincie in de contourennota "Aanpakken en Aanpassen" de hoofdlijnen van haar klimaatbeleid vastgelegd. Deze hoofdlijnen worden uitgewerkt tot een Integraal Programma Klimaat, dat in het najaar van 2008 door Provinciale Staten zal worden vastgesteld. Hierin wordt een gestructureerde, uitvoeringsgerichte aanpak van zowel de adaptatie- als de mitigatieopgaven voor de periode 2008-2011 neergelegd.

Op het gebied van adaptatie kent Gelderland grote uitdagingen, onder andere in het rivierengebied en rond de waardevolle natuur. In het adaptatiebeleid wordt aandacht besteed aan klimaatbestendigheid van watersystemen, natuur, stedelijke leefomgeving en infrastructuur. Veranderingen daarin kunnen consequenties hebben voor de ruimtelijke inrichting van Gelderland, evenals een aantal mitigatievraagstukken, bijvoorbeeld rond windenergie, biomassa en energie-infrastructuur. Het klimaatschetsboek is een eerste stap om, gebaseerd op eenduidige en degelijke informatie, de opgaven op de verschillende deelterreinen in beeld te brengen en te integreren tot een klimaatbestendige inrichting van Gelderland.

1.2 Het klimaat verandert

1.2.1 Klimaatverandering en het broeikas effect

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 onder andere de gemiddelde temperatuur in verschillende seizoenen, de neerslag, uren zonneschijn, etc. Ook een beschrijving van de extremen hoort bij de beschrijving van een klimaat.

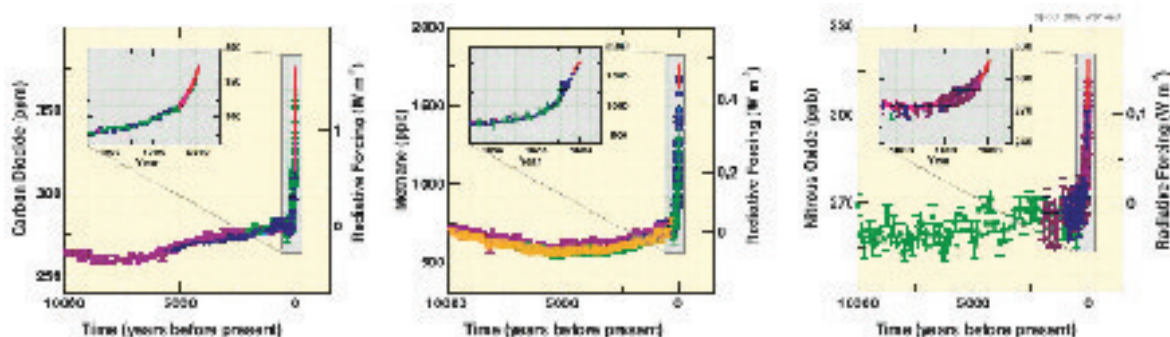
Vaak wordt een periode van 30 jaar gebruikt om de gemiddelden en extremen van een klimaat te bepalen (standaard volgens de World Meteorological Organization). Een periode van 30 jaar bevat een groot deel van de natuurlijke variatie tussen jaren (maar niet alles). Het KNMI maakt elke 10 jaar een overzicht 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 preïndustriële tijdperk (ong. 1860) is de CO₂ concentratie bijv. van 280 ppm (parts per million) toegenomen tot ongeveer 380 ppm nu.



Figuur 1.1 Verandering van de concentraties CO₂ (links), methaan (CH₄, midden), en N₂O (rechts) in de afgelopen 10.000 jaar (IPCC, 2007).

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. CO₂ 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 preïndustriële tijdperk (ongeveer 1860) is de concentratie van CO₂, CH₄ en N₂O door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 1.1; IPCC, 2007).

1.2.2 *Klimaatscenario's*

Wat zijn klimaatscenario's?

Klimaatscenario'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. Klimaatscenario'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 klimaatscenario's

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)¹ produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatscenario's

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).

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 ontwikkeld, maar ook de economie, technologie, etc. (sociaal-economische en technologische scenario's).

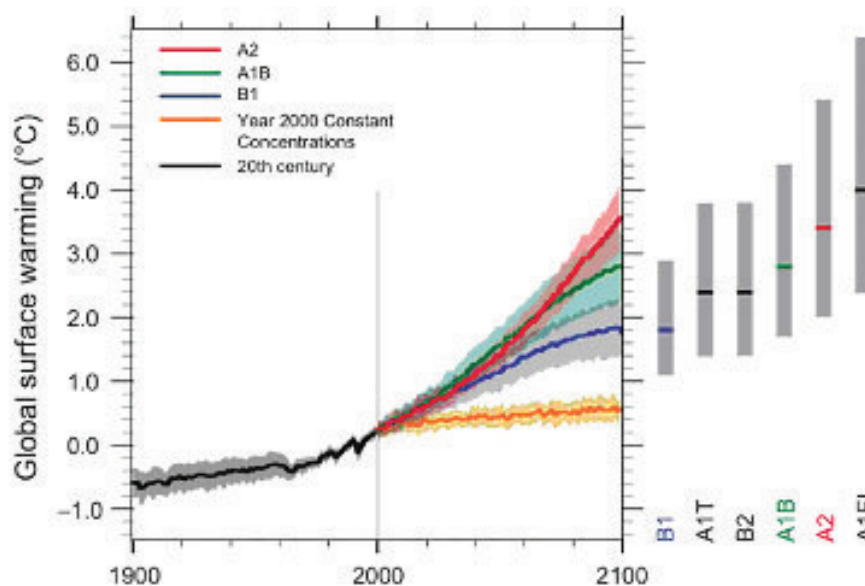
De mondiale klimaatscenario's (Figuur 1.2) van het IPCC geven vaak niet voldoende informatie om de effecten van klimaatverandering in een kleiner gebied te bepalen. Het KNMI produceert daarom regionale klimaatscenario's voor Nederland en omgeving. In 2000 is in het kader van 'WaterBeheer 21ste Eeuw'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

De KNMI'06 klimaatscenario'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).

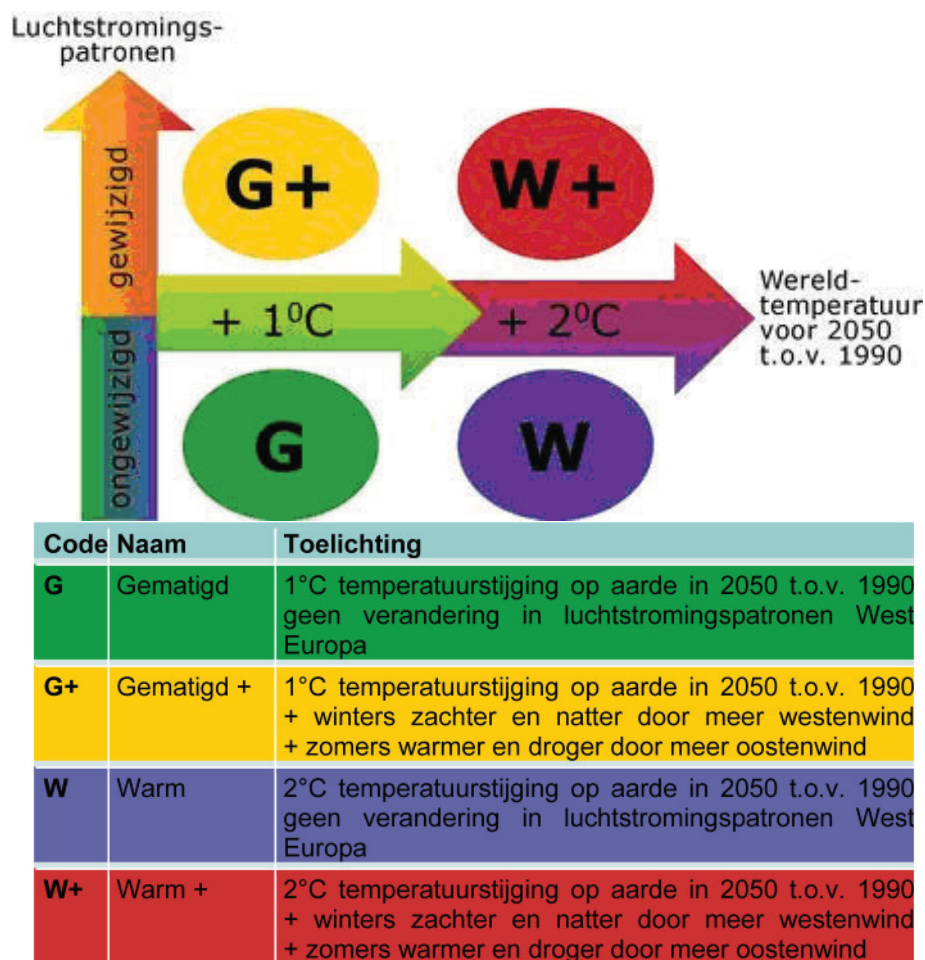
Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatscenario's zijn:

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



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).

² Voor een uitgebreidere beschrijving van deze klimaatscenario'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/klimaatscenarios/.



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

Samen geven deze klimaatscenario'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.

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

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 klimaatstelsel 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 klimaatstelsel. 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 klimaatstelsel.

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

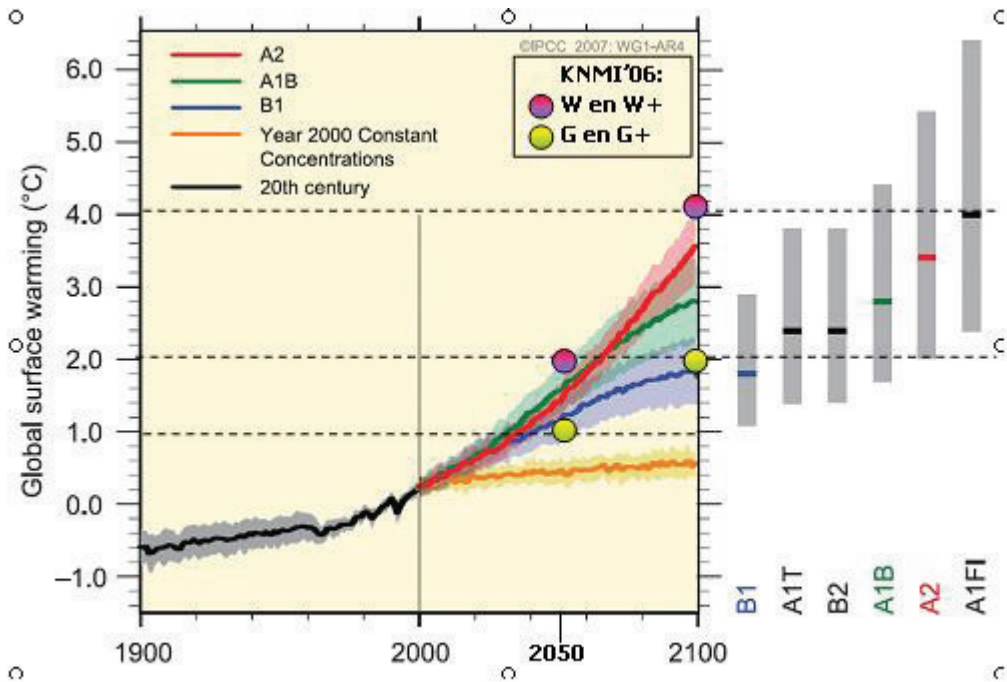
Omgaan met onzekerheden

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.

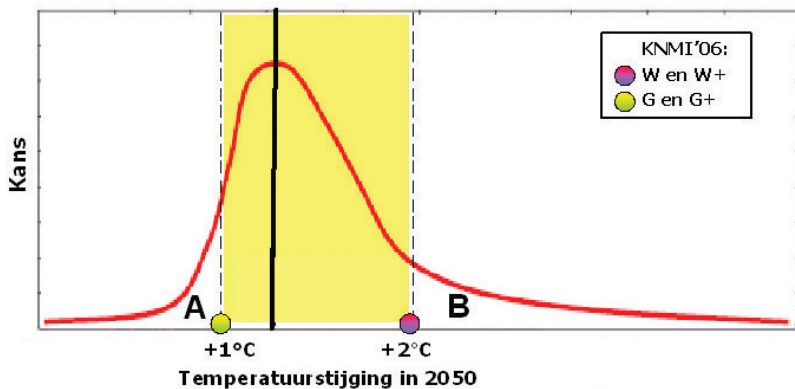
Om een goed beeld van de mogelijke veranderingen en effecten in de toekomst te krijgen is het verstandig om alle vier de KNMI'06 scenario's te gebruiken en deze te vergelijken met de huidige situatie. In dit rapport zullen uit praktische overwegingen telkens kaarten worden gepresenteerd voor de huidige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















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 1.6 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.

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 Gem. max. temperatuur Gem. min. temperatuur	jaar			geringste toename in G, grootste toename in W+
	winter			
	lente			
	zomer			
	herfst			
aantal ijsdagen			figuur 2.1	geringste afname in G, grootste afname in W+
aantal vorstdagen			figuur 2.2	
aantal warme dagen			figuur 2.3	geringste toename in G, grootste toename in W+
aantal zomerse dagen			figuur 2.4	
aantal tropische dagen			figuur 2.5..	
Neerslag: par. 2.4				
Gemiddelde neerslag	jaar		figuur 2.6	grootste toename in W, grootste afname in W+
	winter-halfjaar			
	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 klimaatpatronen 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):

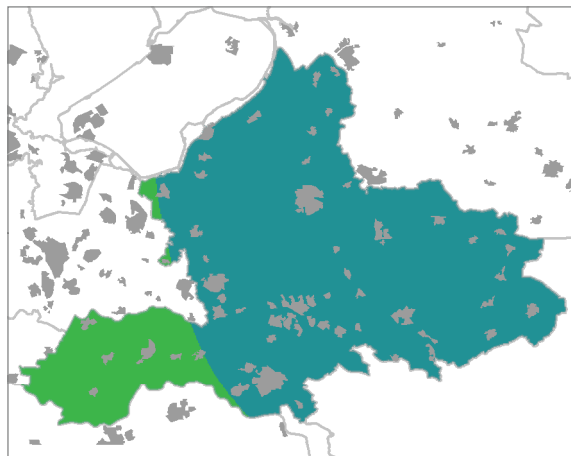
- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis;
- Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's;
- Voor temperatuur kunnen 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:

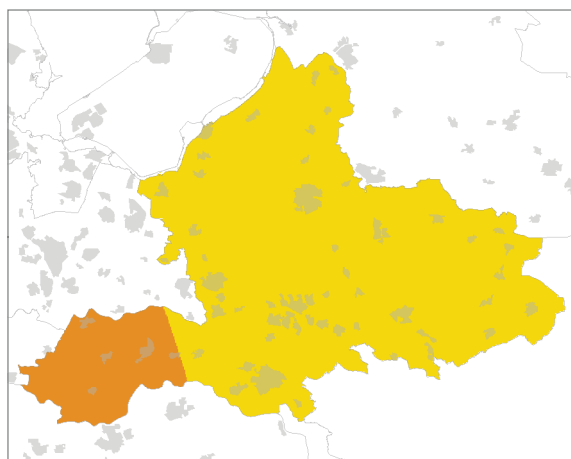
- de kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- de kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen 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).

Aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C)

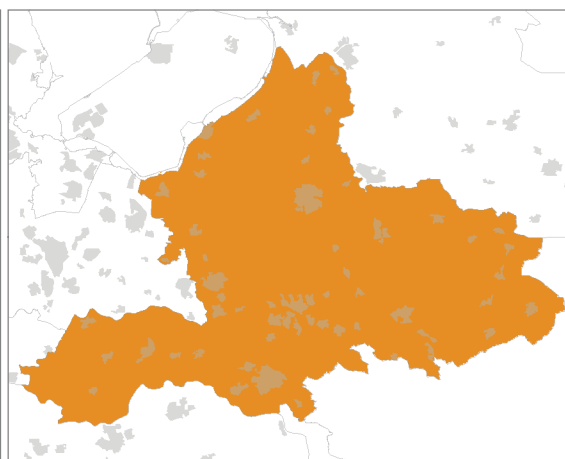
1976 - 2005



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

- 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

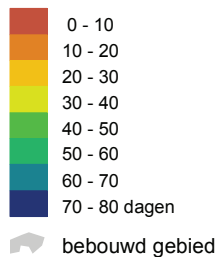
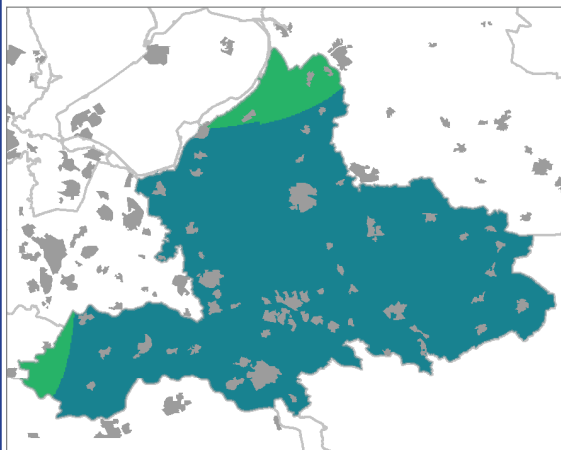
De vier KNMI'06 scenario's laten een opwarming rond 2050 zien variërend van 0,9°C tot 2,3°C in de winter (december, januari en februari) en van 0,9°C tot 2,8°C in de zomer (juni, juli en augustus) ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur is in alle scenario's vooralsnog 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 temperatuurtoename 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

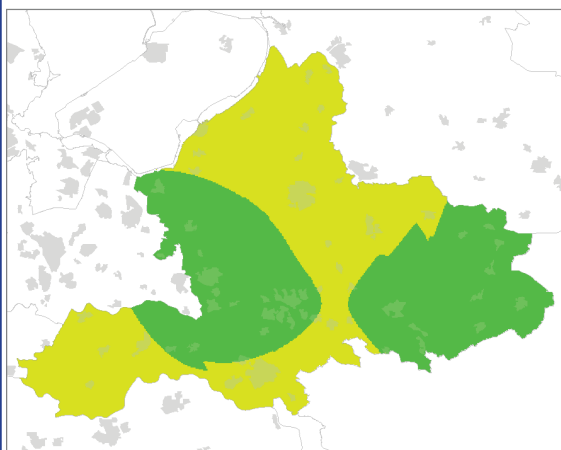
In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur in de zomer aan de kust lager dan meer landinwaarts. In de winter is het omgekeerde het geval. Gelderland heeft geen kusteffect, waardoor het in de zomer gemiddeld wat warmer is en in de winter gemiddeld wat kouder is dan langs de kust. In steden is het gemiddeld wat warmer dan op het omringende platteland ("urban heat island effect", bijlage 3). Dezelfde patronen zullen in de toekomst blijven bestaan. 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.

Aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C)

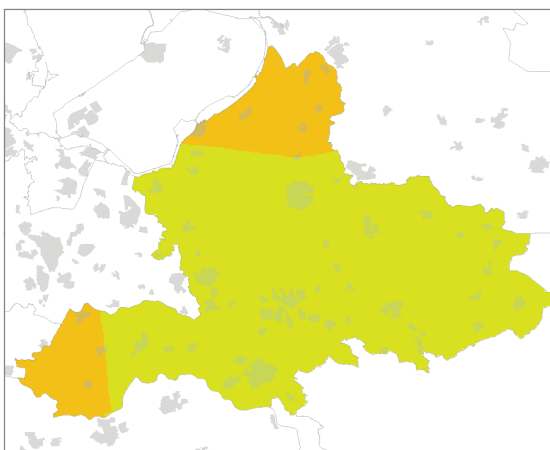
1976 - 2005



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.

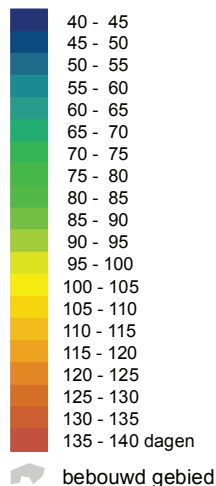
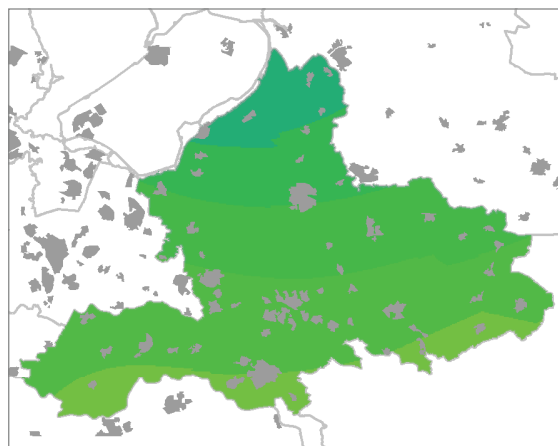
2.2.2 *Temperatuur extremen*

Toekomstige trends

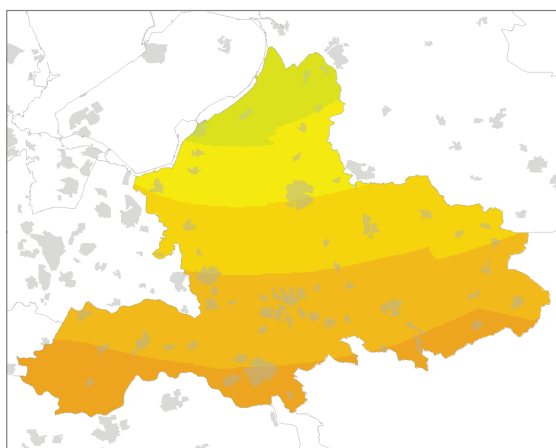
De vier KNMI'06 scenario's geven een sterkere stijging van de temperatuurextremen dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0 °C tot 2,9 °C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0 °C tot 3,8 °C 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 °C) en ijsdagen (maximumtemperatuur <0 °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 ≥ 30 °C), zomerse dagen (maximumtemperatuur ≥ 25 °C) en warme dagen (maximumtemperatuur ≥ 20 °C) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

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

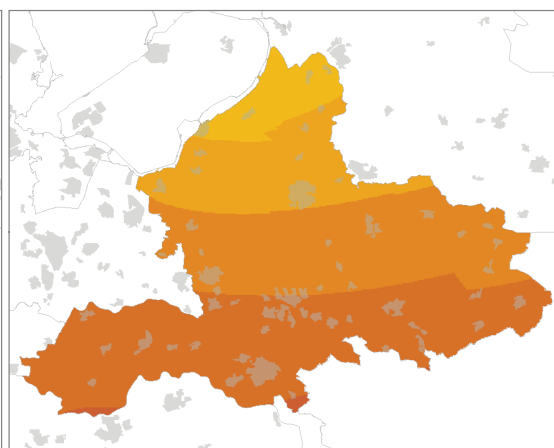
1976 - 2005



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 (links) en het W+-scenario (rechts). 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 ijsdagen (figuur 2.1) en vorstdagen (figuur 2.2) aan de kust kleiner dan meer in het binnenland. 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. In de omgeving rond het IJsselmeer wordt door de nabijheid van het grote wateroppervlak ook de temperatuur 's zomers wat lager en 's winters wat hoger dan verder in het binnenland. Als gevolg hiervan is het aantal warme, zomerse en tropische dagen aan de noord- en westkant van Gelderland lager dan aan de zuid- en oostkant, en het aantal vorstdagen is daardoor eveneens aan de westkant van Gelderland lager dan aan de oostkant. 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.

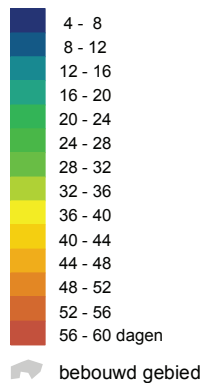
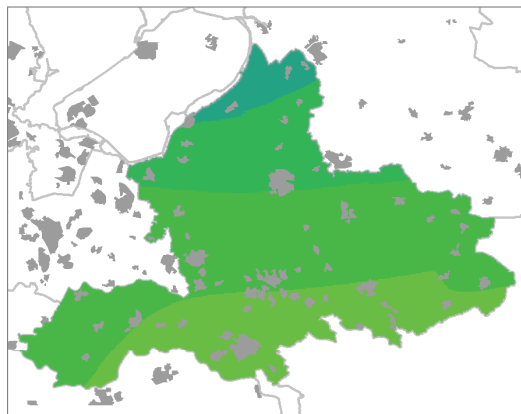
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- U kunt vaker zonder jas naar buiten (het aantal zomerse dagen, met een maximum temperatuur van ≥ 25 °C stijgt);
- U zult vaker last hebben van hittestress (het aantal tropische dagen met een maximum temperatuur van ≥ 30 °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.

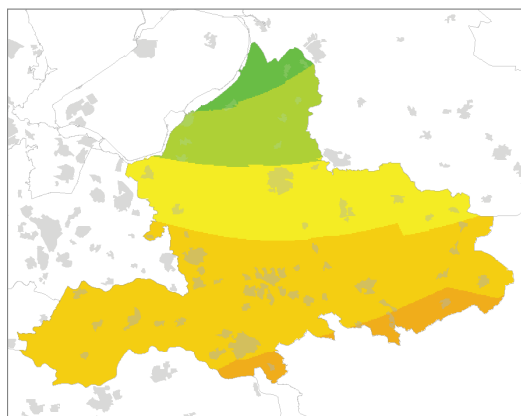
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over de secundaire effecten.

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

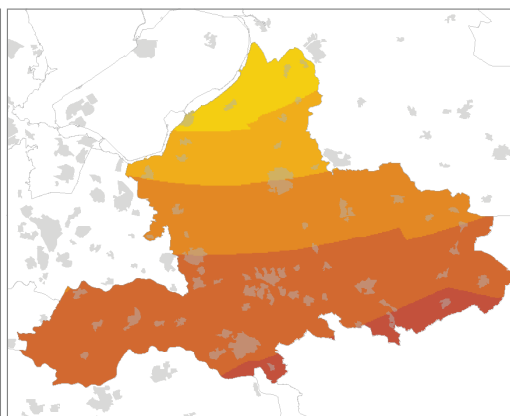
1976 - 2005



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?

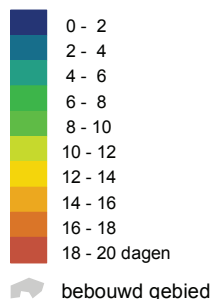
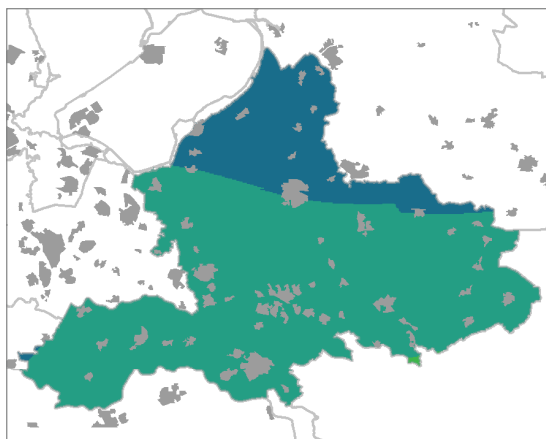
Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Gemiddeld is de temperatuur in de zomermaanden juni tot en met augustus rond Deelen 16,6 °C (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 15,0 en 18,7 °C). In 2003 was de gemiddelde temperatuur rond Deelen 18,8 °C, ruim 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 rond Deelen. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.



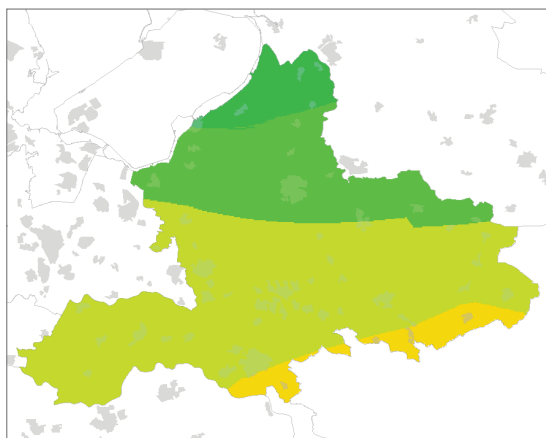
Veel dagen met strandweer bij Scheveningen in de zomer van 2003 en in de maanden juni en juli in 2006

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

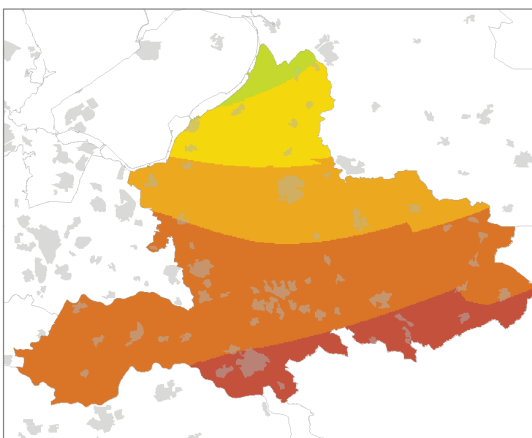
1976 - 2005



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.

Rond Deelen was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 13,3 °C, tegen 10,0 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 8,0 en 11,6 °C), en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 5,7 °C, tegen 2,6 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 1,3 en 5,3 °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)

2.3 Neerslag

- Toename van de gemiddelde neerslag in de winter;
- Gemiddelde neerslag in de zomer kan licht toenemen maar ook sterk afnemen;
- Veranderingen in 2100 tweemaal 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

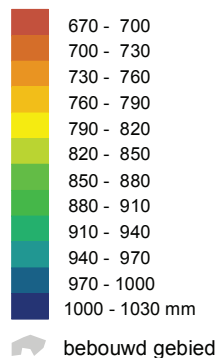
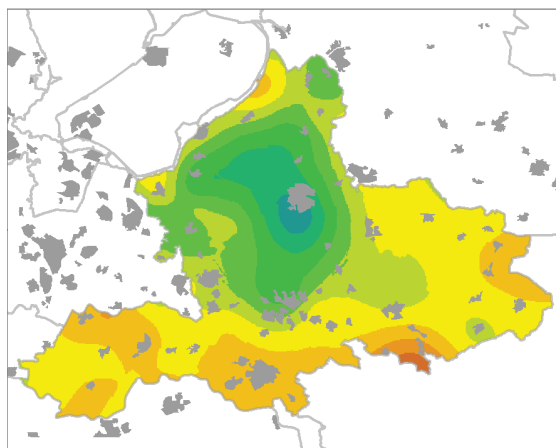
Toekomstige trends

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.

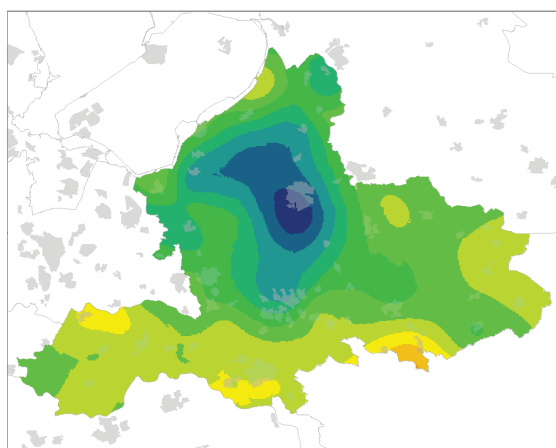
Dit komt tot uiting in de KNMI'06 scenario's. In het G- en W-scenario (waarbij ervan uit wordt gegaan dat de stromingspatronen niet veranderen) neemt de neerslag in Nederland zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In het G+- en W+-scenario (met 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 zomer- en winterhalfjaar 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 het G- en W-scenario toe, en in het G+- en W+- scenario 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

Gemiddelde Neerslag (jaar)

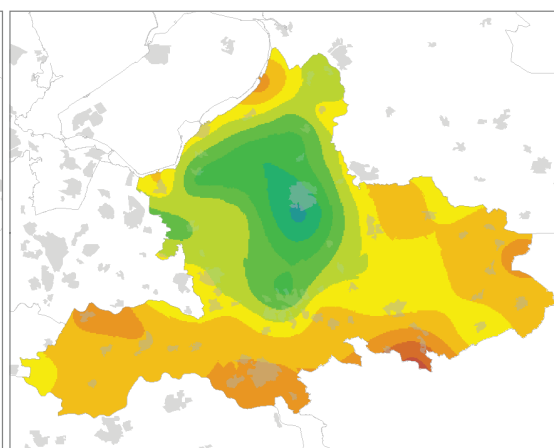
1976 - 2005



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

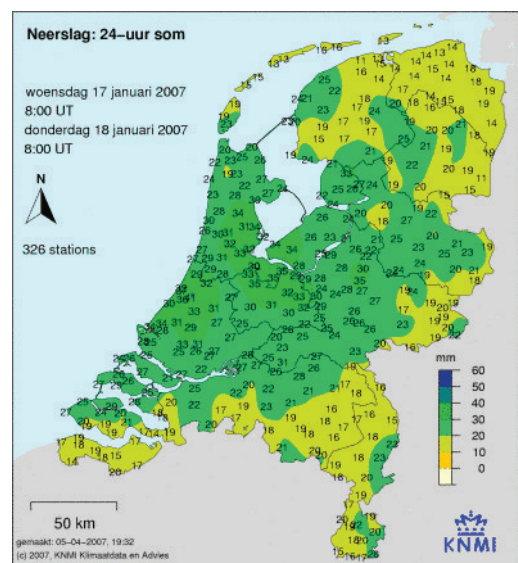
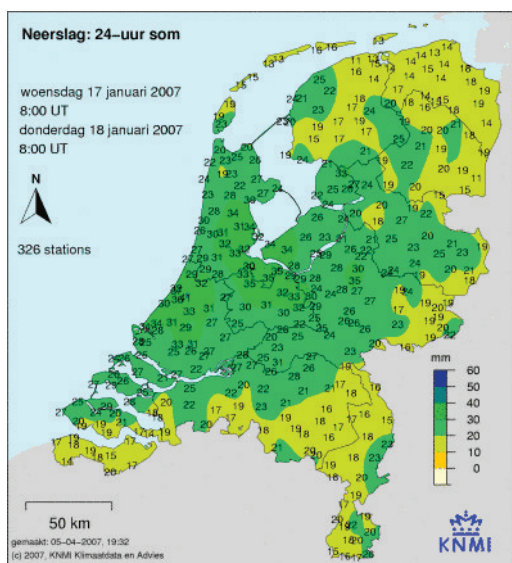
Figuur 2.6 Kaarten met de gemiddelde neerslag per jaar (in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (midden) en het W+-scenario (onder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel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

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.

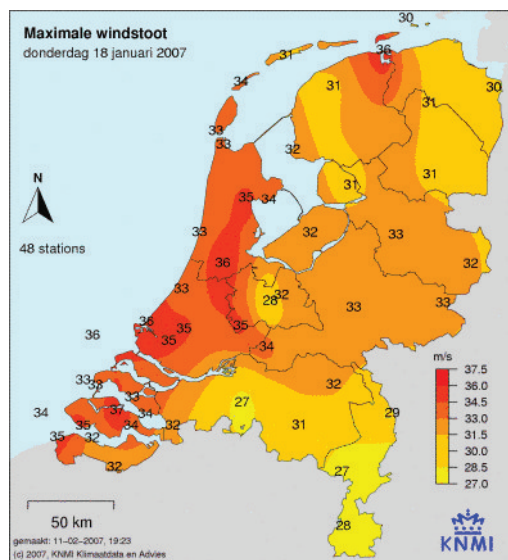
18 januari (2007): doden door storm en regen in Ede, tunnels lopen vol

Op 18 januari 2007 is er veel regen gevallen rond Ede zoals in bovenstaande figuren is te zien. Naast hevige neerslag kunnen ook andere factoren een rol spelen bij wateroverlast: toename van verharding en daardoor meer oppervlakkige afstroming van water, verstopte afvoeren, ondergedimensioneerde afvoeren, etc.

In de toekomst neemt de intensiteit van extreme buien in de winter (december-februari) in alle KNMI'06 scenario's toe. De kans dat eenzelfde hoeveelheid als op 18 januari 2007 valt zal dus toenemen.

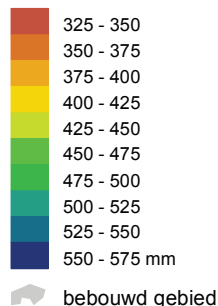
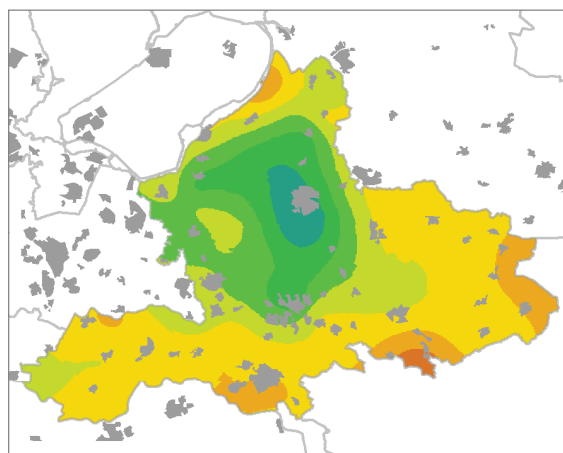


Op 18 januari 2007 was er ook sprake van harde windstoten in de omgeving van Ede. In de KNMI'06 scenario's neemt de extreme daggemiddelde wind niet of nauwelijks toe. De scenario's doen echter geen uitspraken over veranderingen in windstoten.

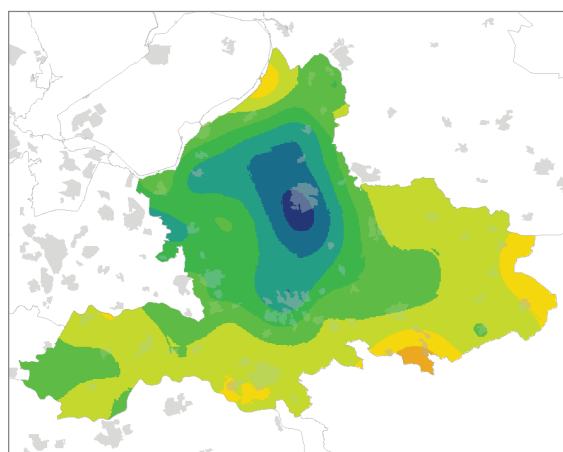


Gemiddelde Neerslag per winterhalfjaar

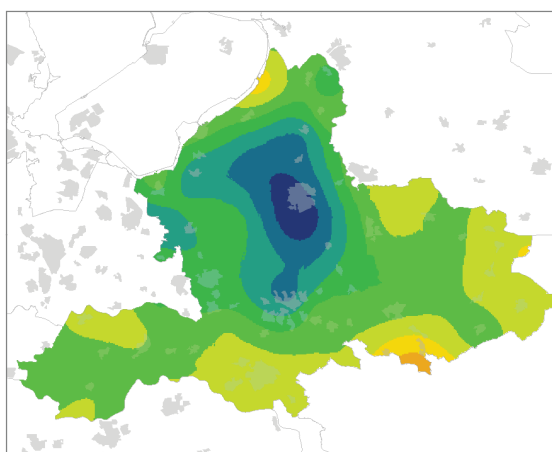
1976 - 2005



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.

Ruimtelijke patronen

In figuur 2.6 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen de provincie Gelderland. Wat met name goed zichtbaar is, is de verhoogde neerslag over de Utrechtse Heuvelrug. Dit hangt samen met verhoogde neerslagproductie door een opgaande beweging van de lucht over het heuvellandschap. Vergelijkbare patronen zijn terug te vinden in de gemiddelde neerslag in het winter- en zomerhalfjaar (figuren 2.7 en 2.8; zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002)). Het aantal dagen met ≥ 1 mm (voldoende regen om nat te worden) verschilt ook binnen Gelderland. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag, maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag lijken wel meer dagen met ≥ 1 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

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 het G+-en W+-scenario 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 het 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

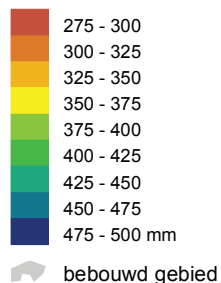
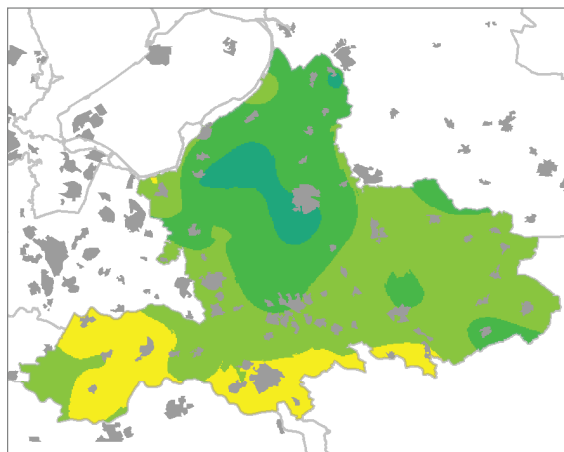
Het aantal dagen met ≥ 15 mm varieert ook binnen de provincie Gelderland. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag, maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag blijken wel meer dagen met ≥ 15 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

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.

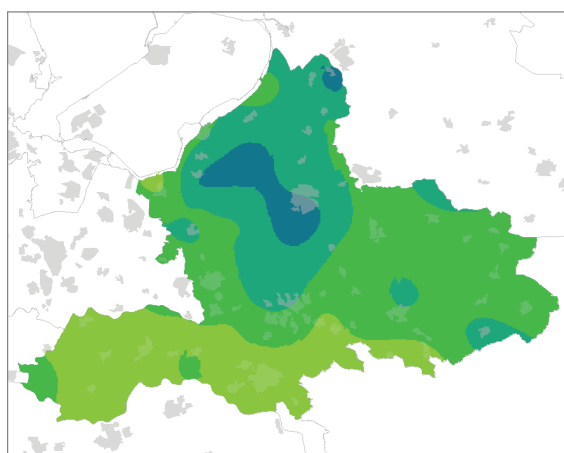
Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. Op basis van een eerste schatting kan geconcludeerd worden dat de verschillen in extreme 9-daagse sommen tussen de KNMI-neerslagstations in Gelderland (range 88-117 mm) relatief groot zijn, ook ten opzichte van station De Bilt. In de toekomst neemt deze extreme 9-daagse neerslagsom toe, maar een schatting van de toekomstige waarden is moeilijk te maken.

Gemiddelde Neerslag per zomerhalfjaar

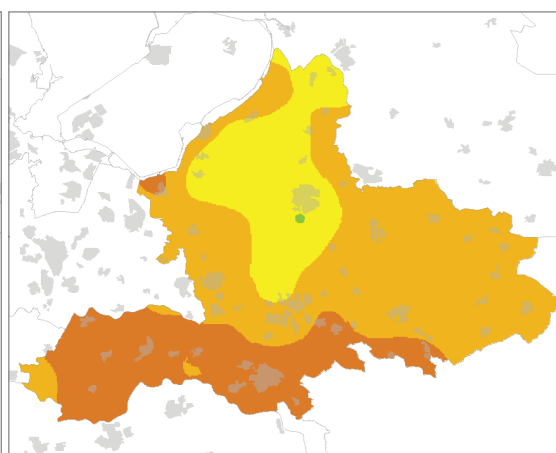
1976 - 2005



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.

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 tuifeesst verregent minder groot (afname van het aantal regendagen in deze klimaatscenario's).

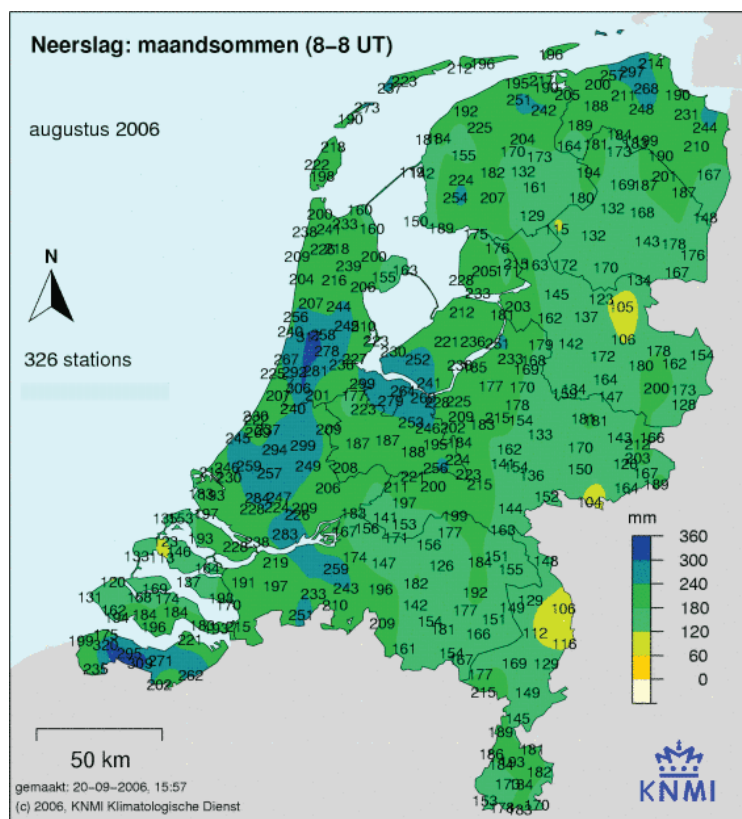
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

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 Gelderland in de periode 1971-2000 ligt rond de 60 mm. In augustus 2006 was de maandsom op een paar stations in het westen van Gelderland ongeveer 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. In Maasland is op 2 augustus zelfs 93 mm gevallen.

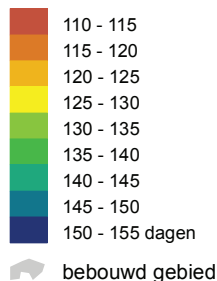
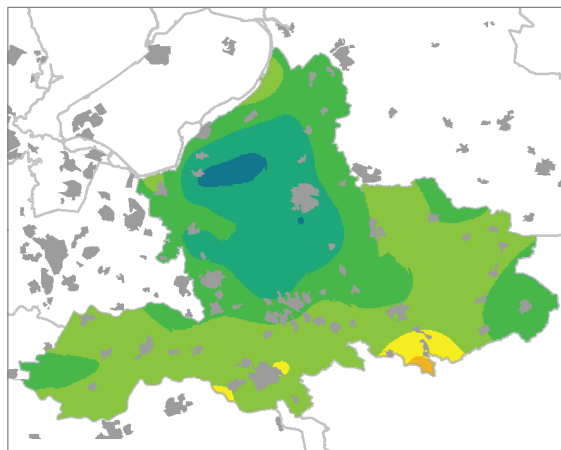
De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de gemiddelde neerslag in de zomer, en twee scenario's laten zelfs een duidelijke afname zien. Dat betekent dat in de toekomst zo'n grote hoeveelheid neerslag als in augustus 2006 ook nog steeds uitzonderlijk zal zijn. Alle KNMI'06 scenario's laten 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!



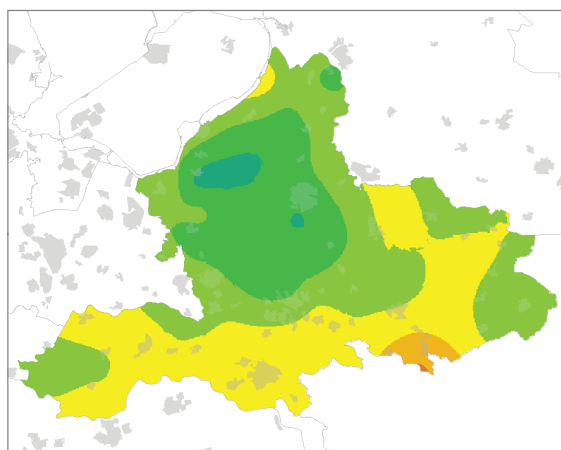
Figuur 2.11 Maandneerslagsommen in augustus 2006

Aantal dagen met ≥ 1 mm neerslag (jaar)

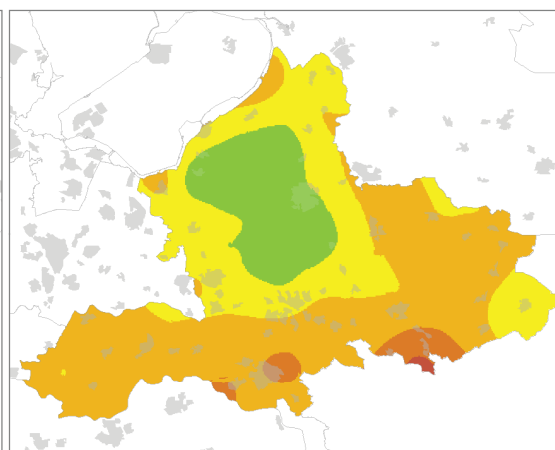
1976 - 2005



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.

2.4 Neerslagtekort

- 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 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).

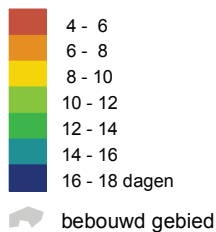
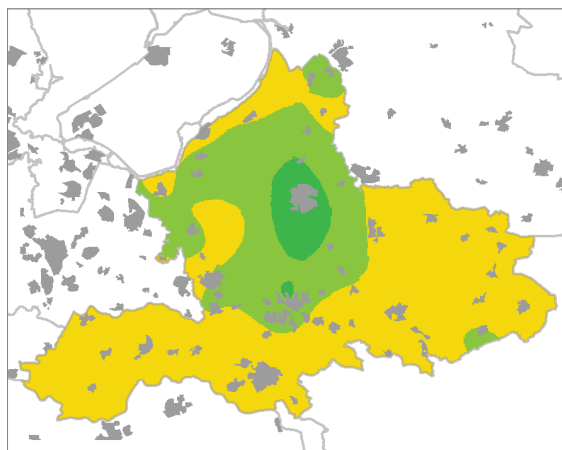
Figuur 2.12 laat zien dat het jaarlijkse verloop van het gemiddelde neerslagtekort in Nederland (de doorgetrokken lijnen) in het W-scenario rond 2050 slechts marginaal toeneemt ten opzichte van het klimaat in de periode 1906-2000. Het zelfde geldt voor het G-scenario. Met andere woorden: in deze scenario's wordt het, gemiddeld gezien, nauwelijks droger rond 2050. Min of meer hetzelfde geldt voor de extremere jaren (in Figuur 2.12 de 10% droogste 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

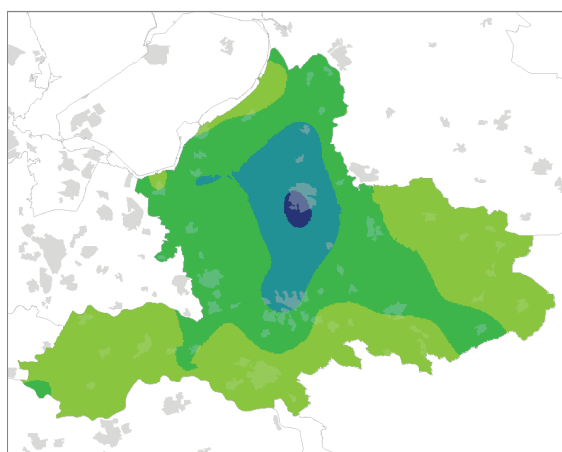
De jaarlijkse potentiële verdamping verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002 p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook enkele ruimtelijke verschillen zien. Met name rond de Utrechtse Heuvelrug is het neerslagtekort in de zomermaanden kleiner. Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald. Rond de Utrechtse Heuvelrug is het neerslagoverschot in de winter het grootst. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat daar meer neerslag valt.

Aantal dagen met ≥ 15 mm neerslag (jaar)

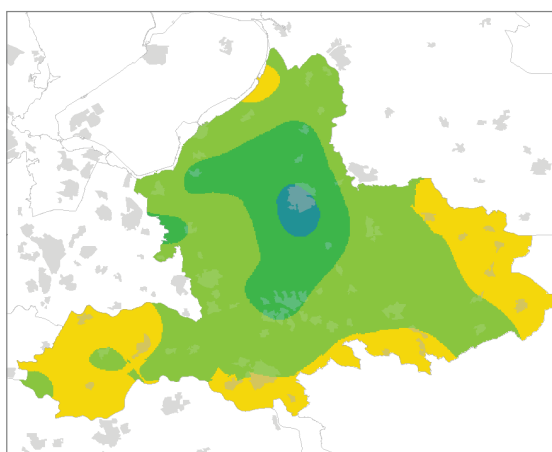
1976 - 2005



2050 W

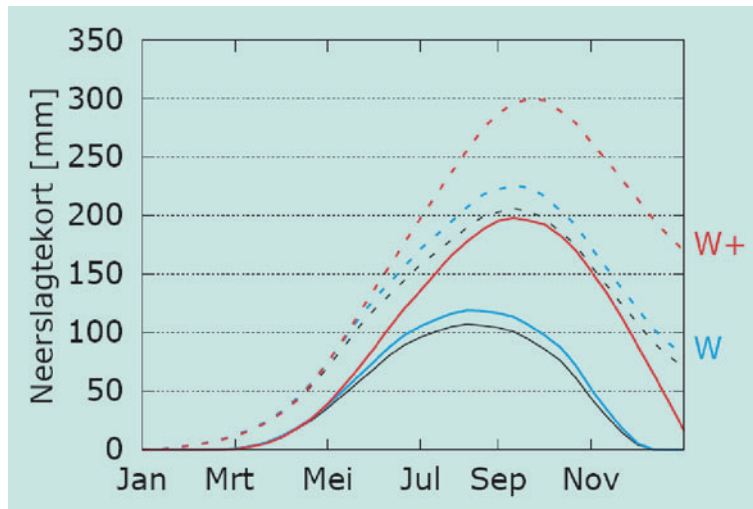


2050 W+

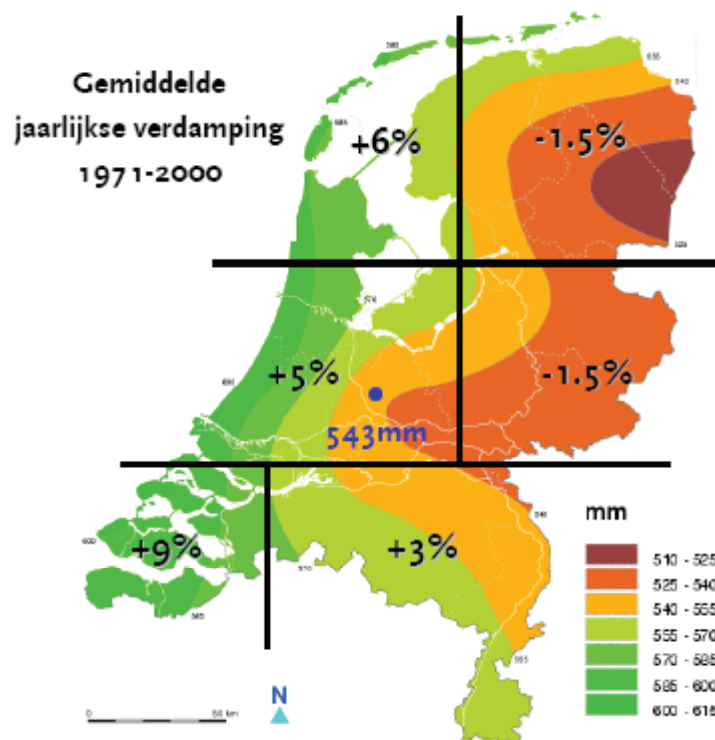


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

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.



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.



*Water op straat:
overlast?*

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 hoofdstuk3 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? 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 G- en W-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

- In het winterhalfjaar geen grote veranderingen in uren zonneschijn verwacht;
- In het zomerhalfjaar kan het aantal uren zonneschijn toenemen of gelijk blijven;
- Veranderingen in uren zonneschijn 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 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). 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.

Ruimtelijke patronen

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde jaarlijkse zonneschijnduur. 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 ruimtelijke patroon niet veranderen.

2.6 Wind

- Veranderingen in het windklimaat zijn klein t.o.v. 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 klimaat scenario's, die gebaseerd zijn op dezelfde modellen als gebruikt voor het 4^e Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze treed 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).

De directe invloed van stormvloeden voor Gelderland is gering, aangezien Gelderland niet aan de kust ligt. Een deel van Gelderland ligt echter wel onder NAP, zodat stormvloeden toch van belang zijn. Stormvloeden 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 stormvloeden uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloeden wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging (zie 2.8).

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). In de winter (december-februari) is de gemiddelde windsnelheid het hoogst, en in de zomer (juni-augustus) het laagst. Ditzelfde patroon zal in de toekomst blijven bestaan.

2.7 Zeespiegel

- 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.

Gelderland is geen kustprovincie, maar een deel ligt toch onder NAP. Bovendien worden de rivierafvoeren beïnvloed door zeespiegelstijging. Daarom is zeespiegelstijging voor Gelderland toch ook interessant.

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.

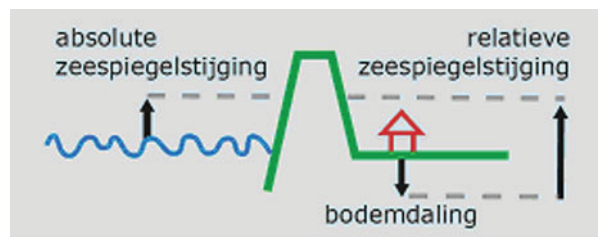
Oceanen en ijskappen reageren erg traag op veranderingen in de atmosfeer. Daarom zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten, zelfs als de temperatuur na 2100 niet meer zou stijgen. Alleen al door de uitzetting van het zeewater zal het zeeniveau in 2300 ongeveer 30 tot 80 centimeter hoger zijn dan in de 20e 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 (par. 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;

Thema	Trend	Gevolg	Paragraaf
Watersysteem			
- Overstromingsrisico's Rijn	- Hogere rivierafvoer in de winter - Zeespiegelstijging	- Verandering piekafvoeren onbekend. Afhankelijk van meerdere factoren.	3.1.1
- Prioritering rivierafvoer	- Lagere rivierafvoer in de zomer	- Concurrerende wateraanvoerbehoeften	3.1.2
- Waterkwaliteit	- Temperatuurstijging - Droogte in de zomer - Toename hevige buien	- Gunstigere omstandigheden voor blauwalg - Vaker riooloverstort - Drinkwatervoorziening onder druk	3.1.3
Stedelijk gebied			3.2
- Wateroverlast	- Toename hevige buien	- Vaker water op straat	3.2.1
- Watertekort	- Neerslagtekort in de zomer	- Paalrot in oude binnensteden - Fluctuatie grondwaterstanden	3.2.2
- Temperatuur	- Hogere temperaturen in binnensteden	- Toename hittestress - Toename gezondheidsproblemen/sterfte	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
- Ruimtedruk	- Veel vraag naar ruimte	- Ruimtedruk neemt toe	3.3.1
- Wateroverlast	- Toename neerslag in winter - Intensere buien zomer	- Meer wateroverlast - Overlast op recreatieterreinen	3.3.2
- Verdroging	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Daling grondwaterstanden - Afname kwel in kwelafhankelijke gebieden	3.3.3
Landbouw			3.4
- Vernatting	- Toename neerslag in winter - Intensere buien	- Incidentele schade	3.4.1
- Droogteschade	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Nog onbekend	3.4.2
- Ziekten en plagen	- Temperatuurstijging - Toename neerslag	- Kansen en bedreigingen - Mogelijke nieuwe ziektes en plagen	3.4.3
Natuur			3.5
- Versterkte verdroging	- Neerslagtekort	- Verdroging - Eutrofiëring - Verzuring	3.5
- Periodieke vernatting	- Toename intense buien	- Verdrinking van soorten	3.5
- Biodiversiteit	- Temperatuurstijging - Verdroging - Meer extremen	- Verschuiving klimaatzones - Grotere aantalfuctuaties met mogelijk uitsterven.	3.5
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 zwenwaterkwaliteit	3.7
- Wateroverlast	- Intensere buien zomer	- Overlast op recreatieterreinen	3.3.1

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

3 KLIMAATVERANDERINGSEFFECTEN

Veranderingen in temperatuur, neerslag en zeespiegelstijging, zoals beschreven in hoofdstuk 2, hebben verschillende gevolgen. Deze gevolgen zijn ook afhankelijk van verschillende fysisch-geografische aspecten in een gebied, zoals hoogteligging, bodemtype, hydrologische eigenschappen, en van de manier waarop een gebied is ingericht. In dit hoofdstuk worden klimaatsveranderingseffecten 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.

De beschrijvingen in dit hoofdstuk over verschillende gebiedstypes en functies beperken zich tot de gevolgen van klimaatverandering. In veel gevallen zullen veranderingen tot 2050 in een gebied en voor de functies ook bepaald worden door sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen. In sommige gevallen zullen de effecten van dergelijke ontwikkelingen zelfs invloedrijker zijn dan die van de klimaatverandering. In deze versie van het klimaateffectschetsboek wordt hier echter zeer beperkt rekening mee gehouden.

3.1 Watersysteem

Klimaatverandering zal voor het watersysteem de volgende gevolgen hebben:

- De overstromingsrisico's kunnen veranderen. De omvang van het effect is echter nog niet bekend.
- 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.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.1.1 Veiligheid/overstromingsrisico's: gevolgen voor de rivierafvoer en de zeespiegelstijging

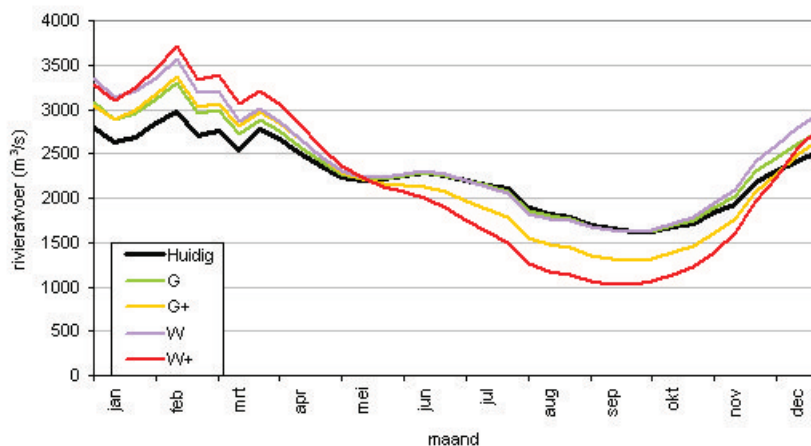
Gaan de overstromingsrisico's veranderen onder invloed van klimaatverandering? Om over die vraag iets te kunnen zeggen zijn een aantal begrippen van belang: rivierafvoer, maatgevende afvoeren, normen, kansen, gevolgen en risico's.

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 Rijnakken is de rivieraanvoer bij Lobith een belangrijk gegeven. In figuur 3.1 staan de huidige gemiddelde rivieraanvoer bij Lobith en de verwachte gemiddelde afvoer bij Lobith bij verschillende KNMI'06 scenario's in 2050. Zoals de grafiek laat zien zal de fluctuaties in rivieraanvoeren in alle scenario's toenemen. In de wintermaanden is de verwachte afvoer hoger in alle scenario's dan in de huidige situatie en in de zomermaanden is de verwachte afvoer gelijk of lager dan in de huidige situatie.

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van de rivier wordt echter niet uitgegaan van gemiddelde rivieraanvoeren, maar van de 'maatgevende afvoer', die aanzienlijk hoger ligt dan de gemiddelde afvoer. De maatgevende afvoer in het bovenriviergebied heeft een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar. Voor de hoogwaterbescherming van Gelderland is vastgelegd dat bij een maximale afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith de kans op een overstroming in de meeste dijkkringen van de provincie Gelderland beperkt moet zijn tot eens in de 1250 jaar. Dit is bepalend voor de maatgevende hoogwaterstanden in dit gebied.

Door de hoge rivierafvoeren van 1993 en 1995 is de maatgevende afvoer van de Rijn verhoogd van 15.000 naar 16.000 m³/s bij Lobith. In het Programma Ruimte voor de Rivier worden maatregelen genomen om deze verhoogde afvoer veilig naar zee te leiden zonder dat hiervoor grootschalige dijkverhoging nodig is. Dit zijn vooral ruimtelijke maatregelen.

De verwachting is dat, net als dat de gemiddelde rivierafvoer onder invloed van klimaatverandering verandert, zoals is weergegeven in figuur 3.1, ook de maatgevende afvoeren onder invloed van klimaatverandering verandert. 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 afhangen van de maatregelen die in het gehele stroomgebied van de Rijn worden genomen en vooral in Duitsland. Neemt Duitsland maatregelen die de afvoercapaciteit vergroten, dan is de kans groot dat ook de afvoer bij Lobith toeneemt.



Figuur 3.1 Verwachte 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, kan behalve deze maatgevende afvoeren nog een aantal andere factoren meegenomen worden. Afhankelijk van de economische waarde in het 'achterland' is het mogelijk 'overstromingskansen' voor de primaire keringen te bepalen waarbij deze economische waarde dan ook een rol speelt in de beveiliging van de dijkkring. In Gelderland is de norm 1/1250 per jaar. Een norm van 1/1250 wil zeggen dat de dijk een waterstand met een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar veilig moet kunnen keren. Bij het dijkontwerp wordt overigens 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 beschikbaar.

Als gevolg van klimaatverandering zal naar verwachting 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 (beneden)rivieren en op het IJsselmeer en daarmee ook in de randmeren. 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 moeilijk of 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, en 60% bij iedere extra meter zeespiegelstijging.

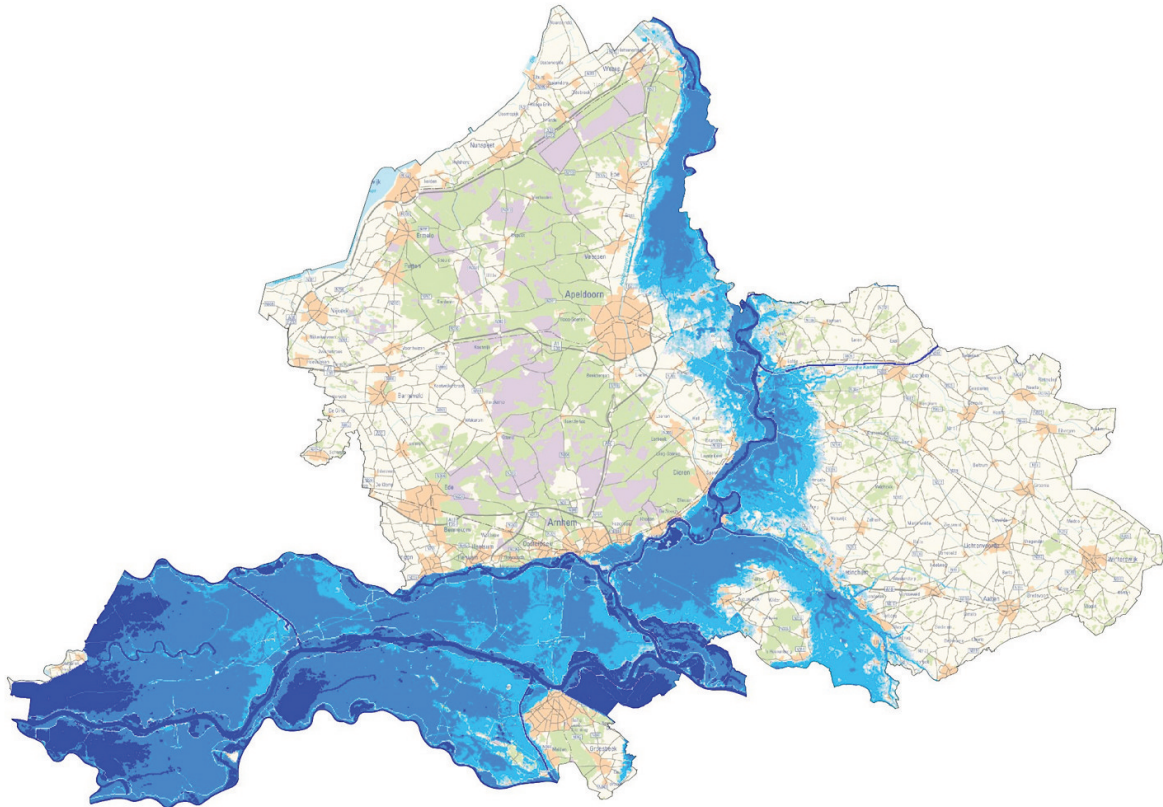
Klimaatverandering: gevolgen voor overstromingskansen en blootstelling

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 een vergroting 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 dijkkringen is desalniettemin hoger dan volgens de vigerende norm wenselijk is. Door middel van de uit te voeren dijkversterkingen die op het hoogwaterbeschermingsprogramma staan en het project Ruimte voor de Rivier worden de Gelderse dijkkringen weer voorzien van de benodigde bescherming.

Tussen nu en 2020 zal de kans op overstroming in veel gebieden verder afnemen door verdere dijkverbetering (projecten als Ruimte voor de Rivier en zwakke schakels voorzien hierin). Bij voortzetting van het huidige beleid met vijfjaarlijkse toetsing aan herziene maar wettelijk vastgelegde normen - zal de kans op overstroming 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. Door bevolkingsgroei en economische groei neemt de kwetsbaarheid voor overstromingen toe.

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. In het onderstaande plaatje vindt er in elke dijkkring een dijkdoorbraak plaats onder maatgevende omstandigheden. De kaart geeft aan hoeveel water in een specifieke gebied komt te staan als de dijk bezwijkt. Op basis van deze info kan bijvoorbeeld de calamiteitenbestrijding haar rampenplannen baseren.



Figuur 3.2 Overstromingsdiepte kaart: Let op de kaart geeft aan tot hoever het water komt bij mogelijke overstromingen, maar kan nooit het gevolg zijn van één bres. Donkerder blauw betekent een grotere overstromingsdiepte.

De kaart geeft geen informatie over de kans op een overstroming. De doorbraaksimulaties waarover in de kaarttoelichting gesproken wordt hebben geen relatie met de klimaatscenario's in dit schetsboek. De simulaties gaan uit van de afvoer onder huidige klimaatcondities. (In het project Veiligheid Nederland in Kaart zullen de huidige 'kansen' op overstromingen berekend worden. Zie www.helpdeskwater.nl/projectvkn/ Waarmee bij het berekenen van deze kaarten wel rekening is gehouden, is de meest waarschijnlijke combinatie van rivierafvoer, stormvloedstand en keringsituatie van de stormvloedkeringen, die onder maatgevende omstandigheden optreden. Zoals eerder 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 enerzijds bepaald door de hoeveelheid water, maar vooral door het gebruik van het land achter de dijk. Met name een tweetal factoren spelen een rol: het 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. Gericht beleid zou ook kunnen betekenen dat de risico's afnemen.

Samenvattend **Afvoer**

De rivierafvoeren zullen als gevolg van klimaatverandering in het winterhalfjaar naar verwachting groter worden en voor in de zomer kleiner. De piekafvoer van de rivier kan hoger worden, 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. Daarmee zou de kans op een overstroming toenemen. Daar kan met dijkverhoging of met rivierverruiming op worden gereageerd.

Overstromingskans

Tussen nu en 2020 zal de kans op overstroming in veel gebieden verder afnemen door maatregelen als verdere dijkverbetering, projecten als Ruimte voor de Rivier en Zwakke Schakels die worden uitgevoerd om de wettelijke vastgelegde veiligheidnormen te kunnen handhaven. 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.

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, vooral in de Betuwe en de stadsregio Arnhem-Nijmegen ten oosten van de A50.

Onder invloed van klimaatveranderingen kunnen de overstromingsrisico's veranderen, maar 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.

3.1.2 *Prioritering bij lage rivierafvoer*

De hoeveelheid zoet water neemt in het zomerhalfjaar in de +-scenario's sterk af terwijl de vraag naar water sterk toeneemt. De verdeling van het water wordt een steeds belangrijker vraagstuk. Het optreden van lage rivierafvoeren zal dit vraagstuk versterken. De vraag is of de huidige verdringingsreeks hierin voldoende voorziet of dat een verfijndere afweging moet worden ontwikkeld.

Bij lage rivierafvoeren wordt het water verdeeld over de IJssel, de Nederrijn en de Waal. Actief ingrijpen op de waterverdeling over deze takken zal vaker voorkomen (referentie zomer 2003). De huidige verdringingsreeks heeft de volgende prioritering:

1. Veiligheid (irreversibele ingrepen)
2. Nuts-voorzieningen
3. Kleinschalig hoogwaardig gebruik (proceswater industrie, tijdelijke beregening kapitaal-intensieve gewassen, doorspoelen stadswateren)
4. Overig (aquatische ecologie en waterkwaliteit, scheepvaart, landbouw, etc.)

Adaptatieopgave

Incidentele tekorten kunnen een structureel karakter krijgen. Wellicht is de verdeling van rivierwater in droge periodes net meer passend in de toekomstige situatie. De verdringingsreeks zal vaker toegepast kunnen worden. Dit kan leiden tot een herverdeling van water over gebruikersgroepen.

Mogelijk blijken in de toekomst andere zaken prioriteit te hebben. De huidige verdringingsreeks zal dan ter discussie komen te staan. Nu al wordt irreversibele schade aan natuur, als die te droog wordt, een stap hoger geplaatst op de ladder van de verdringingsreeks.

3.1.3 *Waterkwaliteit*

Blauwalg

In alle scenario's neemt de temperatuur toe, waarmee ook de watertemperatuur toeneemt. Hierdoor zijn de omstandigheden voor blauwalgen 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 daaropvolgende droge perioden zullen blauwalgen weer toenemen. Bovendien zorgt afspoeling van nutriënten weer voor betere omstandigheden.

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 en daarbij een toename van de intensiteit van de buien zal het vaker voorkomen dat het riool deze hevige buien niet aan kan. Via het riooloverstort bij gemengde en niet afgekoppelde rioolstelsels wordt dit overtollige water dan geloosd in sloten of vijvers. Bij gemengde rioolstelsels (die in verharde gebieden, gebouwd voor 1970, worden gebruikt) is dit water vermengd met afvalwater. Het huidige beleid is erop gericht om emissie van de riooloverstorten te beperken door afkoppeling. Echter door toenemende overstorten zal bijvoorbeeld de e.coli bacterie meer voorkomen. De waterkwaliteit zal dus afnemen.

3.2 Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

- In het stedelijk gebied zal zich moeten aanpassen aan het verwerken van extreme buien;
- De drinkwatervoorziening komt door temperatuurstijging en watertekort onder druk te staan;
- In stedelijk gebied leidt daling van grondwaterstanden tot verdergaande paalrot in de historische binnensteden;
- Hittestress als gevolg van stijgende gemiddelde temperatuur en het vaker voorkomen van extremen zal toenemen.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht

3.2.1 Wateroverlast in stedelijk gebied

In alle scenario's neemt de intensiteit van buien toe. Het aantal dagen met meer dan 15 mm neerslag neemt in alle scenario's toe, met name in het W-scenario. De stedelijke gebieden zijn ingericht op buien met een bepaalde herhalingstijd.

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

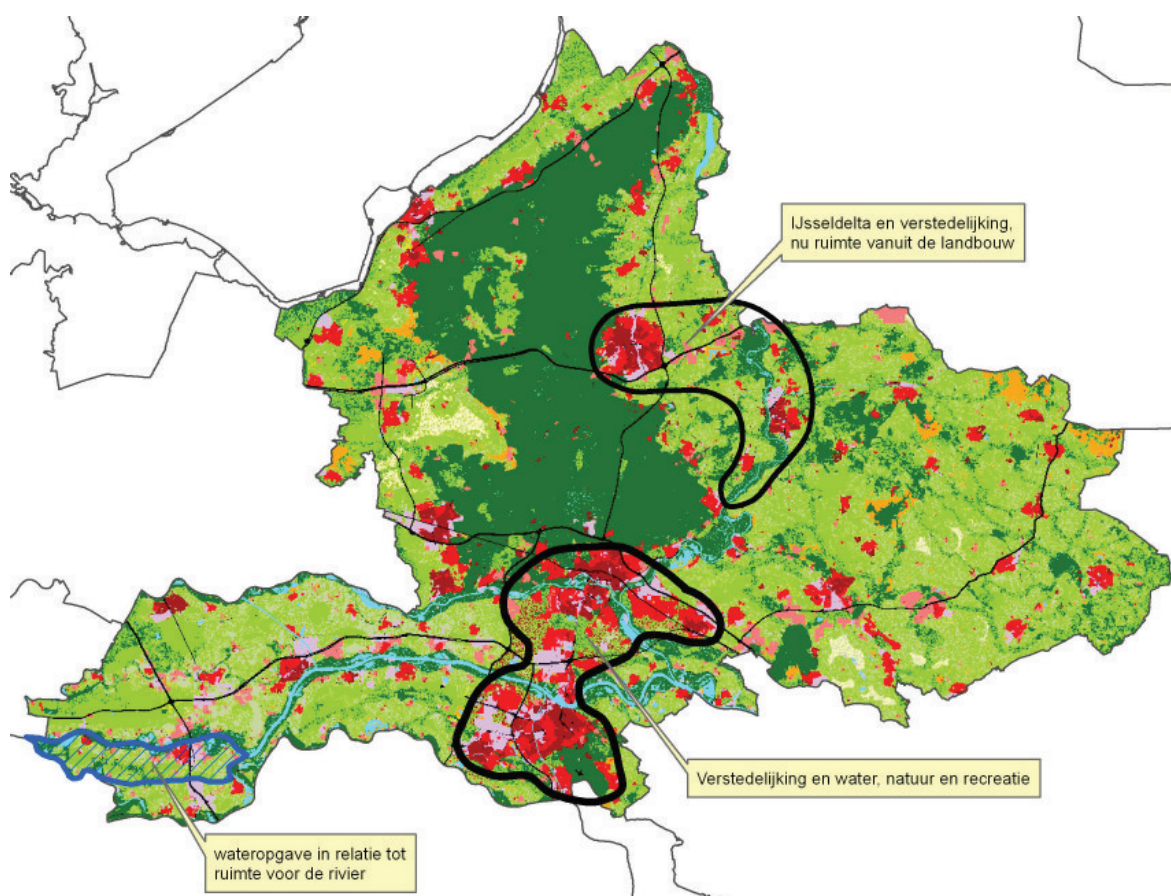
Bij hevige buien kan het huidige watersysteem (riolering + oppervlaktewater) in bebouwd gebied het water niet altijd aan. Gevolg is het ontstaan van water op straat met als gevolg overlast of zelfs schade aan woningen en winkels. Deze hevige buien zullen vaker voorkomen (De bui die nu met een herhalingstijd van eens in de 10 jaar valt zal straks eens in de vijf jaar kunnen voorkomen). De afvoercapaciteit van het transportsysteem (riolering en 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.

De 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. Inpassing van water in de leefomgeving biedt daarbij kansen voor vergroting van de omgevingskwaliteit van de stad.



Figuur 3.3 Stedelijke wateropgave

3.2.2 Watertekort in de stad

Drinkwatervoorziening

Er bestaat een verband tussen temperatuur en drinkwatergebruik. Droge zomers leiden dus tot hoge watervraag. Er zullen zich door droogte en opwarming meer pieken voordoen in de watervraag. Tegelijkertijd is de beschikbaarheid van voldoende water van voldoende kwaliteit voor de bereiding van drinkwater in gevaar. Droogte levert een bedreiging op voor de beschikbaarheid van water voor de bereiding van drinkwater, in kwantitatieve, maar met name in kwalitatieve zin. Een geringere aanvoer van water uit bovenstrooms gebied en uit hemelwater zorgt in de zomer voor een verslechtering van de waterkwaliteit. Door 'indikking' van het beschikbare water wordt de concentratie van schadelijke stoffen hoger. Er moet daardoor meer moeite gedaan worden om via zuiveringsprocessen aan de kwaliteitseisen voor drinkwater te voldoen. Opwarming van het water, gecombineerd met concentratie van voedingsstoffen in het water, verhoogt ook de kans op microbiële verontreiniging (o.a. legionella). Water als grondstof voor drinkwater mag daarom niet warmer dan 25° C zijn in het pompstation (zie DHV, 2007, "water als grondstof, innovatieagenda voor omgaan met water in perioden van droogte" A6200-01-001).

Paalrot in historische binnensteden op klei

Door lagere grondwaterstanden als gevolg van structureel neerslagtekort kunnen de paalkoppen in oude binnensteden die op klei zijn gebouwd 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.

Fluctuatie grondwaterstand

Door een toename van de neerslag in de winter en een afname van de neerslag in de zomer in de +-scenario's bestaat de mogelijkheid dat een grotere variatie ontstaat tussen grondwaterstanden in de verschillende jaargetijden.

Adaptatieopgave

Er zal moeten worden nagedacht hoe een 'reserve' voorraad aan water kan worden gevormd om het tekort aan water in droge periodes aan te vullen.

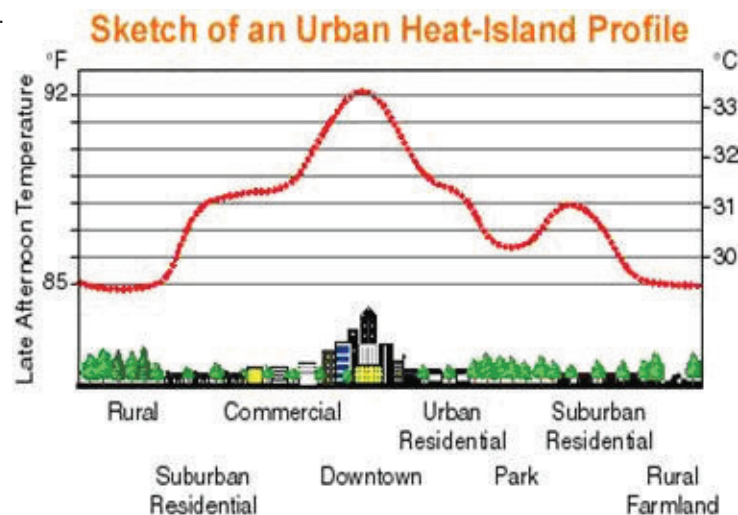
3.2.3 Hittestress in de stad

Als gevolg van een stijgende temperatuur zal hittestress vaker voorkomen. In alle KNMI'06 scenario's stijgt de temperatuur van de warme zomerdag sneller dan de gemiddelde zomertemperatuur. Dit is met name het geval in het G+- en W+-scenario. Vooral in deze scenario's zullen de extremen toenemen.

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter niet standaard metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten (volgens de WMO-standaard vereist in een landelijke omgeving te meten). Dit betekent dat alle kaarten met klimaatgegevens, 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.

De beperkte metingen die er wel zijn geven voor het centrum van Utrecht rond 1970-1975 bijvoorbeeld een gemiddelde temperatuur die ca. 1,1 °C hoger is dan op het omringende platteland. Op individuele dagen kan het verschil tussen het stadscentrum en het platteland echter veel groter zijn. Bij een stad met 1 miljoen inwoners is het maximale verschil op dagbasis ca. 7-8 °C, bij 100.000 inwoners ca. 5-6 °C. De grootste plaatsen in Gelderland zijn Arnhem, Nijmegen en Apeldoorn, allemaal met rond de 150.000 inwoners. Voor de grootte van het hitte-eiland-effect is het echter relevanter om te kijken naar agglomeraties in plaats van de individuele plaatsen.



Figuur 3.3 Schematische weergave van het temperatuur profiel van een 'Urban Heat Island'.

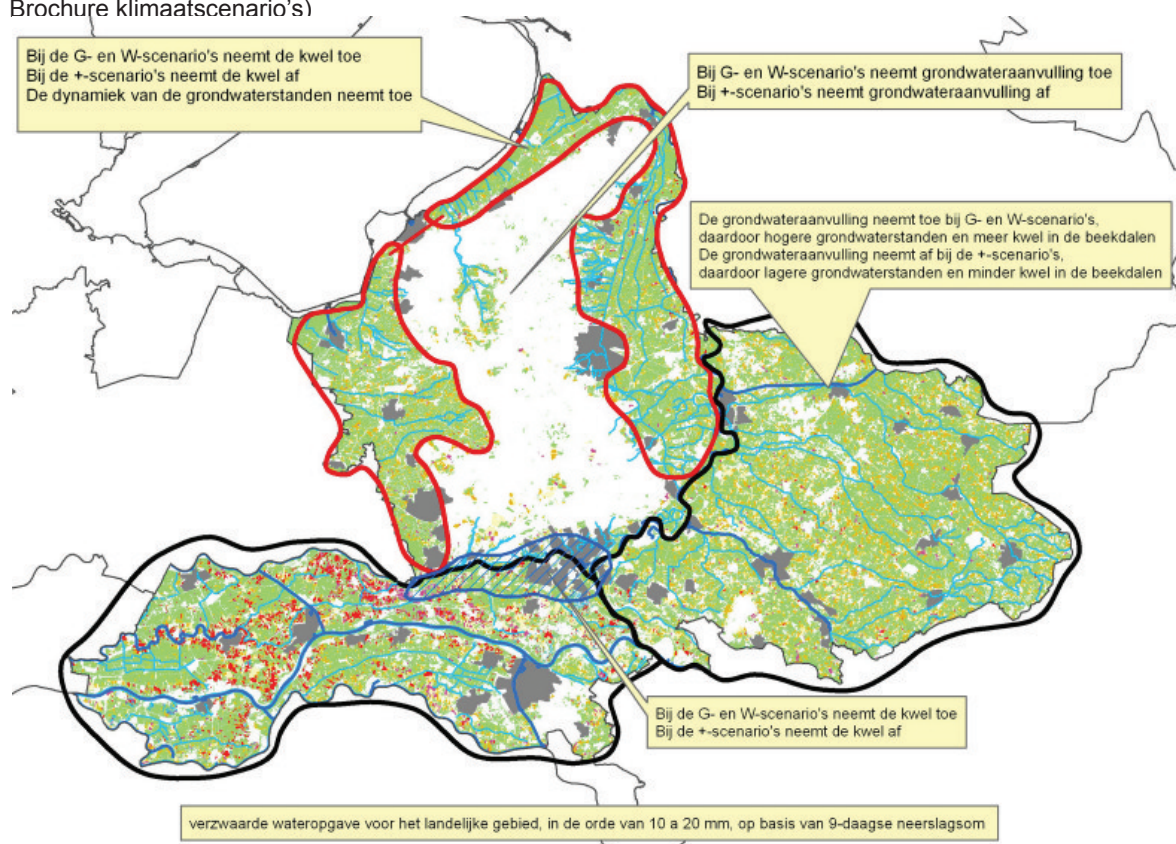
Warmte eiland

Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte-eilanden (ook wel hitte-eilanden genoemd) ontwikkelen. De sterkte van dit effect neemt toe met 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 geabsorbeerd 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. Rond 1970-1975 was het gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht circa 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.

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 ≥ 30°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)



Figuur 3.4 Overzicht van klimaateffecten in het landelijk gebied

3.3 Landelijk gebied

In deze paragraaf worden de effecten, die in het landelijke gebied in zijn geheel optreden, beschouwd. In paragraaf 3.4 en 3.5 worden landbouw en natuur apart behandeld.

Klimaatverandering heeft gevolgen voor de grond- en oppervlaktewatersystemen waardoor landbouw, natuur, en drinkwaterwinning worden beïnvloed. Deze gevolgen zijn:

- Toename van de extreme neerslagen, waardoor de WB21-wateropgave voor het landelijk gebied en de stad toeneemt;
- Toename van de jaarlijkse neerslag bij het W-scenario en waardoor ook de grondwateraanvulling enigszins toeneemt. Voor systemen met een groot hydrologisch geheugen zoals De Veluwe leidt dit tot

- hogere grondwaterstanden en daardoor meer kwel in de naastliggende kwelgebieden;
- Aanzienlijke toename van de verdamping in de zomerperiode bij het W+-scenario waardoor de grondwateraanvulling afneemt met daling van de grondwaterstanden tot gevolg. Vooral in systemen met een groot hydrologisch geheugen zoals De Veluwe kan de daling aanzienlijk zijn. Daardoor neemt ook de kwel in de naastliggende gebieden af en worden de beken in de Gelderse Vallei en de Achterhoek eerder afvoerloos

In figuur 3.4 zijn bovenbeschreven gevolgen weergegeven

3.3.1 Ruimtedruk in de provincie Gelderland

In het rapport 'Waar gebeurt het?' (Agricola et al., 2008) zijn gemeenten in Nederland getypeerd wat betreft de verwachte ruimtelijke veranderingen in de nabije toekomst. Daartoe is een denkraam ontwikkeld waarin de vraag naar ruimte geconfronteerd wordt met het mogelijke aanbod. Ruimtevragers kunnen zijn: natuur, water, recreatie en toerisme of stedelijke druk (diffuus en concrete plannen). Het aanbod is afkomstig van de land- en tuinbouw, zij het dat die meer of minder weerstand kan bieden afhankelijk van hoe sterk die is. Gemeenten zijn gescoord in vijf categorieën en in een kaartbeeld weergegeven: hot-spotgebieden (sterke landbouw, grote vraag naar ruimte), transitiegebieden (zwakke landbouw, grote ruimtevraag), luwtegebieden (zwakke landbouw, kleine ruimtevraag), agrarische gebieden (sterke landbouw, nauwelijks vraag naar ruimte) en overige gebieden. In Gelderland komen alle typen gebieden voor. Elk type gebied kent zijn eigen problematiek. Het gevecht om de ruimte is het grootst in hot-spotgebieden. Deze zijn in figuur 3.5 weergegeven.

Er is in het rapport geen rekening gehouden met gevolgen van klimaatverandering en de consequenties daarvan voor de ruimtevrage en het aanbod aan ruimte. Per aspect van klimaatverandering en gebied waar dit speelt, moet dit beoordeeld worden.

3.3.2 Wateroverlast Landelijk gebied

Wateroverlast landelijk gebied: winter

De 9-daagse neerslagsom met een herhalingstijd van x jaar die bepalend is voor het ontwerp van het afwateringssysteem, zal toenemen. Hierdoor zal het landelijk gebied, met name in de winter, meer wateroverlast krijgen.

Veel waterschappen zijn bezig, vóór 2015, hun watersysteem WB21-proof te maken. In veel gevallen wordt hierbij tijdelijk overgedimensioneerd omdat het WB21-middenscenario 2050 daarvoor is gebruikt. De KNMI-scenario's geven aan dat er 10-20% meer water te verwerken zal zijn ten opzichte van het middenscenario van WB21. De adaptatiestrategie van WB21 moet daarom versterkt ingezet worden. Bij overdimensionering in 2015 zal deze extra hoeveelheid water voorlopig nog goed te verwerken zijn maar de adaptatiestrategie van WB21 moet na 2015 opnieuw worden ingezet.

De grootte van het overlast is mede afhankelijk van de hoeveelheid verhard oppervlak in het gebied. Bij aanwezigheid van veel nieuw verhard oppervlak zullen waterbergingsvoorzieningen vaker worden gebruikt. Dit met mogelijk extra schade aan de landbouw als gevolg (afhankelijk van gewas en duur en tijd van optreden).

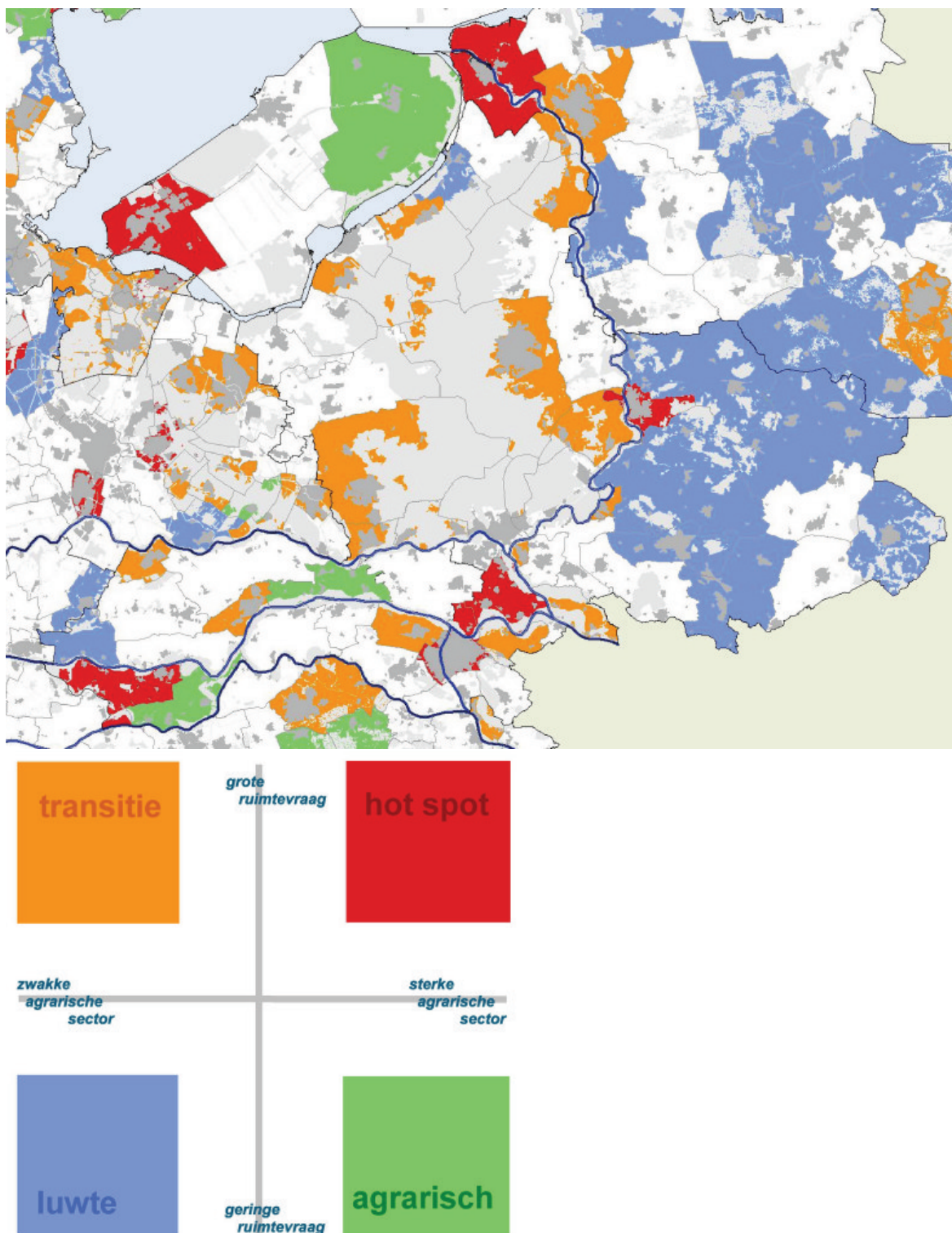
Adaptatieopgave

De zoekgebieden voor waterberging handhaven; deze kunnen voor 2050 ontoereikend zijn. In gebieden met veel verhard oppervlak (kassengebied) 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 bodemen/of de ontwateringscapaciteit onvoldoende is. Dit geldt ook voor gronden met ondiep voorkomen weerstandbiedende lagen (anisotropie). Bij grasland kan water op het land leiden tot het verloren gaan van snedes en bij bouwland tot het geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Ook recreatieterreinen (bijvoorbeeld campings of evenemententerreinen) zullen vaker last hebben van wateroverlast.

De afwateringscapaciteit is afgestemd op de maximale doordegrondse afvoer naar de sloten. Deze afvoer zal niet toenemen omdat die optreedt als de grondwaterstanden tot aan het maaiveld staan. Bij overschrijden van de infiltratiecapaciteit en/of de ontwateringcapaciteit kan lokaal kortdurende maar zeer intensieve maaiveldafvoer optreden die de afwateringscapaciteit te boven gaat, met lokaal inundatie vanuit de hoofdwaterlopen tot gevolg.



Figuur 3.5 Ruimtedruk in de provincie Gelderland

3.3.3 *Verdroging 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-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 het W+-scenario's neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar echter af. In combinatie met de toename van de verdamping laten het W+-scenario in de zomer een aanzienlijk neerslagtekort zien. Het optreden van dit groter structureel neerslagtekort in het zomerhalfjaar heeft gevolgen voor de natuur.

De verdamping van de natuurterreinen en bossen op de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug neemt toe waardoor de grondwateraanvulling afneemt. Dit kan leiden tot een aanzienlijke daling van de grondwaterstanden in die gebieden en minder kwel in de naastliggende gebieden Gelderse Vallei en IJsseldal waar Natura 2000 gebieden liggen (zoals Binnenveld (voorheen Bennekomse Meent)) die mede van kwel afhankelijk zijn.

3.4 Landbouw

Klimaatverandering kan potentieel een grote invloed hebben op de fysieke landbouwopbrengsten in Nederland. Het uiteindelijke effect hangt af van verscheidene factoren

- stijging temperatuur: zorgt voor toename potentiële groeiseizoenen. Bij grasland zal het groeiseizoen (en daarmee de (potentiële) productie) toenemen. Bij gewassen zoals tarwe, maïs, aardappelen verloopt de ontwikkeling sneller bij hogere temperaturen. Bij gebruik van dezelfde cultivars zou daar de lengte van het groeiseizoen afnemen (en daarmee de potentiële productie)
- neerslag: bij afname van de neerslag treed er meer droogtestress op en daalt de productie (G+ en W+) als er niet geïrrigeerd wordt. In de G en W scenario's neemt de droogte stress niet of nauwelijks toe.

Het netto effect (opbrengstdaling of -stijging) van de bovenstaande factoren verschilt per scenario en per gewas en per productie situatie.

Veranderingen in extremen kunnen ook aanzienlijke effecten hebben op de fysieke opbrengsten. In alle scenario's neemt de extreme neerslag toe, met meer kans op wateroverlast of andere schade aan gewassen. Ook de kans op hittegolven neemt in alle scenario's toe. De kans op langdurige droge perioden neemt toe in de G+ en W+ scenario's. Voor de G en W scenario's is dat nog niet duidelijk. Hitte of langdurige droogte kunnen groeiachterstand of droogteschade aan gewassen veroorzaken. Zware regenval kan velden tijdelijk onberijdbaar maken voor (oogst)machines of gewassen tijdelijk onder water zetten waardoor schade optreedt. Schrikwekkende voorbeelden voor de aardappelteelt in het verleden zijn bijvoorbeeld de jaren 1989 en 2000. In 1989 leidde langdurige vernatting tot 40% opbrengstreductie van de consumptie- en zetmeelaardappelen door verrotting. In het jaar 2000 was er een opbrengstderving van 10%.

3.4.1 *Vernatting in de 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. De effecten op de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zullen daarom in het G-scenario zeer beperkt zijn maar in het W+-scenario zijn de effecten behoorlijk. Bij gronden met een huidige grondwatertrap VI of lager neemt de natschade toe, vooral bij het W+-scenario. Voor alle scenario's geldt dat door aanpassing in de slootafstand en/of drooglegging (bij niet-gedraineerde gronden) of aanpassing van de drainageafstand (bij vervanging van drains) de ongewenste gevolgen kunnen worden opgevangen.

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

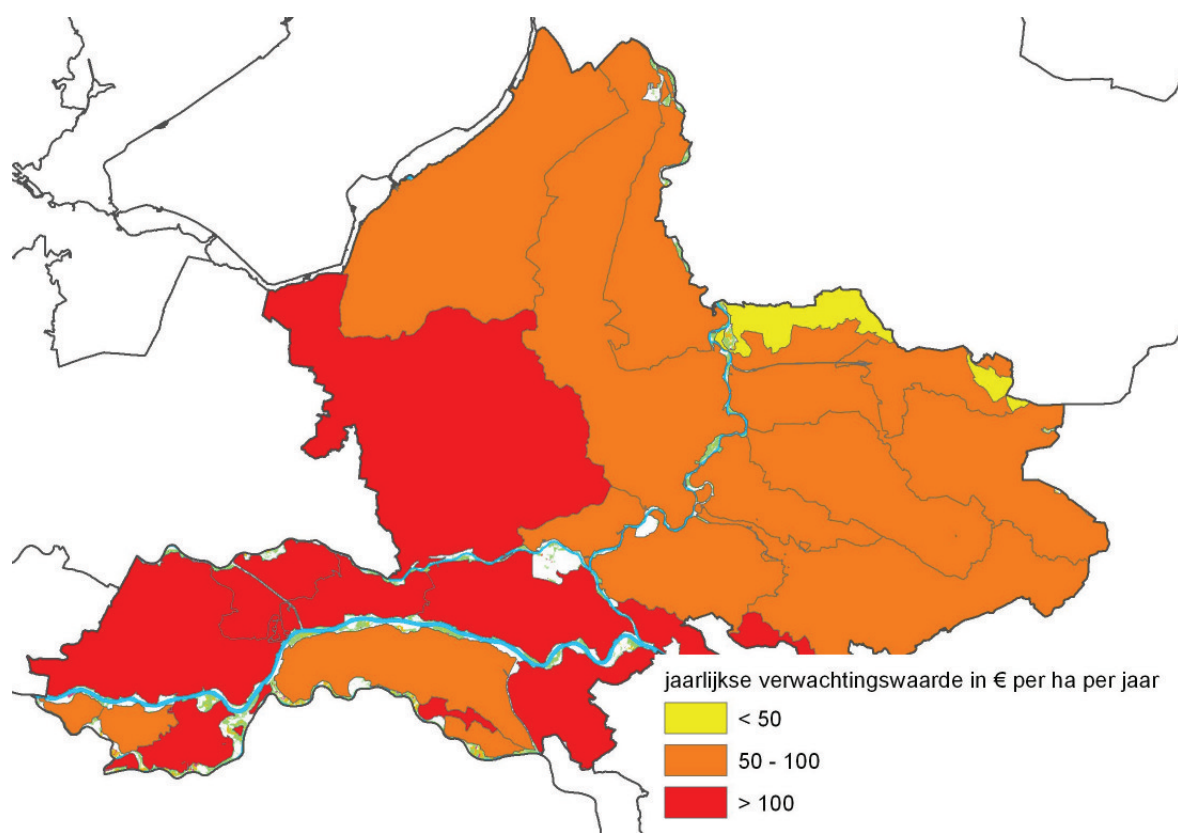
Voorals in de de W+ en G+ scenario's neemt de droogteschade in de zomer toe. Dit heeft gevolgen voor de landbouw, bijvoorbeeld voor de gewassen die in Nederland economisch geteeld kunnen worden.

De potentiële verdamping van gewassen neemt in alle scenario's en vooral in de W-scenario's, aanzienlijk toe. Deze toegenomen vraag kan niet volledig worden geleverd door de bodem. Voor de nu al droogtegevoelige gronden neemt de droogteschade aanzienlijk toe en nu niet droogtegevoelige gronden worden droogtegevoelig, vooral bij het W+-scenario. In figuur 3.6 wordt dit nader gekwantificeerd. De hierin weergegeven toename van de droogteschade in het W+-scenario ten opzichte van het G-scenario is gebaseerd op berekeningen ten behoeve van de Droogtestudie (Rijkswaterstaat, 2006), waarbij de toename van de jaarlijkse verwachtingswaarde van de droogteschade per district is berekend voor alle 4 de KNMI-scenario's.

De actuele verdamping neemt minder toe dan de potentiële maar zal substantieel zijn. Een gevolg hiervan is dat de grondwaterstanden in de loop van het groeiseizoen extra zullen dalen hetgeen voor aanliggende natuurgebieden kan leiden tot verdroging. De toename van de droogteschade kan worden opgeheven door meer te beregenen. In gebieden zonder wateraanvoer met mogelijkheden van grondwateronttrekking (grote delen van de Achterhoek en delen van de Gelderse Vallei) zal dus meer uit met grondwater berekend gaan worden, waardoor de grondwaterstanden nog verder dalen. In gebieden met wateraanvoer (rivierengebied) neemt de aanvoerbehoefte toe maar is ook het aanbod van rivierwater in droge jaren geringer. Dit kan leiden tot frequenter voorkomen van watertekortsituaties.

Fluctuatie grondwaterstand

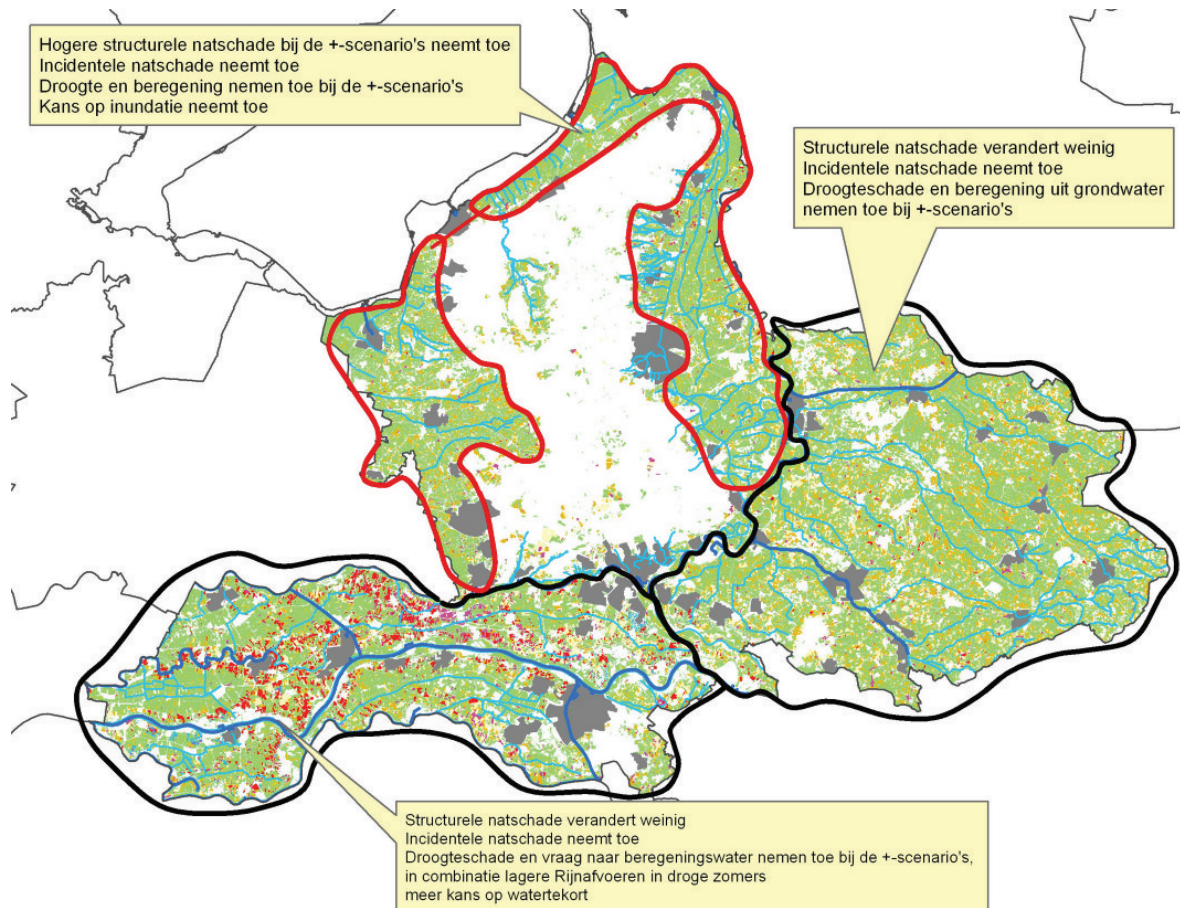
Door een toename van de neerslag in de winter en een afname van de neerslag in de zomer bij vooral de +-scenario's, bestaat de mogelijkheid dat een grotere variatie ontstaat tussen grondwaterstanden in de verschillende jaargetijden ook in het landelijk gebied. Voor de landbouw betekent dit dat er een groter beroep



Figuur 3.6 Jaarlijkse verwachtingswaarde droogteschade landbouw Scenario W+ minus G

wordt gedaan om hierop met gewaskeuze en dergelijke op in te spelen. Ook zullen door het minder maar harder regenen binnen het groeiseizoen vooral bij de +-scenario's de fluctuaties in het groeiseizoen groter worden. Ook dat stelt hogere eisen aan de landbouwkundige bedrijfsvoering.

De agrohydrologische gevolgen van klimaatverandering zijn samengevat in figuur 3.7.



Figuur 3.7 Agrohydrologische gevolgen van klimaatverandering

3.4.3 Ziekten en plagen in de landbouw

Vernatting heeft een belangrijk effect op de toename van ziekten en plagen.

Het is echter moeilijk aan te geven hoe groot deze effecten zijn. De schade hangt sterk af van meerdere factoren, zoals het groeistadium van de plant, de omgevingstemperatuur, verspreidingsmogelijkheden, etc. Op zich hoeft een ziekte voor de plant of het gewas niet erg te zijn, mits ze goed overleven en de schade of productievermindering binnen aanvaardbare grenzen blijft.

De incidenten en extremen zijn dus voor de landbouw de grootste bedreiging van de klimaatverandering. De kernvraag voor het ontwikkelen van adaptatiestrategieën is daarom: hoe richt je de omgeving zó in, dat deze veerkrachtig en robuust genoeg is om de extremen van klimaatsverandering op te vangen?

Situatie in Gelderland

In Gelderland zijn grofweg de volgende landbouwgebieden te onderscheiden:

1. De Gelderse vallei: overwegend gras en maïs
2. Ten oosten van Arnhem: overwegend maïs, aardappelen en gras
3. De Betuwe: boomgaarden
4. Gebied tussen Arnhem en Nijmegen (KAN-regio) met tuinbouw, granen en bieten (incidenteel en verspreid)
5. IJssel regio: overwegend gras.

Gras

Dit is redelijk bestand tegen vernatting. Wel kunnen in het najaar problemen optreden bij het maaien, als de velden langere tijd onder water staan. Dit zal voornamelijk op kleigronden (IJsselregio) een probleem vormen. Droogte is geen echt knelpunt. Wel neemt de kans op uitspoeling van mineralen op droge gronden toe. Klimaatverandering verhoogt de ziektedruk (nematoden, engerlingen) in graslanden.

Mais

Dit gewas is gevoelig voor verdroging, waardoor productieverlies kan optreden. De ziekten die toenemen zijn: maïswortelboorder en nematoden (zoals *Meloidogyne*).

Aardappelen

Dit gewas is zeer gevoelig voor vernatting. Dit wordt een probleem wanneer de aardappels meer dan 24 uren onder water staan. Aardappelknollen gaan dood en verrotten. Op kleigronden is dit risico groter dan op zandgronden.

Ziekten waarvoor aardappelen zeer gevoelig zijn, zijn: schimmels (zoals *Phytophthora*), bacteriën (bruinrot), en aaltjes (waaronder stengelaaltjes) en de luisdruk.

Boomgaarden

Deze komen door de zachter wordende winters steeds vroeger in bloei. Daardoor neemt de gevoeligheid voor late vorst toe en kan asynchronisatie optreden met betrekking tot de aanwezigheid van insecten (verantwoordelijk voor de bestuiving van bloemen). Zware regenbuien en hagel kunnen vruchten beschadigen. Hierdoor neemt de kans op infecties toe. Vernatting verhoogt eveneens de gevoeligheid voor schimmelziekten (zoals schurft bij appel).

Glastuinbouw

De glasteelt is gevoelig voor hagelschade. Daarnaast zal de ziektedruk toenemen. In de intensieve tuinbouw is over het algemeen sprake van monocultuur. Hierdoor neemt in de kas het risico op ziekten en plagen met de jaren toe. Het overstappen op wisselteelten en het werken met rotaties van gewassen is op dit moment lastig, omdat de teelten nogal specialistisch zijn (zowel wat betreft de vakkennis van de telers als de gebruikte technieken en oogstapparatuur). Switchen tussen twee verwante teelten (zoals paprika en tomaat) helpt echter niet voldoende om de ziektedruk te verminderen, omdat beide gewastypen 'gevoelig zijn voor dezelfde ziektes'.

Bieten

Verhoging van de temperatuur en droogte kunnen een positief effect hebben op suikerbieten, omdat het suikergehalte toeneemt en daarmee de kwaliteit. De ziektedruk neemt echter ook toe, met name door toename van de bietencysteeltjes bij hogere waterstanden.

Granen

Dit gewas is gevoelig voor zware regen en hagelschade, met name aan het eind van het groeiseizoen. Dan kunnen de bijna afgerijpte aren makkelijk omknakken (legering). Klimaatverandering zal ook de ziektedruk verhogen. Voor granen zijn dat met name: schimmelziekten en nematoden (zoals *Meloidogyne*).

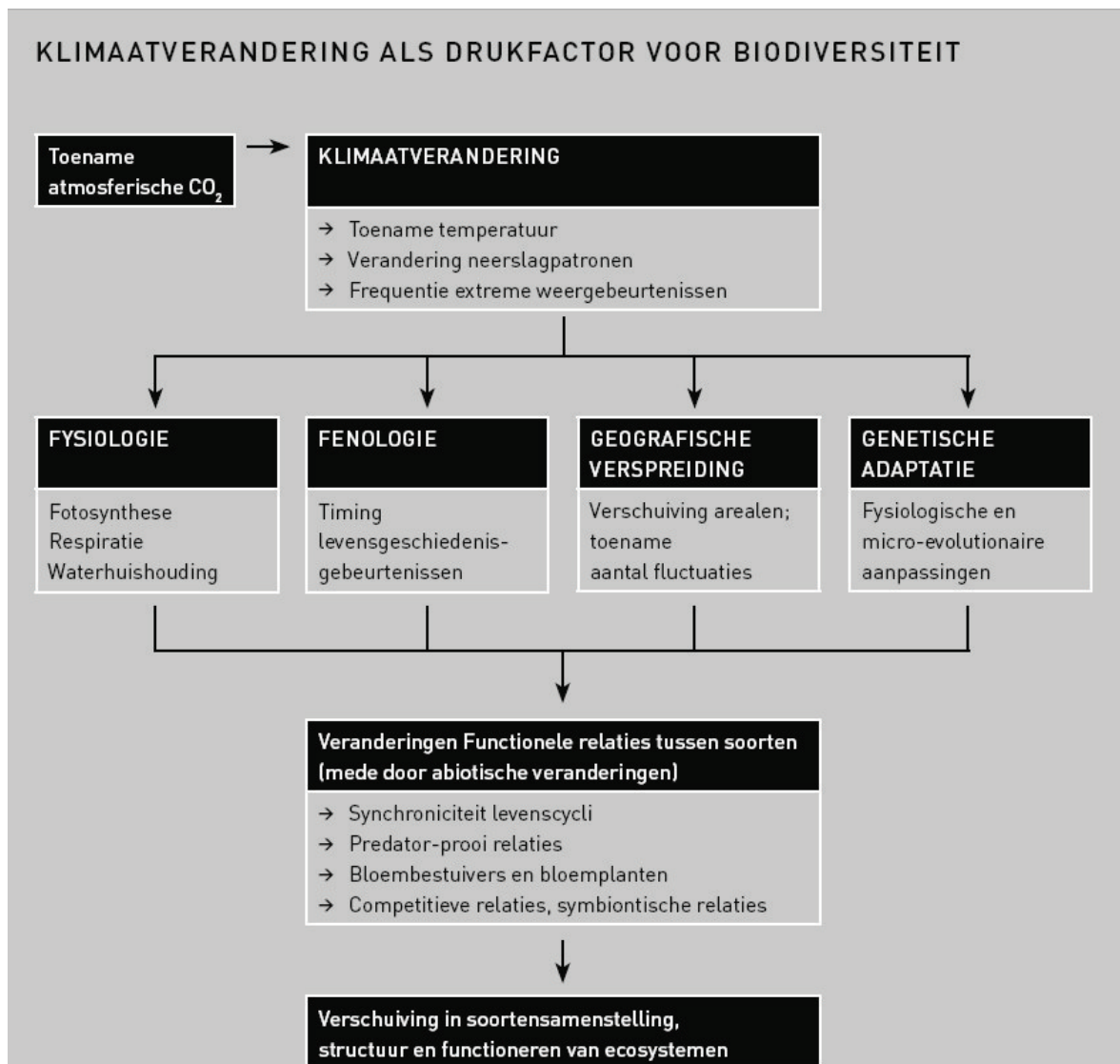
3.5 Natuur

3.5.1 *Effecten op natuur - algemeen*

Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie, de fenologie, de geografische verspreiding en de genetische adaptatie van soorten (zie Figuur 3.8), maar ook op de abiotische omstandigheden in hun leefgebied. Al deze veranderingen zullen leiden tot veranderingen in functionele relaties tussen soorten. Het gevolg is dat de soortensamenstelling, de structuur en daarmee ook het functioneren van ecosystemen zal veranderen.

Klimaatverandering zal voor Nederland naar verwachting een aantal belangrijke gevolgen hebben. Deze worden in onderstaande paragrafen nader toegelicht en gespecificeerd voor Gelderland.

- Versterkte verdroging: verdroging speelt al decennia in Nederland en is gedefinieerd als een door menselijk handelen veroorzaakt structureel aanvullingstekort van het grondwater. De gevolgen van bestaande verdroging worden versterkt door klimaatverandering. Verwacht wordt dat frequentie, lengte



Figuur 3.8 Samenvatting process die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000; uit Vos et al., 2007).

en intensiteit van droogteperioden toenemen. Hierdoor zullen de negatieve effecten van verdroging op grondwaterafhankelijke natuur versterkt worden. Een afgeleid effect van verdroging in laag Nederland is verzilting. In droge perioden neemt brakke kwel in veel zeeleipolders toe. Wanneer dit onvoldoende gecompenseerd kan worden door de aanvoer van zoet water, treedt verzilting op. Te hoge zoutconcentraties kunnen problemen veroorzaken in zoetwaterafhankelijke natuur, zoals moerasheide en zwakgebufferde sloten (Paulissen et al., 2007).

- Periodieke vernatting: De verwachting is dat er meer intense buien optreden, waardoor gebieden vaker en langer zullen inunderen dan nu het geval is. Overstroming met regenwater heeft naar verwachting beperkte effecten op de vegetatie, hoewel diepe inundatie tijdens het groeiseizoen negatief kan uitpakken. Voor fauna (met name insecten) kunnen inundaties tot verdrinking leiden. Inundatie met oppervlaktewater kan ingrijpende gevolgen hebben, bijvoorbeeld als gevolg van interne eutrofiëring (Lucassen, 2004).
- Biodiversiteit: Een ander klimaat heeft tot gevolg dat de geschikte klimaatzone voor soorten naar het noorden of oosten verschuift. Deze effecten worden nu al in het veld waargenomen. Dit betekent op Europese schaal dat voor veel soorten hun leefgebied in het zuiden van hun verspreidingsgebied ongeschikt zal worden, en ten noorden/oosten van hun huidige verspreidingsgebied nieuw habitat beschikbaar komt. Of soorten in staat zijn om dit habitat ook daadwerkelijk te koloniseren is afhankelijk

van de versnippering van habitat en het dispersievermogen van de soort (de afstand die een soort af kan leggen, op zoek naar nieuw voortplantingshabitat; zie figuur 3.8). De mate waarin soorten zich kunnen aanpassen en verplaatsen hangt echter ook samen met de snelheid waarmee het klimaat zal veranderen. De algemene wetenschappelijke verwachting is afname van de biodiversiteit, er zullen meer soorten verdwijnen dan dat er zullen komen. Om dit effect zo klein mogelijk te houden en verschuiving van soorten optimaal mogelijk te maken is een goed werkende en complete EHS noodzakelijk. Een ander aspect van een ander klimaat met meer extremen, is dat soorten te maken zullen krijgen met grotere aantalsfluctuaties, en de kans op uitsterven van lokale populaties, met name in kleine natuurgebieden, groter wordt. Grote aaneengesloten natuurgebieden zijn belangrijk voor het overleven van soorten. De oppervlaktebehoefte van soorten voor duurzame populaties of sleutelgebieden zal voor soorten fors toenemen, ook in het geval van "neutrale" soorten (soorten in het groene gebied in figuur 3.9). Het behouden of creëren van goed verbonden natuurgebieden is ook om deze reden van belang. Het creëren van interne heterogeniteit binnen (grote) natuurgebieden (nat-droog, open-beschaduwde) kan soorten ook helpen om extreme weersomstandigheden beter te overleven, en de grote aantalsfluctuaties te dempen. Voor een compleet overzicht voor adaptatiestrategieën wordt verwezen naar het overzicht beneden.

Gebruikt klimaatscenario en variabelen

Voor het aangeven van de effecten van klimaatverandering op natuur is gebruik gemaakt van de resultaten uit het BRANCH project. In dit project zijn voor zo'n 400 soorten de klimaatzones waar een soort nu voorkomt ("klimaatvelop") gecorreleerd met een aantal klimaat-variabelen (tabel 3.2). Met de invoer van een nieuw klimaatscenario in het model kunnen met dit model de verwachte klimaatveloppen voor deze soorten worden gegenereerd.

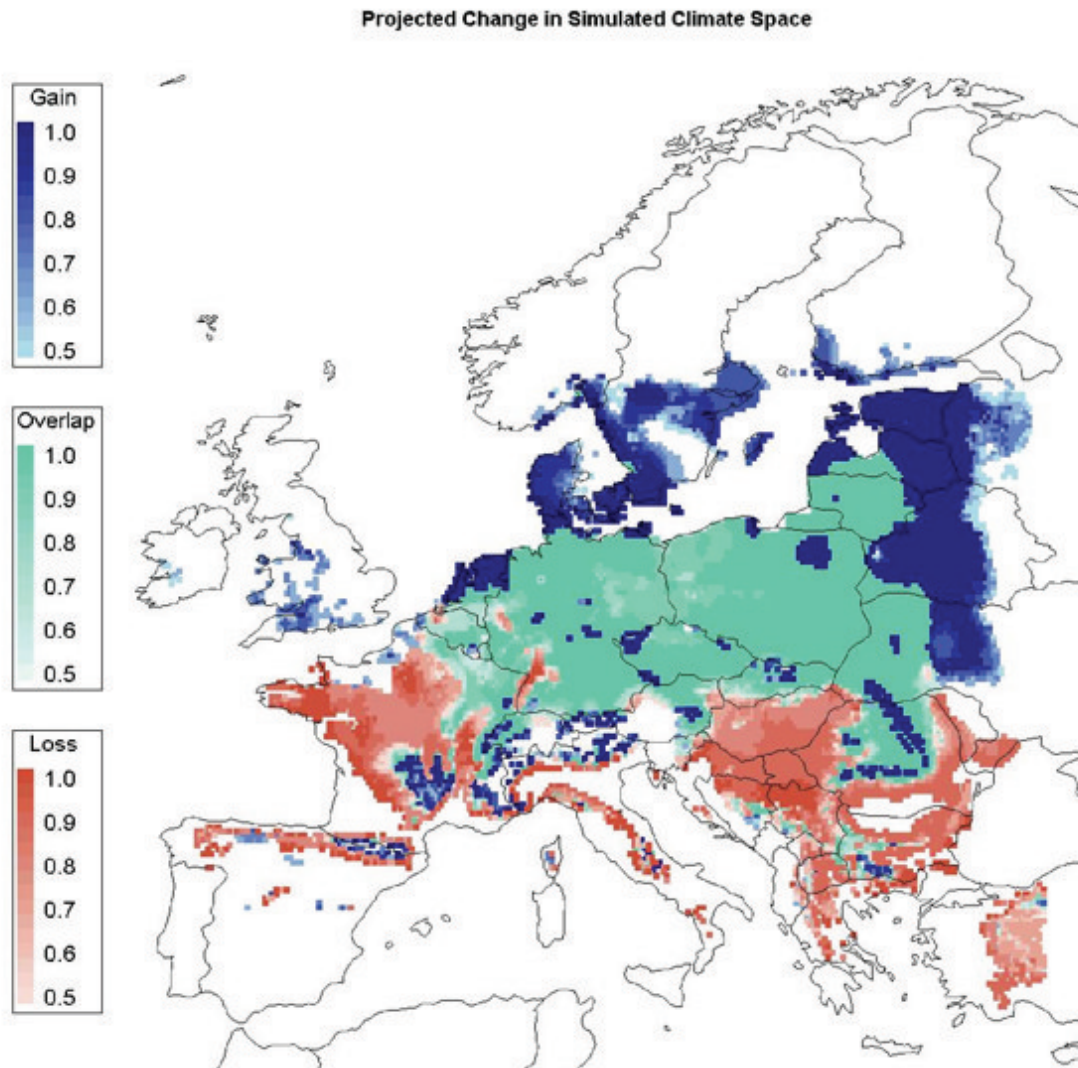
Het gebruikte klimaatscenario is het scenario gegenereerd door het Hadley CM3model onder het A2 emissie scenario van het IPCC (Special Report on Emissions Scenarios; www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm).

Tabel 3.2 Input variabelen gebruikt in het SPECIES model. Met dit model is voor zo'n 400 soorten op Europees schaalniveau de verschuiving van klimaatveloppen gemodelleerd (Berry et al., 2007).

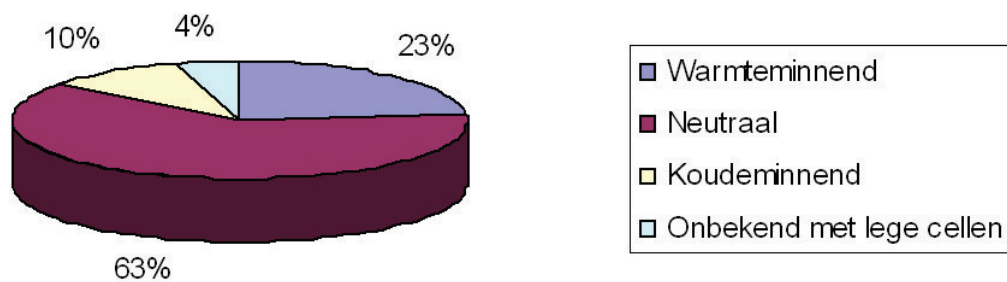
Vogels	Andere taxa
Aantal groeidagen > 5°C	Aantal groeidagen > 5°C
Absolute minimum temperatuur verwacht over een 20 jarige periode	Absolute minimum temperatuur verwacht over een 20 jarige periode
Gemiddelde zomer temperatuur (Mei, Juni, Juli)	Jaarlijkse maximum temperatuur
Gemiddelde zomer neerslag (Mei, Juni, Juli)	Geaccumuleerde jaarlijkse bodemwater tekort
Gemiddelde winter neerslag (December, Januari, Februari)	Geaccumuleerde jaarlijkse bodemwater overschot
Gemiddelde zomer water beschikbaarheid (Mei, Juni, Juli)	

Table 3.3 Veranderingen in gemiddelde temperatuur en neerslag, gemiddeld voor Europese 10' gridcellen, in het gebruikte klimaatscenario voor het genereren van de resultaten met SPECIES. Dit scenario ligt ten grondslag aan de resultaten in Vos et al., in voorbereiding (waaronder de knelpuntenkaarten voor natuurdoelsoorten)

HadCM3 met A2 scenario	2011 - 2020		2041-2050	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Gemiddelde temperatuur (°C):	1.18	1.21	2.5	2.35
Neerslag (mm/maand):	-2.34	1.74	-5.21	3.97



Figuur 3.9: Verwachte verandering van de ligging van de klimaatvelop van de Middelste Bonte specht bij een veranderend klimaat (Berry et al., 2007).

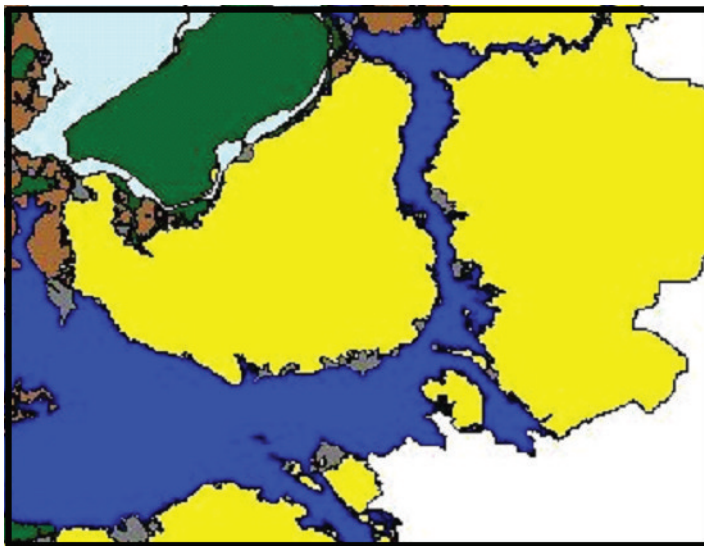


Figuur 3.10 Verwachte klimaatrespons van 60% van de Nederlandse natuurdoelsoorten (flora en fauna). Van de overige 40 % is de klimaatrespons onbekend (van Veen et al., in voorbereiding). Voor 63% van de 60% van de Nederlandse doelsoorten waarvan iets over de respons bekend is, wordt verwacht dat Nederland dus redelijk centraal gelegen is en blijft in zijn verspreidingsgebied. Echter, door de gevolgen van de toename van weersextremen (grotere fluctuaties van aantallen van soorten) en/of grote lokale veranderingen in de abiotiek kunnen soorten toch negatieve gevolgen ondervinden van klimaatverandering.

3.5.2 *Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Gelderland*

Fysisch-geografische regio's

Figuur 3.11 geeft de in Gelderland voorkomende fysisch-geografische regio's weer. De belangrijkste zijn de Hogere zandgronden (geel) en het Rivierengebied (blauw). Lokaal komt ook zeeklei (groen) en laagveen (bruin) voor.



Figuur 3.11: Fysisch-geografische regio's in Gelderland (naar Bal et al., 2001).

Versterkte verdroging

Gelderland kent een groot aantal natte gebieden met hoge natuurwaarden, zoals de Natura2000 gebieden Arkemheen, Binnenveld, Korenburgerveen en Stelkampsveld. Eén van de problemen waarmee deze gebieden te kampen hebben is de verdroging als gevolg van ontwatering van omliggend (landbouw)gebied.

Verdroging blijft -in ieder geval op de korte termijn- een bedreiging, waarvoor maatregelen nodig zijn. Verwacht kan worden dat natuur in Gelderland die nu al te lijden heeft onder deze verdroging, als gevolg van klimaatverandering in nog sterkere mate hieronder zal lijden. Natuurtypen als beeksystemen, bossen op arme gronden, moeras, natte heide en hoogveen zijn hier zeer gevoelig voor.

Verder kan verdroging afgeleide effecten met zich meebrengen, zoals eutrofiëring, verzuring (Lamers, 2001 en Lucassen, 2004). Deze effecten treden in vrijwel alle natuurgebieden met een hoge sulfaatbelasting (door aanvoer van oppervlaktewater of vervuild grondwater) op.

De verwachting is dat extreem warme en droge perioden zullen toenemen. Veel natuurtypen zijn hiervoor in meer of mindere mate gevoelig. In Gelderland behoren beken, bossen van bron en beek, moeras, natte schraallanden, natte heide en hoogveen en zoete stilstaande wateren tot de gevoeligste natuurtypen voor warmtestress en droogtestress.

De gevoeligheid voor droogte- en warmtestress van natuur langs de grote rivieren is naar verwachting relatief laag. Hier speelt het karakter van de riviernatuur (vaak wat ruiger) en de matigende invloed van de grote rivieren op het lokale klimaat een rol.

Op de Veluwe heeft een mogelijke daling van de grondwaterstand als gevolg van klimaatverandering waarschijnlijk nauwelijks of geen effect op de daar aanwezige (droge) natuur. Voor deze natuur is het hangwater (bodemvocht in de bovenste laag) van belang. Structurele verlaging van de grondwaterstand op de Veluwe zou wel gevolgen kunnen hebben voor de kweldruk in omliggende lagere gebieden.

Overstroming

Beekdalen -vaak met hoge natuurwaarden- en rivierdalen zijn karakteristiek voor de Gelderse natuur. Voorbeelden hiervan zijn de beekdalen van de Achterhoekse beken. Hogere overstromingsfrequenties als gevolg van klimaatverandering of berging van oppervlaktewater in beekdalen (adaptatie voor water) vormt met name een bedreiging voor gevoelige natuur in beekdalen, zoals blauwgraslanden en broekbossen (Lucassen,

2004). De kwaliteit van het overstromingswater is hiervoor onvoldoende, waardoor interne eutrofiëring kan optreden. Overstroming met water van regenwaterkwaliteit is naar verwachting voor veel natuurtypen minder problematisch waar het gaat om ongewenste effecten als interne eutrofiëring. Diepe overstroming met regenwater kan echter voor met name minder mobiele faunasoorten (of tijdens broedseizoen) problemen opleveren.

Biodiversiteit

Voor een aantal karakteristieke soorten, behorend bij ecosystemen in Gelderland, is de respons op klimaatverandering opgenomen in tabel 3.4.

Het verschuiven van arealen van soorten op (inter)nationaal niveau, betekent op regionaal/lokaal niveau dat sommige soorten het slechter zullen gaan doen (als Nederland in de rode zone van figuur 3.8 is gelegen; koudeminnende soorten), sommige beter (als Nederland in de blauwe zone van figuur 3.8 is gelegen; warmteminnende soorten) en het klimaat zal voor sommigen soorten geschikt blijven (in de groene zone van figuur 3.8; neutrale soorten). Het verschuiven van arealen van soorten kan lokaal effect hebben op het behalen (of niet) van Natura 2000 en EHS doelen.

Tabel 3.4 Enkele voorbeelden van soorten en hun verwachte respons op klimaatverandering (voor zover bekend). In rood: afnemende soorten (koudeminnend), in groen: toenemende soorten (warmteminnend) en in blauw: soorten waarvan het leefgebied in de klimaatvelop blijft gelegen; in zwart: onbekende respons (uit: van der Veen et al., in voorbereiding).

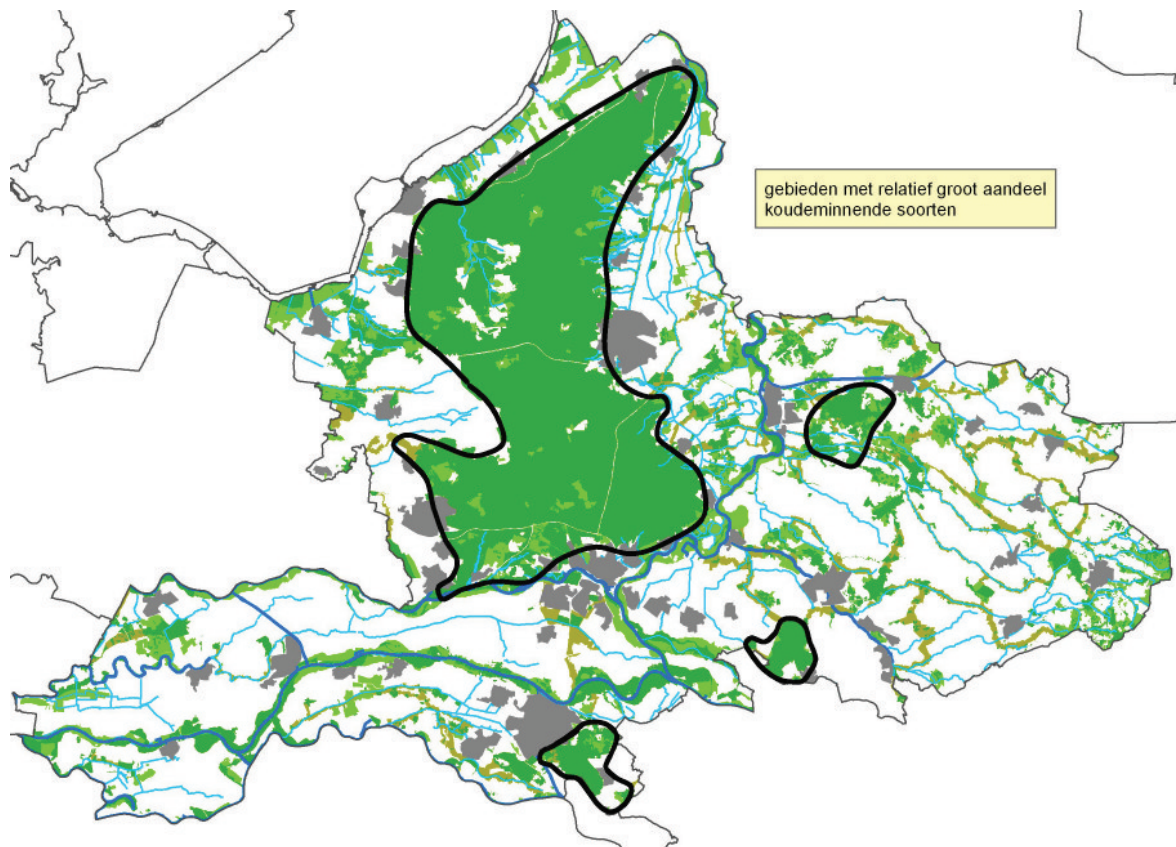
Zoogdieren	Noordse woelmuis, grijze grootoorvleermuis, waterspitsmuis, baardvleermuis, meervleermuis
Vogels	zwarte stern, roerdomp , steenuil , geoorde fuut, watersnip, nachtzwaluw
Amfibiën en reptielen	knoflookpad , kamsalamander, boomkikker , heikikker , gladde slang , levenbarende hagedis
Vissen	kleine modderkruiper, beekprik, biermpje, bittervoorn, rivierdonderpad
Planten	drijvende waterweegbree , grote biesvaren , waterlobelia , knolsteenbreek , beenbreek , witte rapunzel , heidekartelblad
Mossen en Korstmossen	tonghaarmuts, kielmos, gewoon hauwmos, hoogveenveenmos, gebogen rendiermos
Dagvlinders	pimpernelblauwtje , gentiaanblauwtje, bont dikkopje , grote weerschijnvlinder , bruine eikenpage, spiegeldikkopje
Libellen	hoogveenglanslibel, gewone bronlibel, speerwaterjuffer, venwitsnuitlibel , beekoeverlibel
Kevers	boszandloopkever, Duitse zandloopkever
Sprinkhanen	grote wrattenbijter, veenmol, moerassprinkhaan, veldkrekel
Overig	veenmier, late hommelmot, knotszweefvlieg, medicinale bloedzuiger

Ecosystemen met een groot aandeel koudeminnende soorten lopen het risico dat er soorten verdwijnen waardoor het functioneren van het ecosysteem verandert, wanneer de niches niet worden opgevuld door binnenkomende soorten. Verwacht wordt dat de grootste potentiële veranderingen in natuurtypen door veranderende soortensamenstelling zullen optreden op de Veluwe en stuwwalgebieden met dennenbossen. In aantallen soorten zal de grootste verandering waarschijnlijk optreden in de beekdalbossen bij Winterswijk.

Er is nog geen informatie over soorten die momenteel nog niet in Nederland voorkomen, maar in de toekomst Nederland zullen bereiken. Het binnenkomen van nieuwe soorten kan van belang zijn voor bestaande ecosystemen, omdat verwacht wordt (en ook gesignaleerd wordt) dat hierdoor ook soorten kunnen verdwijnen. Het tempo waarin koudeminnende soorten verdwijnen ligt hoger dan het tempo waarin nieuwe, warmteminnende, soorten binnenkomen. Per saldo kan er een afname van biodiversiteit plaatsvinden. Ook kunnen door arealverschuivingen plaagsoorten vanuit het zuiden binnenkomen of vaker een probleem zijn (Eikenprocessierups, Ambrosia). De verwachting is dat een soortenrijk ecosysteem hiervoor minder gevoelig is (Tilman et al., 2006; Van Ruijven & Berendse, 2007).

Natuurtypen met een grote fractie zijn waarschijnlijk relatief gevoelig voor klimaatverandering. Koudeminnende soorten kunnen lokaal verdwijnen. Dit kan leiden tot verminderde stabiliteit of veerkracht van de betreffende

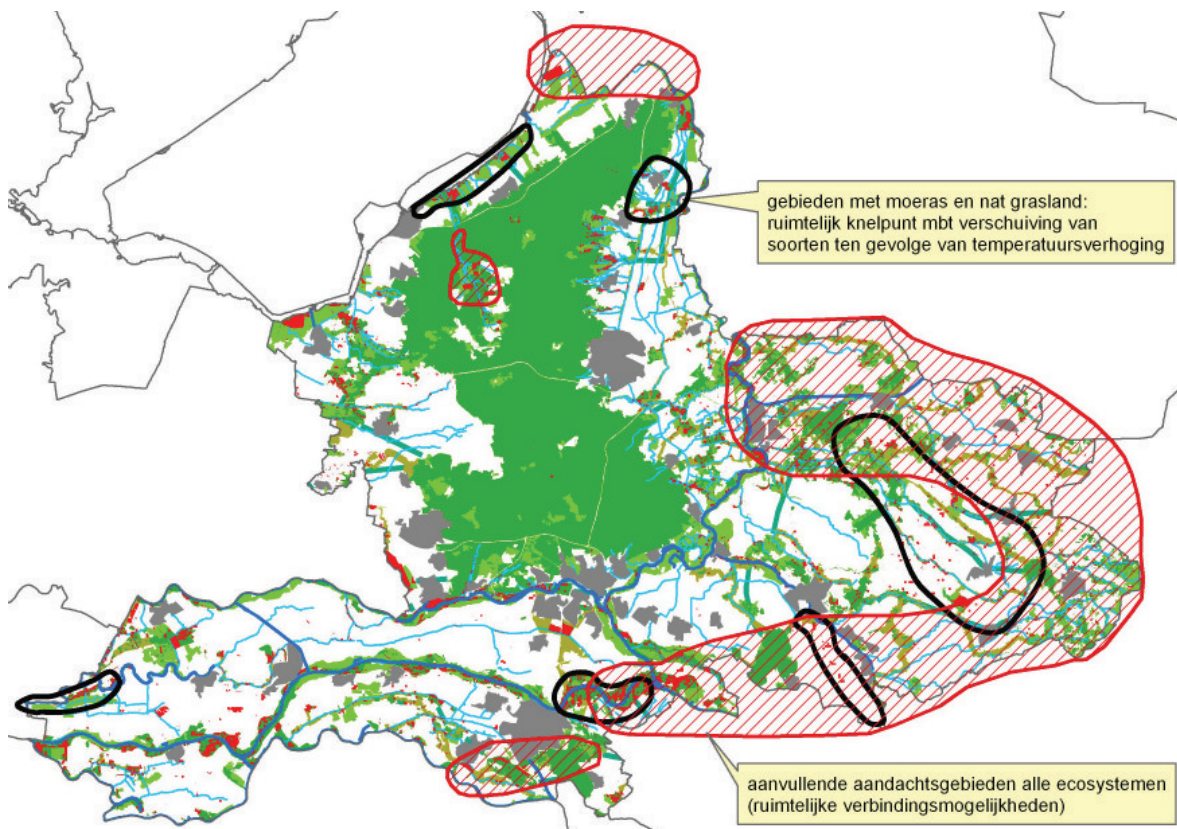
ecosystemen. Het goed functioneren van ecosystemen kan hierdoor in gevaar komen. Van 60 % van de doelsoorten (Bal et al., 1995, 2001) is bekend of ze warmte- dan wel koudeminnend of neutraal zijn (Van der Veen et al., 2008). Gezien de hoge indicatieve waarde van het aantal koudeminnende doelsoorten voor de gevoeligheid van een natuurype voor klimaatverandering is in de knelpuntanalyse specifiek gekozen voor deze factor.



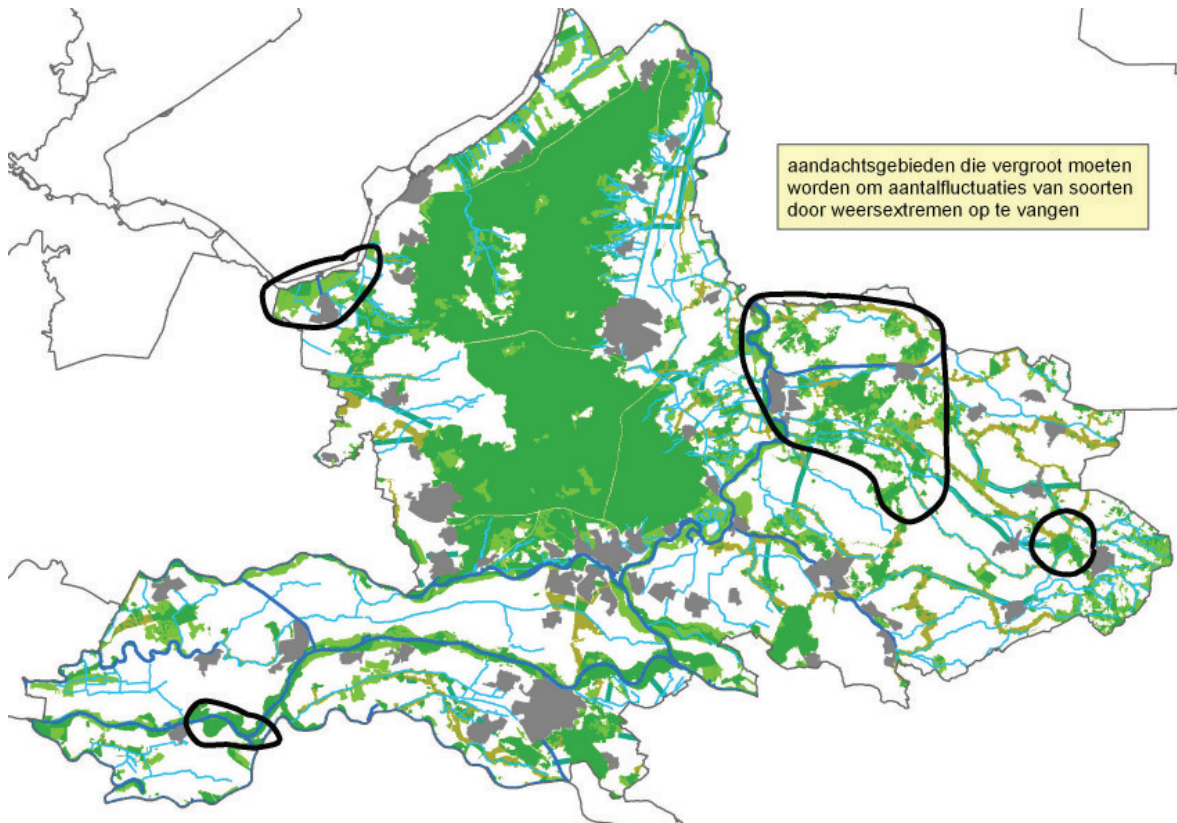
Figuur 3.12 Met name de stuwwallen en hoogstgelegen zandgronden in Gelderland hebben een relatief groot aantal koudeminnende soorten (naar Vos et al., in voorbereiding).

De als gevolg van klimaatverandering verwachte verschuiving van soorten is alleen mogelijk wanneer nieuw geschikte gebieden bereikbaar zijn. In Gelderland herbergen vooral de ecosystemen moeras en nat grasland veel doelsoorten met ruimtelijke knelpunten als gevolg van te verwachte verschuivingen (figuur 3.10). In de Gelderse bosgebieden hebben doelsoorten minder ruimtelijke knelpunten.

Het is te verwachten dat klimaatverandering zal leiden tot een toename van weerextremen. Dit kan leiden tot meer en grotere aantalsfluctuaties in populaties van soorten. Om te voorkomen dat populaties hierdoor lokaal uitsterven moeten gebieden voldoende groot zijn. Bovendien bevatten grotere gebieden doorgaans meer gradiënten waardoor populaties beter kunnen overleven. In heterogene gebieden zullen bijvoorbeeld voor soorten die dat nodig hebben in droge perioden doorgaans nog voldoende natte plekken aanwezig zijn. Aandachtgebieden in Gelderland die vergroot moeten worden om aantalsfluctuaties van soorten door het voorkomen van weersextremen op te vangen zijn: het westelijke deel van de uiterwaarden Waal, Arkemheen, Korenburgerveen en benedenlopen van de Achterhoekse beken.



Figuur 3.13 Ruimtelijke knelpunten voor soorten van de ecosystemen moeras en nat grasland, door de provincie aangevuld met aandachtsgebieden voor andere ecosystemen.



Figuur 3.14 Om aantalsfluctuaties van soorten door het voorkomen van weersextremen op te vangen zouden de hier aangegeven aandachtsgebieden groter moeten zijn. (Vos et al, in voorbereiding).

3.5.3 Adaptatie mogelijkheden

De EHS is een ruimtelijke strategie ten behoeve van behoud, herstel en ontwikkeling van natuur en landschap. Zij moet voldoende garantie bieden voor de duurzame instandhouding van de erin voorkomende soorten (flora en fauna). Klimaatverandering is ongunstig voor de overleving van soorten. 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 dan dat.

Hieronder volgt een overzicht van adaptatiestrategieën.

1. Verbinden natuurgebieden
2. Vergroten van natuurgebieden
3. Meer interne heterogeniteit (gradiënten) 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

Adaptatie aan klimaatverandering binnen de EHS kan betekenen dat arealen van sleutelgebieden van waardevol geachte soorten vergroot moeten worden. De kennis op dit vakgebied is momenteel volop in ontwikkeling. In het rapport Optimalisatie samenhang ecologische hoofdstructuur (Reijnen et al., 2007) is het aantal sleutelgebieden binnen de EHS voor alle faunadoelsoorten in beeld gebracht. Een ander rapport is in voorbereiding: Vos, C.C., H. Kuipers en R. Wegman: Klimaatverandering en natuur: zoekgebieden voor ruimtelijke adaptatie van de EHS.

Uit onderzoek (o.a. weergegeven in 'Effecten van klimaatverandering in Nederland', MNP i.s.m. KNMI, RWS-RIZA, Alterra, VU en ICIS, oktober 2005) blijkt dat de snelheid van temperatuurverandering in Nederland in de afgelopen 30 jaar (10C) voor de niet-mobiele soorten te hoog is om bij te kunnen houden. Daarom is het van groot belang om de connectiviteit tussen natuurgebieden (in het tussenliggende landschap) te vergroten, en barrières als wegen en spoorlijnen op te heffen. Hiermee kan de verschuiving van binnenkomende soorten zo goed mogelijk worden geacomodeerd, en kan de afname van de biodiversiteit worden verminderd. Door het concentreren van maatregelen in een goed geplande "adaptatiezone" kan de kosteneffectiviteit van deze maatregelen worden vergroot (van Rooij et al., 2007).

Voor een effectief adaptatiebeleid liggen voor Gelderland nog de volgende vragen voor:

1. Uit deze eerste inventarisatie blijkt dat er mogelijk een groot aantal gebieden is die kwetsbaar zijn voor klimaatverandering (versterkte verdroging, overstroming). Onbekend is welke hiervoor het meest kwetsbaar zijn. Verdere inventarisatie moet duidelijk maken waar in Gelderland in de EHS/Natura 2000-gebieden de 'zwakke plekken' liggen, voor welke systemen en soorten? Welke 'verbindende schakels' ontbreken mogelijk? Is daarop te anticiperen?
2. Waar (op welke plek / bij welke ecosystemen) is de noodzaak het grootst om de randvoorwaarden (bijv. het watersysteem) op korte termijn op orde te brengen, om systemen voldoende robuust te maken om invloeden van klimaatsverandering op te vangen? Welke maatregelen zijn daarvoor nodig? (Water vasthouden, grondwaterstand omhoog etc.)

3.6 Infrastructuur

Voor infrastructuur betekent klimaatverandering het volgende:

- Het wegverkeer zal méér hinder ondervinden als gevolg van neerslag.
- Hogere extreme temperaturen leiden tot meer onderhoud en (in combinatie met droogte) tot meer bermbranden
- Toename hoge temperaturen in de zomer kunnen andere eisen stellen aan het materiaal (voorkom smeltend asfalt)
- Afname van het aantal vorstdagen/winterse dagen waardoor de winterse neerslag zal afnemen. Winterneerslag veroorzaakt vaak gladheid wat verkeershinder veroorzaakt.

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 winterneerslag 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 óf 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 Temperatuurstijging: infrastructuur) maakt het probleem van verkeershinder extra groot.

Adaptatieopgave

Mogelijk zal in de toekomst de standaard 'maatgevende bui' moeten worden aangepast aan nieuwe klimaatcondities. Dit leidt dan vervolgens ook weer tot andere eisen aan wegen en kunstwerken. De combinatie van de effecten extreme buien, droogte in de zomer, erosie en bermbranden stelt andere aan wegen, kunstwerken en de groene inrichting eromheen.

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.

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

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**

Temperatuur en recreatie

In alle scenario's zal de temperatuur toenemen en daarbij het aantal warme, zomerse en tropische dagen.

Bij een toenemende temperatuur zullen er meer dagen komen die geschikt zijn voor recreatie. De mogelijkheid tot verantwoord gebruik van zwemwater wordt kritischer.

Met de Veluwe heeft de provincie Gelderland een van de belangrijkste toeristische regio's van Nederland. De combinatie van campings en attracties (Hoge Veluwe, Musea in Arnhem, Burgers Zoo, Apenheul etc.) en rivieren maakt de toeristische sector erg belangrijk voor de provincie.

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 zwembehoefden 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.

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.
- Bal, D., Beije H.M., Fellingner M., Haveman R., Van Opstal A.J.F.M. & Van Zadelhoff F.J. 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Berry, P.M., Jones, A.P., Nicholls, R.J. and Vos, C.C. (eds.) 2007. Assessment of the vulnerability of terrestrial and coastal habitats and species in Europe to climate change, Annex 2 of Planning for biodiversity in a changing climate - BRANCH project Final Report, Natural England, UK.
- 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.
- Blom, G., M. Paulissen, C. Vos & H. Agricola. 2008. Effecten van klimaatverandering op landbouw en natuur.
- Nationale Knelpuntenkaart en Adaptatiestrategieën. Alterra-rapport, in druk.
- DHV, 2007, "water als grondstof, innovatieagenda voor omgaan met water in perioden van droogte" A6200-01-001
- 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.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61.
- Huntley, B., R. Green, Y. Collingham and S.G. Willis, 2008. *A Climatic Atlas of European Breeding Birds*, Lynx edicions.
- 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.
- 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. Systemanalyse 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, 2006. *Klimaat in de 21e eeuw. Vier scenario's voor Nederland*. Brochure. KNMI, De Bilt.
- 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.

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

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

MNP (2005). Effecten van klimaatverandering in Nederland. Rapport 773001034. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.

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.

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

Paulissen M., Schouwenberg EPAG, Velstra J & Wamelink W, 2007, Hoe gevoelig is de Nederlandse natuur voor verzilting? H2O 18: 40-44.

Reijnen, M.J.S.M., R. Pouwels & H. Kuipers, 2007. Optimalisatie samenhang Ecologische Hoofdstructuur; ruimtecondities voor duurzaam behoud biodiversiteit diersoorten. Alterra, Wageningen UR.

Rooij, Sabine van, Hans Baveco, Rob Bugter, Michiel van Eupen, Paul Opdam & Eveliene Steingröver, 2007. Adaptation of the landscape for biodiversity to climate change. BRANCH - Terrestrial case studies Limburg (NL), Kent and Hampshire (UK). Alterra rapport nummer 1543. Wageningen UR.

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.

Van der Veen, M. et al., in voorbereiding. Klimaat respons database. Alterra, Wageningen UR.

Vos, C.C., H. Kuipers en R. Wegman, in prep. Klimaatverandering en natuur: zoekgebieden voor ruimtelijke adaptatie van de EHS. Alterra, Wageningen UR.

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

BEGRIPPENLIJST

Ecotoop: een ruimtelijk begrensde, min of meer homogene landschappelijke eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling wordt bepaald door abiotische, biotische en antropogene condities ter plaatse (uit Bal et al. 2001).

Ellenberggetal: indicatiegetallen voor plantensoorten, ontwikkeld door de Duitser Heinz Ellenberg (1913-1997). Het 'Ellenbergstelsel' classificeert standplaatskenmerken waarbij plantensoorten voorkomen en berust op veldbiologische (en ten dele experimentele) waarnemingen. Er zijn Ellenberggetallen voor de klimaatfactoren licht, temperatuur en continentaliteit en de bodemfactoren vocht, zuurgraad, stikstofgehalte, zoutgehalte en resistentie tegen zware metalen. Elke plantensoort heeft voor deze factoren een getal toegewezen gekregen dat correspondeert met één van de klassen waarin de betreffende factor is ingedeeld. Hierdoor is het mogelijk "gemiddelde" standplaatscondities af te leiden uit de Ellenberggetallen voor de individuele plantensoorten die op een bepaalde plek voorkomen.

Fysisch-Geografische Regio (afgekort FGR): deel van Nederland dat op macroschaal te onderscheiden is op basis van kenmerkende eigenschappen van geomorfologie, bodem en oppervlaktewater (uit Bal et al. 2001).

Glycofyt: een plant die is aangepast aan milieus met een laag zoutgehalte en niet kan groeien of zich voortplanten in een omgeving met een hoog zoutgehalte.

Habitat: kenmerkend leefgebied van een soort (uit Bal et al. 2001).

Habitatrichtlijn: de Habitatrichtlijn van de Europese Unie richt zich, evenals de Vogelrichtlijn, op natuur waarvoor Europa op wereldschaal een bijzondere verantwoordelijkheid draagt, bijvoorbeeld omdat beoogde dier- en plantensoorten niet buiten dit werelddeel voorkomen. De regeling omvat een lijst van natuurtypen (habitattypen, Bijlage I) en soorten (onder meer Bijlage II) die internationaal bescherming behoeven (Janssen & Schaminée 2003).

Halofyt: een plant die kan groeien en zich voortplanten in een milieu met een hoog zoutgehalte.

Natuurdoeltype (afgekort NDT): een in het natuurbeleid nagestreefd type ecosysteem dat een bepaalde biodiversiteit en een bepaalde mate van natuurlijkheid als kwaliteitskenmerken heeft. In nagenoeg-natuurlijke typen krijgen grootschalige, landschapsvormende natuurlijke processen (bijvoorbeeld erosie- en sedimentatieprocessen) de vrije loop. Begeleid-natuurlijke typen wijken hiervan af doordat de mens één of enkele landschapsvormende processen bijstuurt, zonder in detail in te grijpen op het niveau van ecotopen. Bij half-natuurlijke typen staat het kleinschalig bevorderen van specifieke successiestadia en de daarvan afhankelijke doelsoorten centraal. Dit leidt tot een landschapspatroon dat tot op ecotoopniveau door de mens wordt bepaald. In natuurgebieden op het land is dit de meest voorkomende beheersstrategie.

Multifunctionele afgeleiden onderscheiden zich van de andere natuurdoeltypen door een zodanige mate van menselijk gebruik dat de natuurkwaliteit die er gerealiseerd kan worden, geringer is dan bij een optimaal beheer volgens een van de eerste drie beheersstrategieën. Multifunctionele afgeleiden zijn afgeleid van de overige drie categorieën natuurdoeltypen (uit Bal et al. 2001).

Saliniteit: totale ionenconcentratie van een watermonster of waterlichaam. De saliniteit wordt bijna volledig bepaald door de kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} en K^{+} en de anionen HCO_3^{-} of CO_3^{2-} , SO_4^{2-} en Cl^{-} (Bloemendaal et al. 1988).

Zoutindicerende (planten)soorten: soorten die voorkomen op locaties waar meer of minder hoge zoutconcentraties in de bodem aanwezig zijn. Bij hoge zoutconcentraties in bodem(vocht) worden de zoutindicerende plantensoorten ook wel halofyten genoemd.

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%
Zomer ³	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	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.

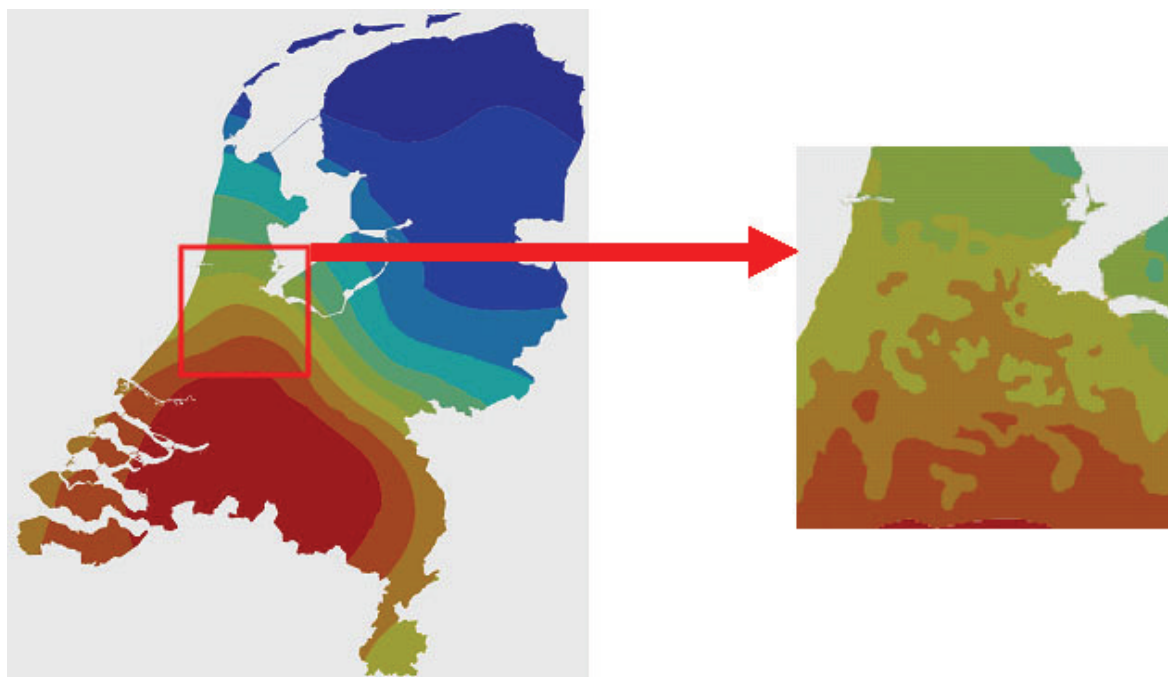
Onzekerheid over toekomstige emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes veroorzaakt slechts een klein deel van de verschillen tussen de KNMI klimaatscenario's voor 2050. De grootste onzekerheid is te wijten aan verschillen in modelberekeningen ten gevolge van de beperkte kennis van het klimaatstelsel. 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 19 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 19 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

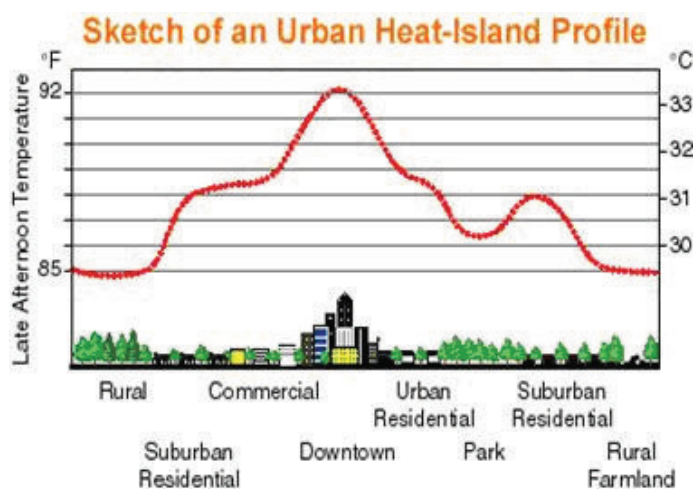
Het is bekend dat zich boven steden zgn. warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt 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 windstille, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5oC. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht ca. 1,1oC 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.



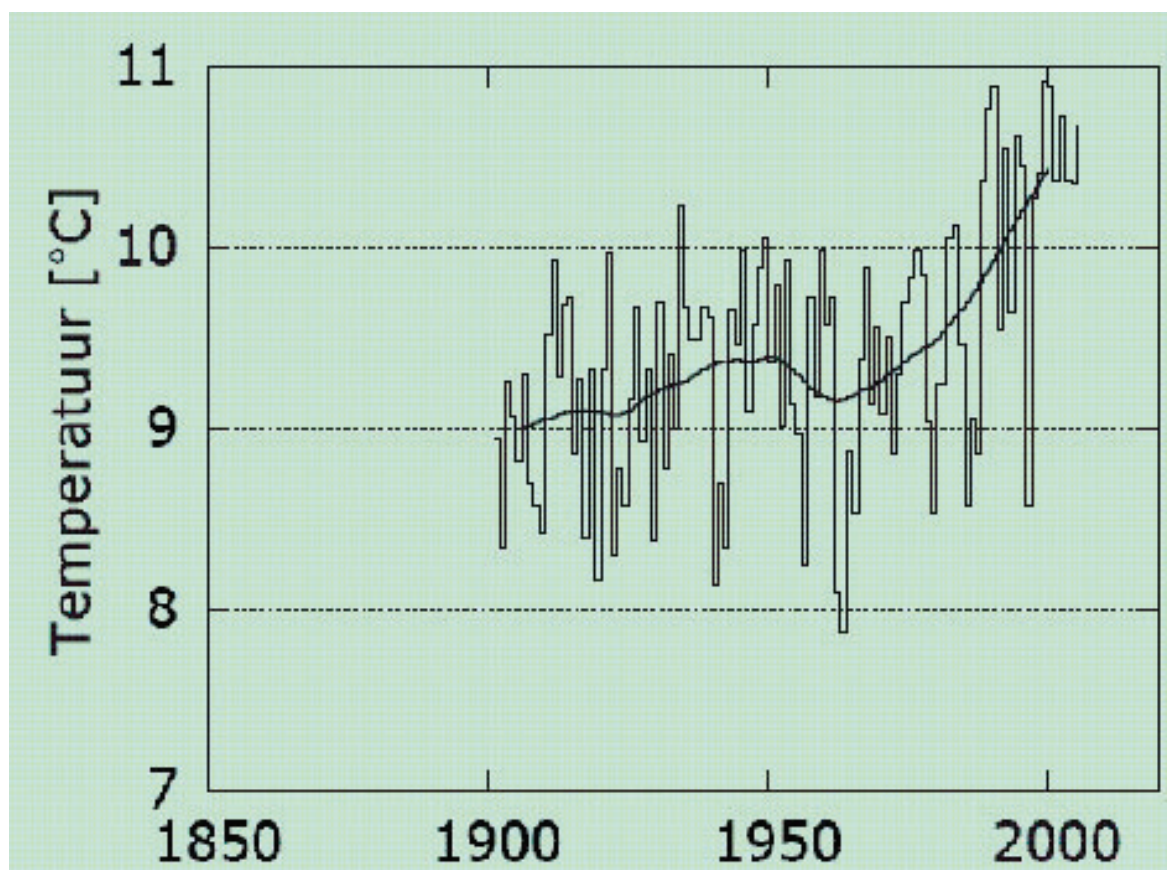
Figuur B3 1 Schematische weergave van het temperatuurprofiel van een 'Urban Heat Island'.

BIJLAGE 4 WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN NEDERLAND

Temperatuur

In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2°C gestegen (Figuur B4 1). Hetzelfde patroon aan veranderingen in de gemiddelde jaartemperatuur is terug te vinden in de metingen in bijvoorbeeld Deelen (metingen vanaf 1949). 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.



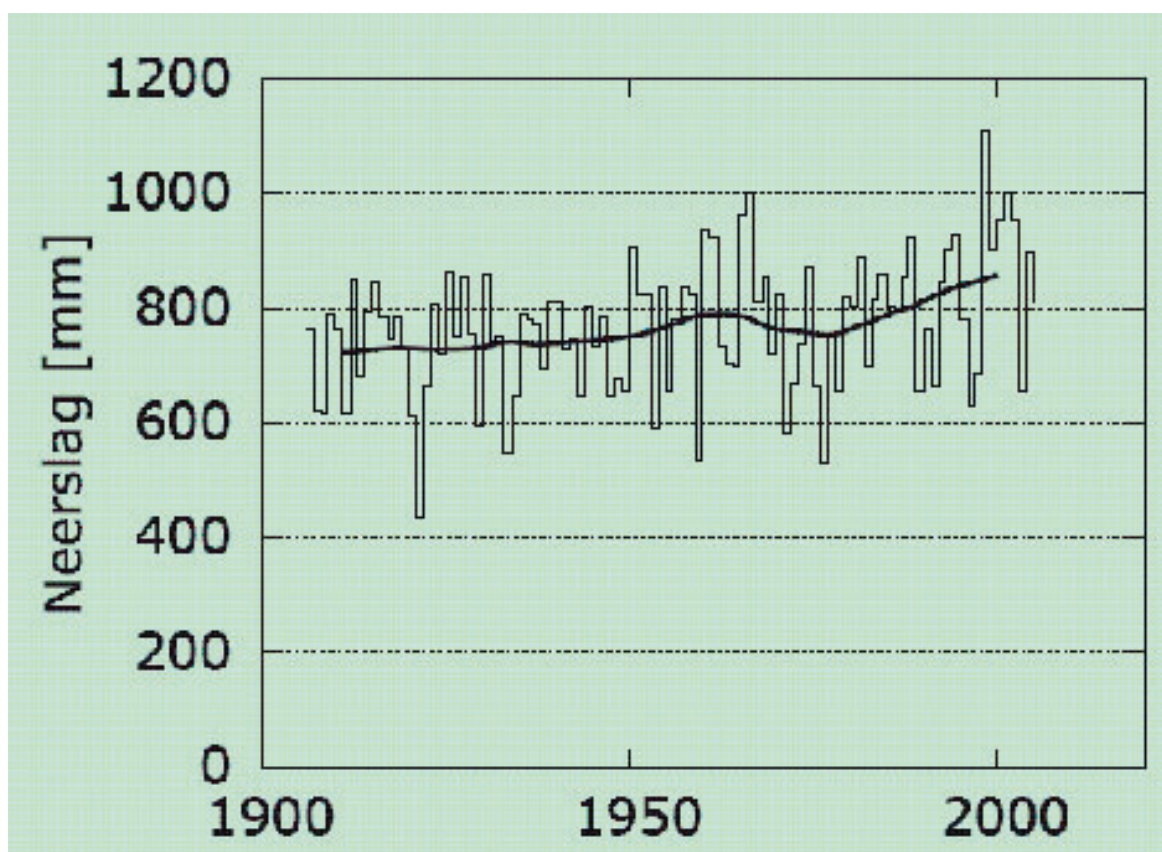
Figuur B4.1 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

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.

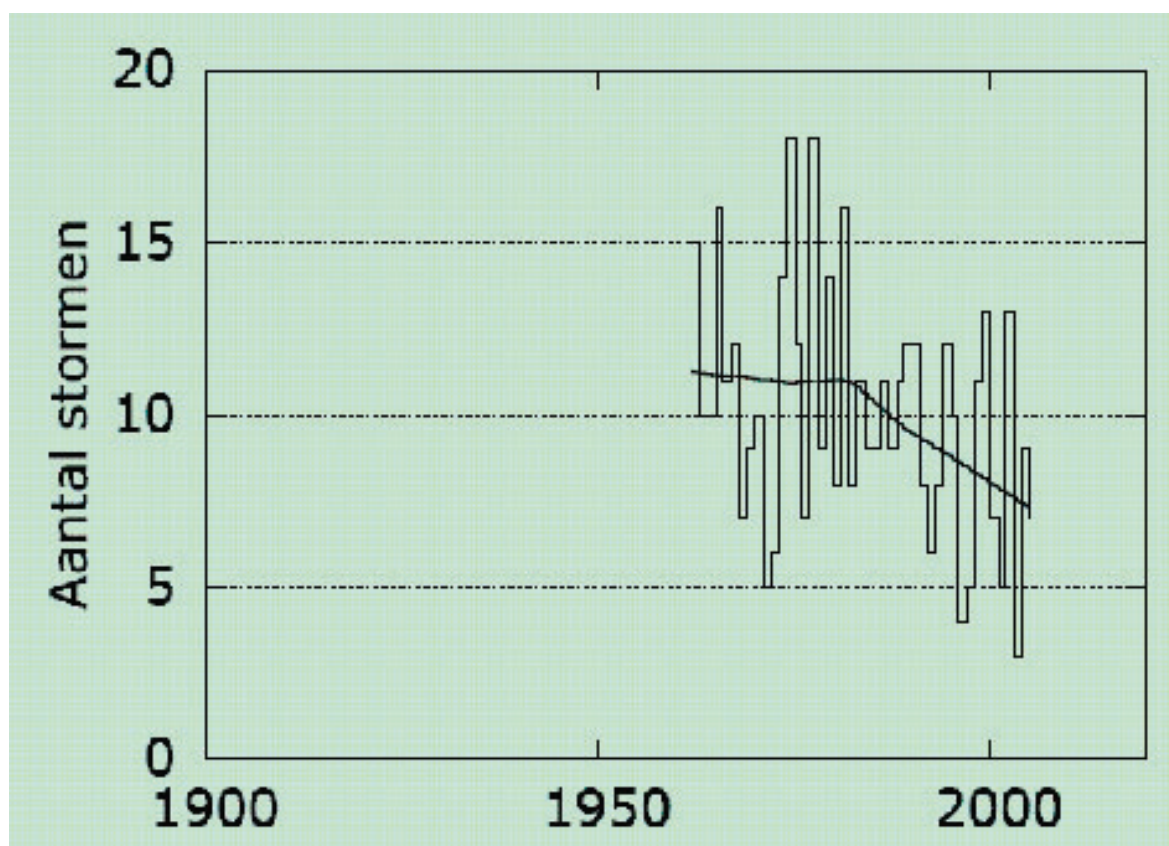


Figuur B4.2 Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

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.

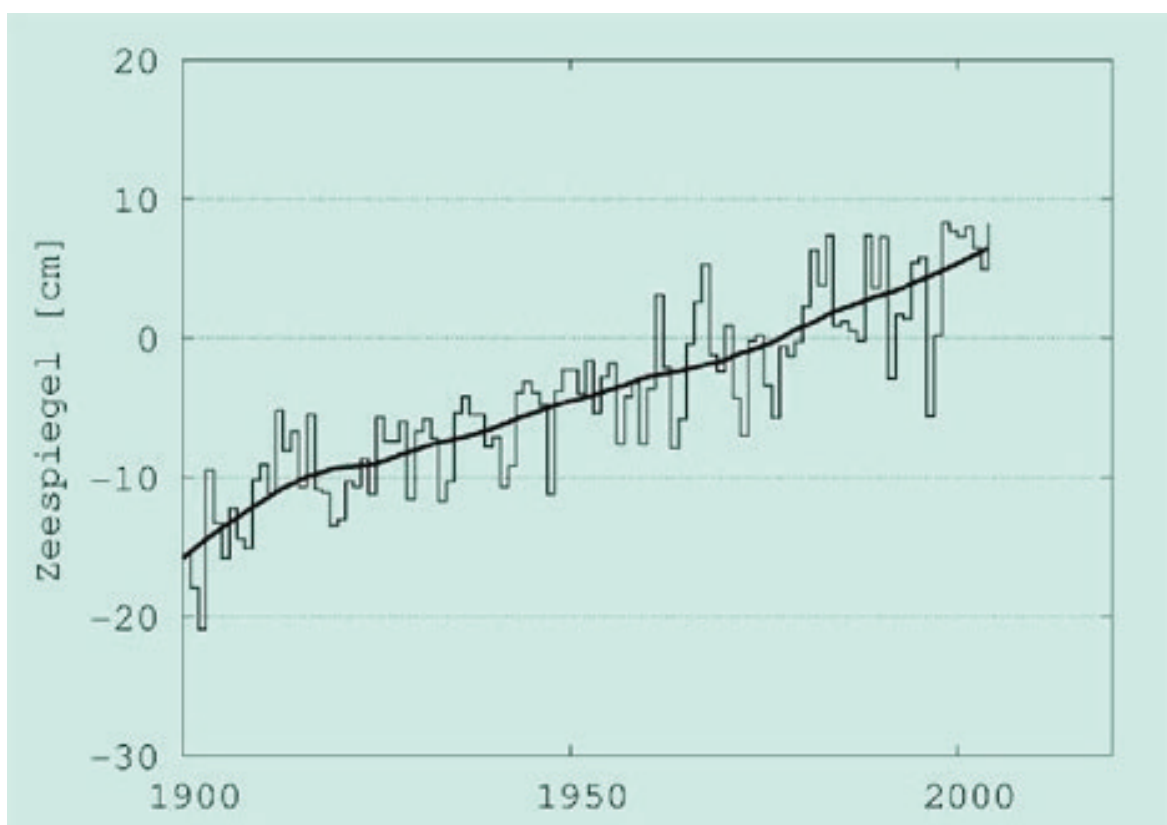


Figuur B4.3 Aantal 'stormen' in Nederland (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) tussen 1962 en 2005 (gemiddelde van 13 stations). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

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 B5 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.

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.



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.

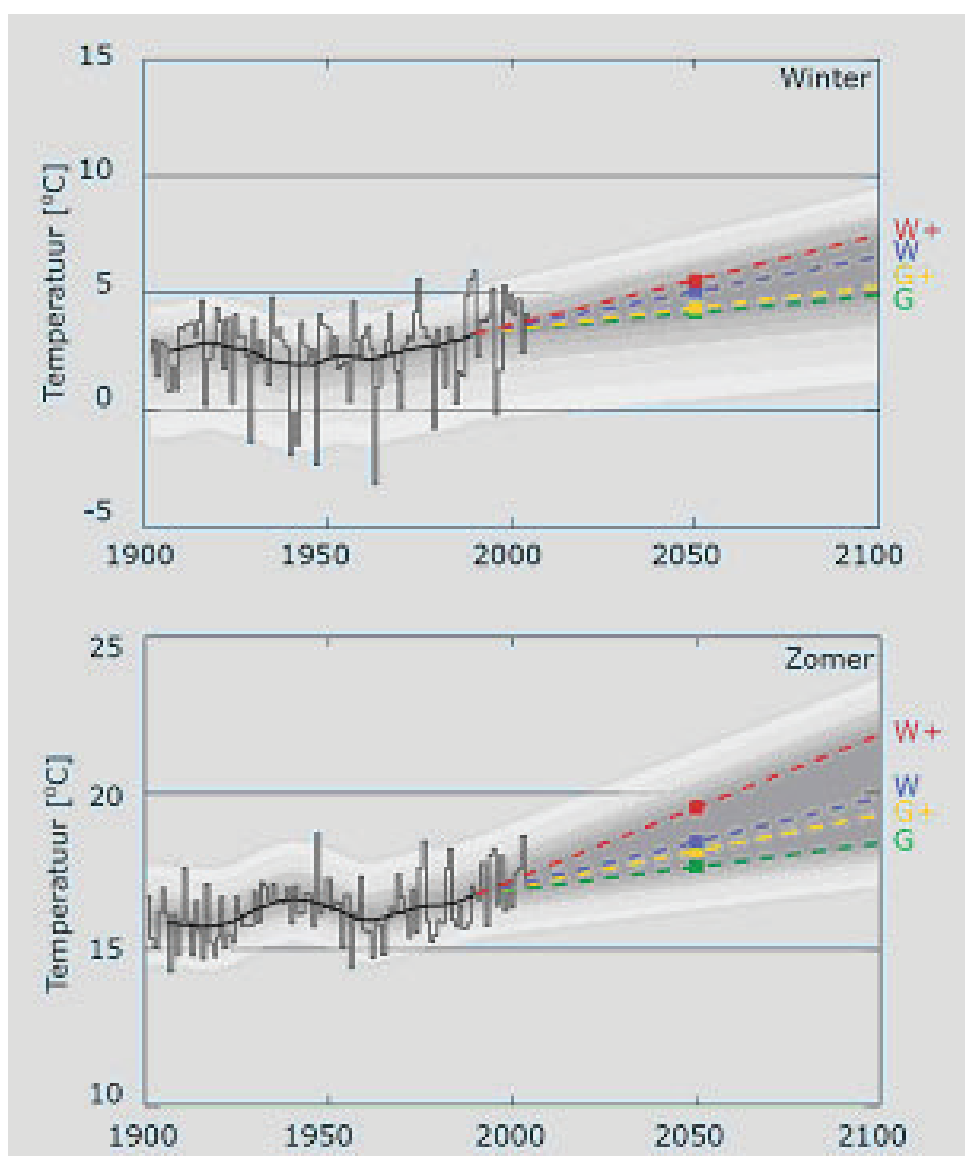
BIJLAGE 5 PRIMAIRE EFFECTEN: KAARTEN EN ADDITIONELE INFORMATIE

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 Deelen in de provincie Gelderland. 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 vooralsnog 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 Noord-Brabant 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	Deelen	5,3	6,2	6,5	7,1	7,6
lente	Deelen	13,5	14,5	14,8	15,4	16,1
Zomer	Deelen	21,7	22,6	23,1	23,5	24,6
herfst	Deelen	13,9	14,8	15,2	15,7	16,6
Gemiddelde minimum dagtemperatuur (°C)						
winter	Deelen	-0,2	0,7	0,9	1,6	2,1
lente	Deelen	4,1	5,0	5,3	5,9	6,6
zomer	Deelen	11,3	12,2	12,8	13,1	14,2
herfst	Deelen	6,3	7,3	7,7	8,2	9,0
Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur (°C)						
	Deelen	32,1	33,2	34,2	34,3	36,3
Gemiddelde jaarlijkse laagste minimum temperatuur (°C)						
	Deelen	-12,5	-11,4	-10,9	-10,3	-9,3

* 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 tot en met 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 19 KNMI-stations in Nederland, waarvan alleen het station Deelen in de provincie Gelderland ligt. Dit is te weinig om alle ruimtelijke patronen goed met behulp van een GIS te genereren. De figuren geven het ruimtelijk patroon binnen Gelderland 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).

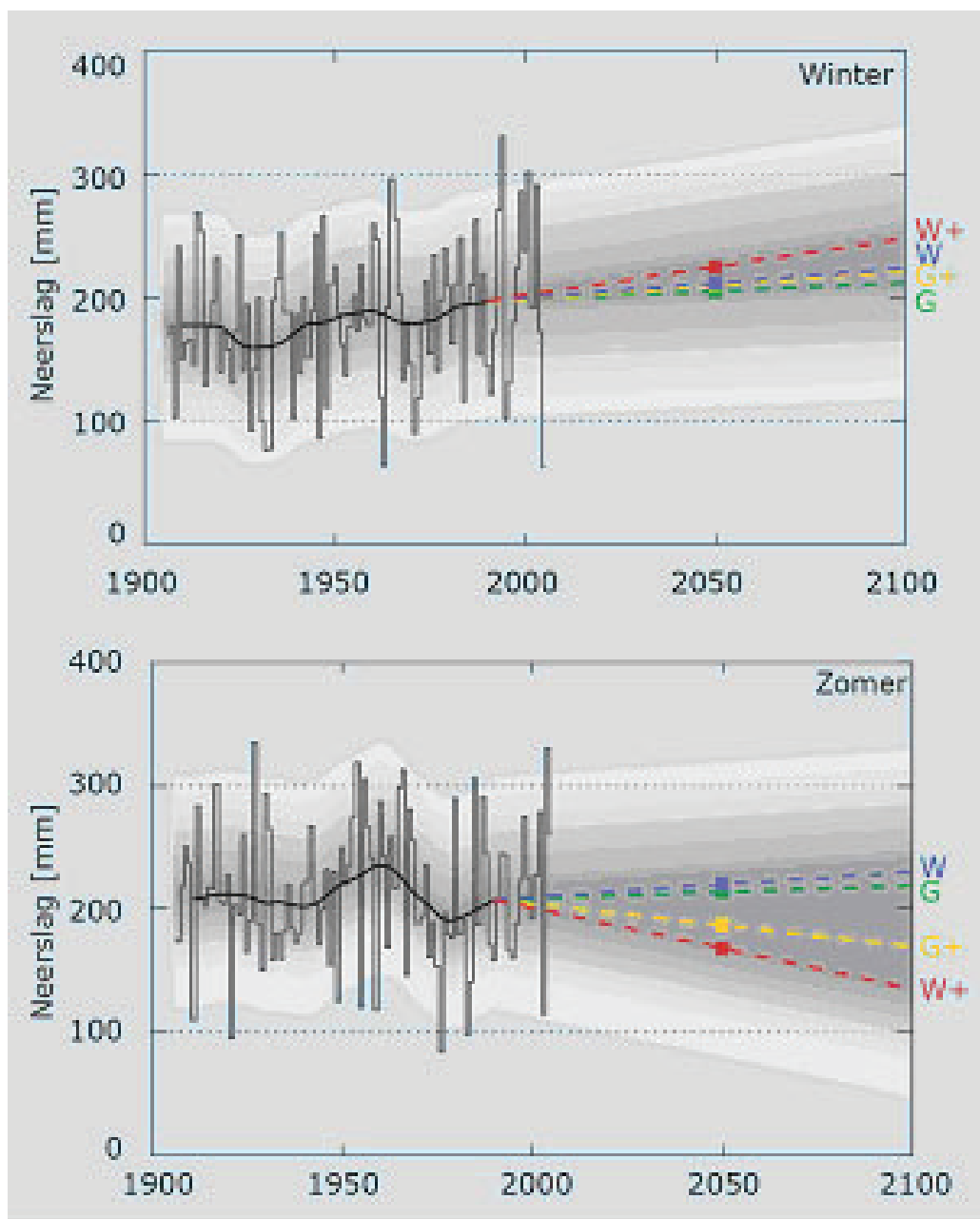
In het huidige klimaat is het aantal warme, zomerse, tropische en vorstdagen aan de kust kleiner dan meer in het binnenland (Figuren 2.1-2.5). Voor ijsdagen is er een minder duidelijk land-zee-effect, doordat ijsdagen vooral optreden bij noorden- tot oostenwind (terwijl in Nederland de overheersende 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 2.1-2.11 zijn gegenereerd op basis van gegevens van 280 KNMI-neerslagstations in Nederland, waarvan een redelijk aantal in de provincie Gelderland 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 dagnegerslagsom 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 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 verspillen 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 B5.2 geeft voor enkele stations in Gelderland 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 Gelderland (range 88-117 mm) relatief groot 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.

KNMI-neerslagstation	Huidig klimaat	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
24-uurs neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (mm)					
Herwen	49	56	52	63	54
Geldermalsen	51	58	54	65	56
Beekbergen	61	69	64	78	67

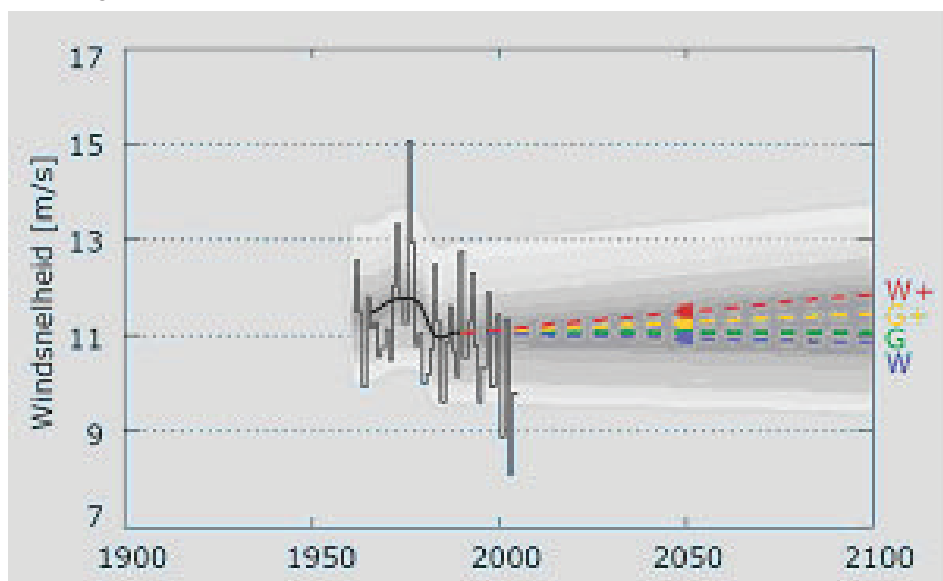
* De veranderingen in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 zijn twee maal zo groot als de veranderingen in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

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 Deelen is de gemiddelde windsnelheid over het jaar 4,4 m/s (periode 1971-2000). 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 temperatuuroptocht: 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 enkele ruimtelijke verschillen zien. Met name rond de Utrechtse Heuvelrug is het neerslagtekort in de zomermaanden kleiner. Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald. Rond de Utrechtse Heuvelrug is het neerslagoverschot in de winter het grootst. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat daar meer neerslag valt.

Zonneschijn

De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur, maar wel 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' (KNMI, 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 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 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.

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 respectievelijke 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 treed

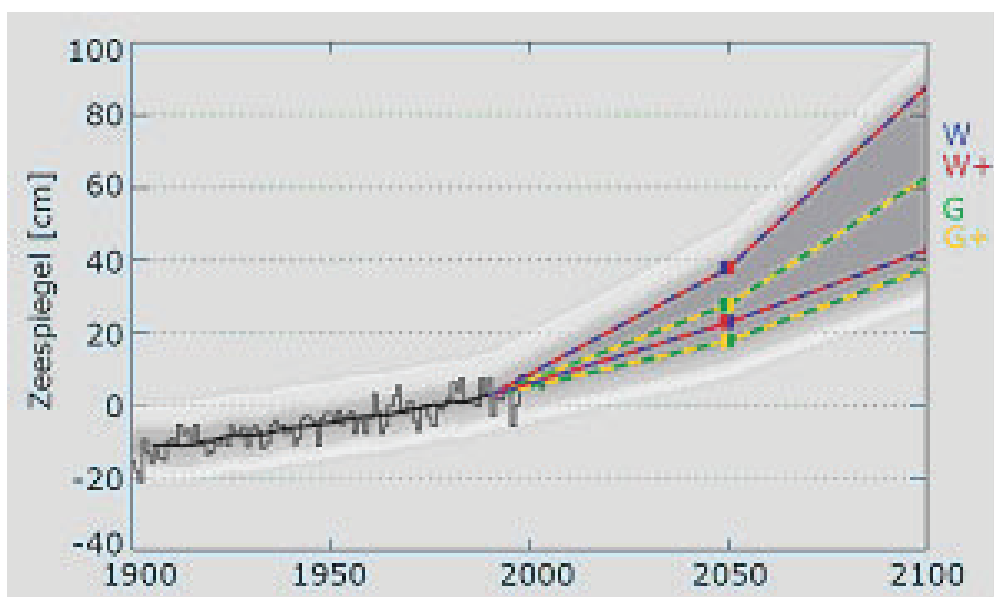
in het G+ en W+ scenario ook een verandering in luchtstromingspatronen op (meer westenwind). Dit zou bij dezelfde regels een vermindering van de straling met respectievelijk 3% en 6% rond 2050 ten opzichte van 1990 tot gevolg hebben.

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 B5.4). 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

Klimaatanlas

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.

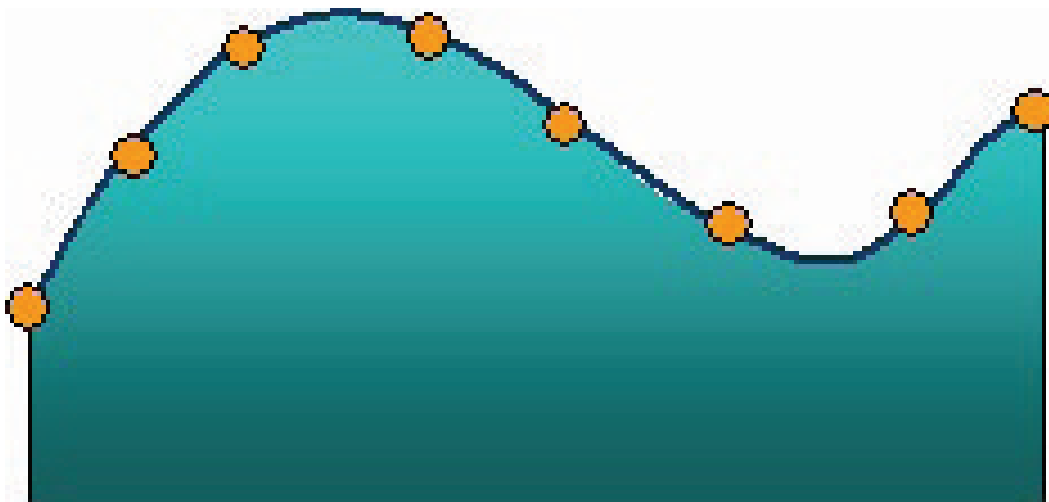
Klimaatgegevens voor de toekomst

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 Gelderland
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 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 Drs. Sabine van Rooij, Alterra Landschapsecologie Dr. Eveliene Steingröver, Alterra Landschapsecologie Dr.Ir. Lodewijk C.P.M. Stuyt, Alterra Integraal waterbeheer, verzilting Britta Verboom, Provincie Gelderland 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
