

In opdracht van de provincie Noord-Brabant

Provincie Noord-Brabant



Klimaat-effectschetsboek Noord-Brabant

Alterra
DHV B.V.
KNMI
VU

Provincie Noord-Brabant
augustus 2008

dossier : B1661.01.001
versie : definitief

Provincie: Noord-Brabant
Augustus 2008

Dit klimaateffetschetsboek is een co-productie van het KNMI, Alterra, Wageningen UR, DHV en de Vrije Universiteit Amsterdam in opdracht van de provincie Noord-Brabant. Het project is mede mogelijk gemaakt door financiering uit het programma Klimaat voor Ruimte (www.klimaatvoorruimte.nl), waar het valt onder projectnummer COM21.

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

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	De Provincie Noord-Brabant en het klimaateffetschetsboek	7
1.2	Het klimaat verandert	8
1.2.1	Klimaatverandering en het broeikaseffect	8
1.2.2	Klimaatscenario's	9
1.2.3	Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?	11
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	27
2.3.1	Gemiddelde neerslag	27
2.3.2	Extreme neerslag	31
2.4	Neerslagtekort	35
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: afvoeren op de rivieren	41
3.1.2	Prioritering bij lage rivierafvoer	42
3.1.3	Veranderingen regionale watersystemen	43
3.1.4	Waterkwaliteit	45
3.2	Stedelijk gebied	46
3.2.1	Wateroverlast in stedelijk gebied	46
3.2.2	Watertekort in de stad	47
3.2.3	Hittestress in de stad	47
3.2.4	Luchtkwaliteit	50
3.3	Landelijk gebied	50
3.3.1	Wateroverlast Landelijk gebied	50
3.3.2	Verdroging in het landelijk gebied	51
3.4	Landbouw	51
3.4.1	Structurele en incidentele klimaatverandering	53
3.4.2	Wateroverlast in de winter	53
3.4.3	Droogteschade grondgebonden landbouw	53
3.4.3	Verziltingschade grondgebonden landbouw	55
3.4.4	Temperatuur en landbouw	55
3.5	Natuur	57
3.5.1	Effecten op natuur - algemeen	57
3.5.2	Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Noord-Brabant	60
3.5.3	Adaptatie mogelijkheden	61
3.6	Infrastructuur	62
3.6.1	Wateroverlast verkeers-infrastructuur.	62
3.6.2	Temperatuur en infrastructuur	63
3.7	Recreatie	63
	REFERENTIES	66
	BEGRIPPENLIJST	68
BIJLAGE 1	KNMI'06 klimaatscenario's	69
BIJLAGE 2	Interpretatie van de kaarten	72
BIJLAGE 3	Het stadseffect	74
BIJLAGE 4	Waargenomen veranderingen in Nederland	75
BIJLAGE 5	Primaire effecten: kaarten en additionele informatie	79
BIJLAGE 6	Methodieken klimatologische kaarten	87

1 INLEIDING

Het klimaat verandert, dat is inmiddels wel duidelijk. Ook met 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. Hierdoor kunnen verschillende ruimtelijke functies bedreigd worden, het kan echter ook kansen met zich meebrengen. Deze klimaatverandering is voor de Provincie Noord-Brabant aanleiding een klimaateffectschetsboek op te stellen.

Het schetsboek geeft een wetenschappelijk onderbouwde weergave van verwachtingen rondom klimaatverandering in Brabant. In Hoofdstuk 2 gaat het daarbij om het weergeven van beschikbare kennis over primaire effecten als veranderingen in temperatuur, neerslag, zonneschijn, zeespiegel. In Hoofdstuk 3 gaat het om het weergeven van kennis over van de doorwerking van deze temperatuur en neerslag veranderingen naar belangrijke functies als natuur, waterveiligheid, landbouw, recreatie, energievoorziening etc. Daarbij gaat het om gevolgen van wateroverlast, droogte, hittestress e.d.

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

De primaire effecten zijn gebaseerd op de KNMI 2006 scenario's (zie voor toelichting paragraaf 1.2.2). Bij de uitwerking van dit schetsboek is 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 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 Noord-Brabant. Het doel van de schetsboeken is om een feitelijke basis te bieden voor de discussie over een klimaatbestendige adaptatie strategie.

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 Noord-Brabant en het klimaateffectschetsboek

In het Brabantse Bestuursakkoord 2007-2011 "Vertrouwen in Brabant" (april 2007) schrijven de coalitiepartijen CDA, VVD en PvdA: "Ook op de gevolgen van het veranderende klimaat dienen wij op korte en lange termijn te anticiperen. Daar staat de provincie voor. Maar niet alleen. Om dat te kunnen bereiken is een intensievere samenwerking met maatschappelijke partners noodzakelijk."

"Ons klimaat verandert. Op de gevolgen van deze veranderingen dienen wij te anticiperen, maar ook daar waar wij de versnelling van dit proces kunnen tegengaan dienen wij onze verantwoordelijkheid te nemen."

De partijen hebben afgesproken om in Brabant - naast voortzetting van het mitigatiebeleid - ook adaptatiebeleid te ontwikkelen en uit te voeren.

Het mitigatiebeleid krijgt vorm via energiebesparing en inzet van duurzame energiebronnen zoals windenergie en biobrandstoffen. Dit beleid is in de vorige bestuursperiode al in gang gezet. In de komende periode zal een verdere stap voorwaarts worden gezet in het provinciale duurzame energiebeleid.

Ook op het gebied van klimaatadaptatie is er provinciaal niveau al een en ander tot ontwikkeling gebracht. Momenteel geeft de provincie dit vooral vorm in concrete projecten zoals in het kader van Ruimte voor de Rivier. Daarnaast is het thema nog in ontwikkeling – provinciaal, internationaal, nationaal. Er zijn vragen over de invloed van verwachte klimaatverandering op gebied van natuur, landbouw, recreatie in Brabant en de mate waarin stakeholders daarmee rekenen (kunnen) houden.

Om de ambitie op het gebied van klimaatadaptatie te kunnen uitvoeren heeft Gedeputeerde Staten in september 2007 besloten eerst een op Brabant toegespitste verkenning uit te voeren naar de betekenis van klimaatverandering voor deze provincie.

Onderdeel van deze verkenning is het voorliggende klimaateffectschetsboek.

1.2 Het klimaat verandert

1.2.1 Klimaatverandering en het broeikaseffect

Samenvatting

Het klimaat is het gemiddelde weer in een bepaald gebied over een langere periode. Klimaatverandering is van alle tijden, en kan worden veroorzaakt door natuurlijke factoren en door menselijk handelen. Door de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer, vooral veroorzaakt door menselijk handelen, wordt het natuurlijke broeikaseffect versterkt. Het grootste deel van de toename van de mondiale temperatuurstijging sinds het midden van de 20e eeuw is zeer waarschijnlijk het gevolg van de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer.

Wat is klimaat?

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

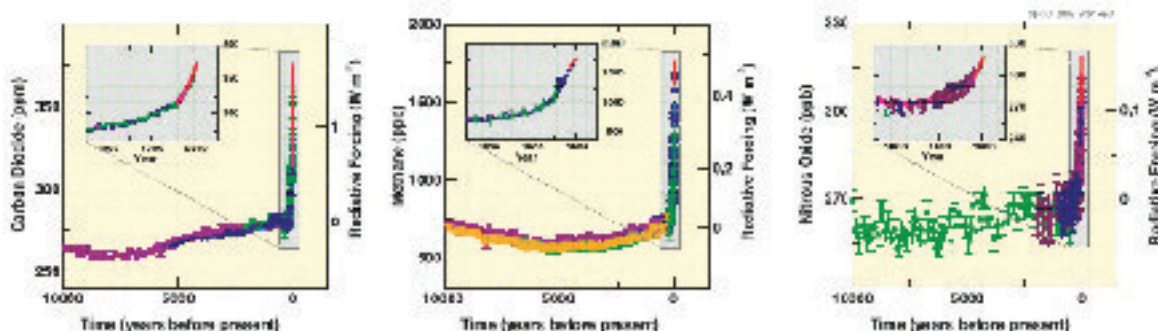
Vaak wordt een periode van 30 jaar gebruikt om de gemiddelden en extremen van een klimaat te bepalen (standaard volgens de World Meteorological Organization). Een periode van 30 jaar bevat een groot deel van de natuurlijke variatie tussen jaren (maar niet alles). Het KNMI maakt elke 10 jaar een overzicht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

Klimaatverandering is van alle tijden

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

Natuurlijke oorzaken (bijv. 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 (bijv. 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 broeikas effect versterkt. Sinds het preïndustriële tijdperk (ong. 1860) is de concentratie van CO₂, CH₄ en N₂O door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 1.1; IPCC, 2007).

1.2.2 *Klimaatscenario's*

Samenvatting

Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. In mei 2006 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's (KNMI'06) voor Nederland en omgeving gepresenteerd. Deze zijn gebaseerd op dezelfde bronnen als het meest recente rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007). De KNMI'06 klimaatscenario's zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100.

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 voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's, dat wil zeggen aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze emissiescenario's zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over hoe de wereldbevolking zich ontwikkelt, maar ook de economie, technologie, etc. (sociaal-economische en technologische scenario's).

De mondiale 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

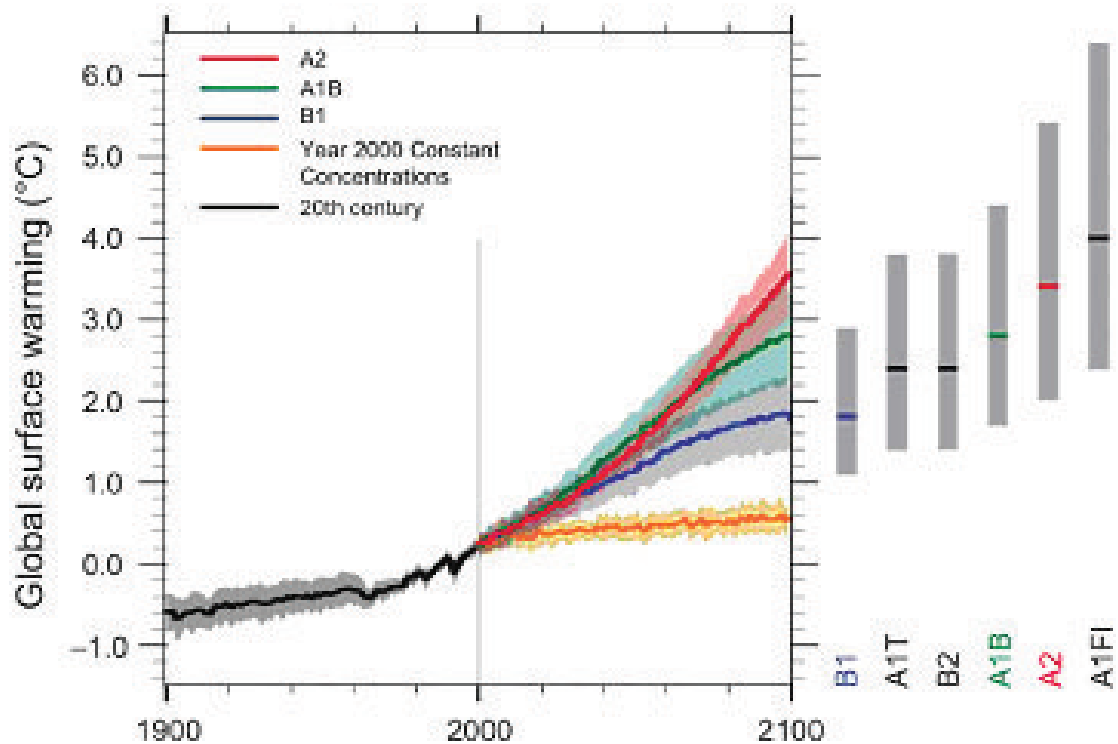
Hoe het klimaat in Nederland verandert is vooral afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de stromingspatronen van de lucht in onze omgeving (West Europa) en de daarmee samenhangende veranderingen in de wind. De indeling van de scenario's² is daarom op deze twee aspecten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

Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatscenario's zijn:

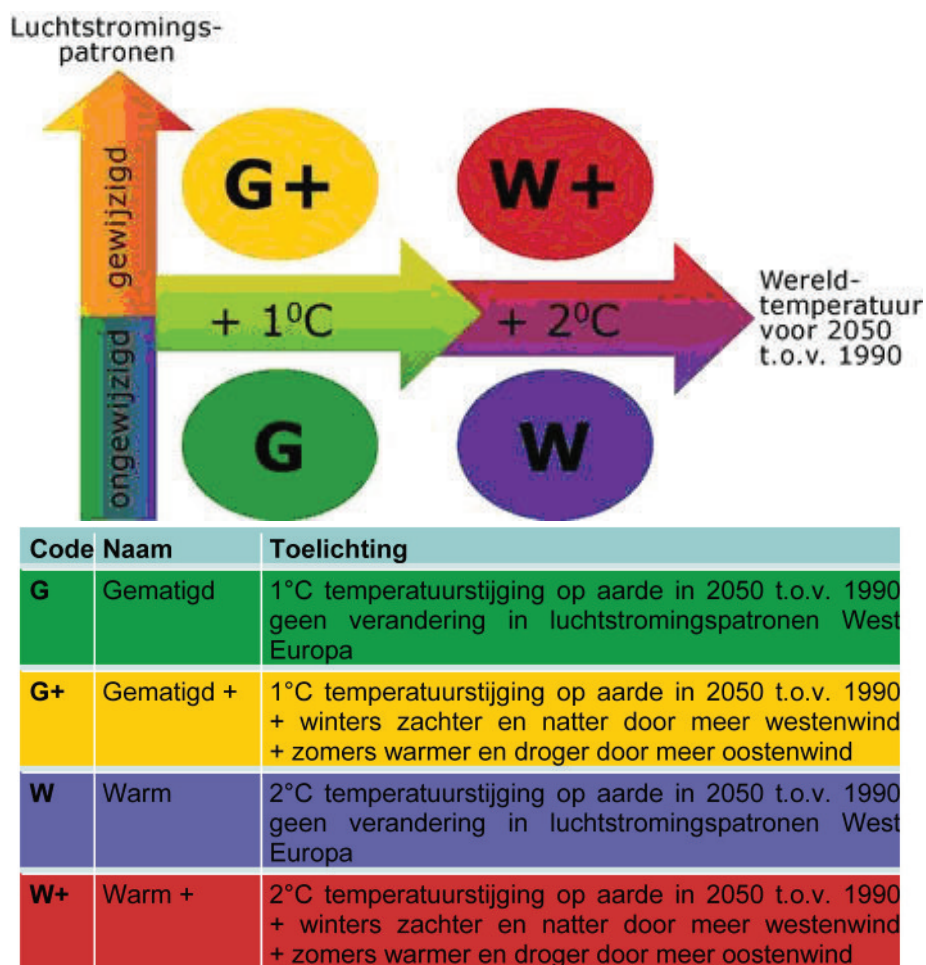
- Opwarming zet door;
- Winters gemiddeld natter;
- Heviger extreme zomerbuien;
- Veranderingen in het windklimaat klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- Zeespiegel blijft stijgen.

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

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



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



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

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?

Samenvatting

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

Welke onzekerheden zijn er?

We weten zeker dat er een broeikaseffect is en dat door menselijk toedoen de concentraties van broeikasgassen zijn toegenomen (IPCC, 2007). We weten echter niet hoe sterk ons klimaatsysteem hierop zal reageren.

Vandaar dat de uitkomsten van de modelberekeningen van de toekomstige temperatuurstijging op aarde onderling aanzienlijk verschillen. Dit hangt samen met twee typen onzekerheden:

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

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

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

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

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

Temperatuur > Zeespiegel > Neerslag > Wind

Neerslag winter > Neerslag zomer

Gemiddelden > Eens per 10 jaar extremen

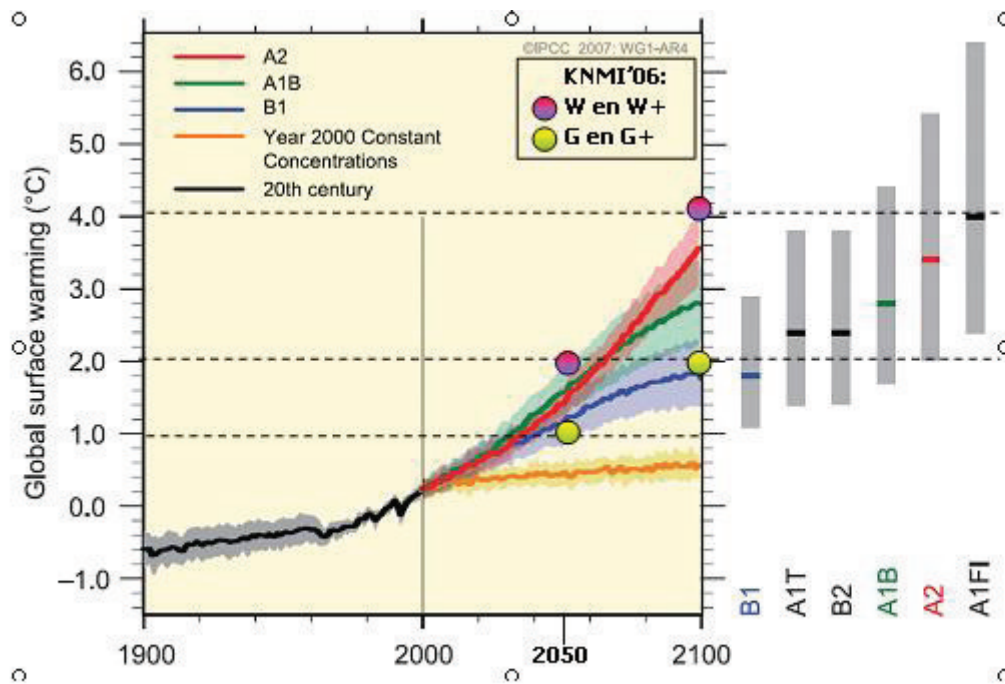
Omgaan met onzekerheden

Een manier om met onzekerheden om te gaan, is gebruik maken van scenario's. De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen (zie figuren 1.4 en 1.5). Onzekerheden als gevolg van sociaal-economische en technologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door bij het ontwikkelen van de scenario's verschillende emissiescenario's (A1, A2, B1, B2 in figuur 1.4) mee te nemen. De onzekerheden m.b.t. het klimaatsysteem zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van een zo groot mogelijk aantal mondiale en regionale klimaatmodellen (de grijze balken aan de rechterkant in figuur 1.4). De KNMI'06 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk. Met de huidige kennis is echter niet aan te geven welk scenario het meest waarschijnlijk is.

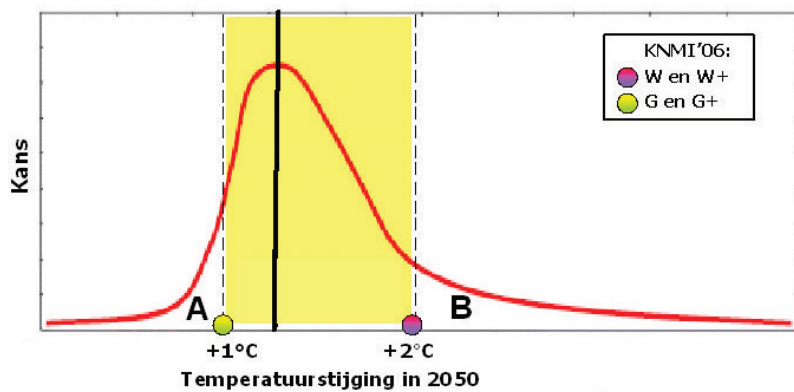
Om een goed beeld van de mogelijke veranderingen en effecten in de toekomst te krijgen is het verstandig om alle vier de KNMI'06 scenario's te gebruiken en deze te vergelijken met de huidige situatie. In dit rapport zullen uit praktische overwegingen telkens kaarten worden gepresenteerd voor de huidige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

De mondiale temperatuurstijging in de scenario's W en W+ is 2x de mondiale temperatuurstijging in de scenario's G en G+. De mondiale temperatuurstijging in 2100 in de scenario's G en G+ is gelijk aan de mondiale temperatuurstijging in 2050 in de scenario's W en W+ (dit geldt ook voor de andere klimaatvariabelen, behalve voor zeespiegelstijging). De scenario's W en W+ geven de bovengrens aan voor de KNMI'06-scenario's, de scenario's G en G+ de ondergrens.

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



















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



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

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

Klimaatvariabele	Trend tot 2050/2100	Kaarten/ grafieken	Toelichting
Temperatuur: par. 2.2			
Gemiddelde temperatuur Gem. max. temperatuur Gem. min. temperatuur	jaar winter lente zomer herfst		geringste toename in G, grootste toename in W+
aantal ijsdagen aantal vorstdagen			geringste afname in G, grootste afname in W+
aantal warme dagen aantal zomerse dagen aantal tropische dagen			geringste toename in G, grootste toename in W+
Neerslag: par. 2.3			
Gemiddelde neerslag	jaar	 	grootste toename in W, grootste afname in W+
	winter-halfjaar		geringste toename in G, grootste toename in W+
	zomer-halfjaar	 	grootste toename in W, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 1 mm			geringste afname in G, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 15 mm			geringe toename in G+ en W+, grootste toename in W
Neerslagtekort: par. 2.4			
Neerslagtekort	zomer-halfjaar		Nauwelijks verandering in gemiddelde en extremen in G en W Duidelijke toename in G+ en W+
Zonneschijn/Straling: par. 2.5			
Gemiddelde straling		 	Nauwelijks verandering in G en W Toename in zomer in G+ en W+
Wind: par. 2.6			
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. 2.7			
Zeespiegelstijging			geringste toename in G/G+, grootste toename in WWW+

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. Dit zijn de primaire klimaateffecten.

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

2.1 Welke informatie geven de kaarten?

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

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

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

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

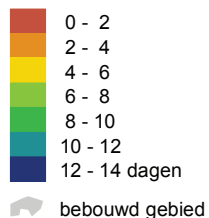
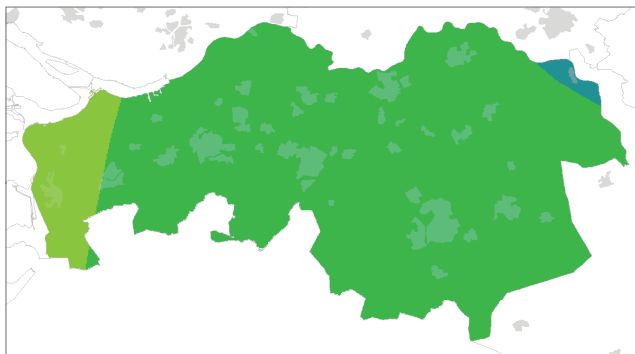
- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations vanwege de beperkte tijd zonder additionele klimatologische kennis. In de klimaatatlas: normaalperiode 1971-2000 (KNMI, 2002) is wel extra klimatologische kennis gebruikt om kaarten te maken;
- 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. Er wordt niet verwacht dat de verandering van de luchtstromingspatronen in de G+ en W+ scenario's zal leiden tot duidelijke andere ruimtelijke patronen;
- De ruimtelijke verschillen geven niet aan waar de gevolgen van klimaatverandering het grootst zijn.

Het bovenstaande betekent dat:

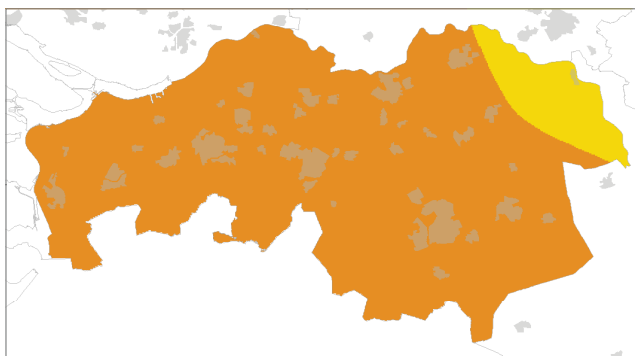
- de kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- de kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen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

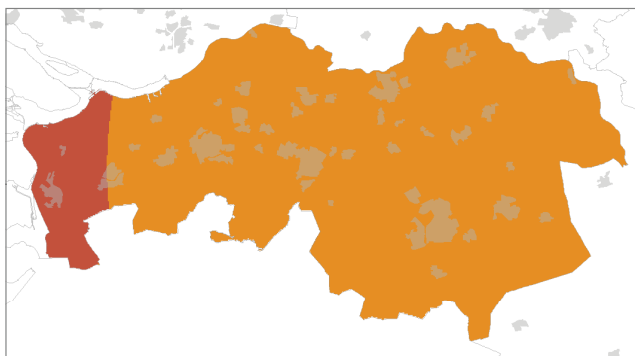
1976 - 2005



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 warme dagen per jaar (maximumtemperatuur >= 20°C) 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 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 2x 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 2 maal zo groot als voor 2050 en voor 2020 zijn de veranderingen 2 maal 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 temperatuuroptename 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

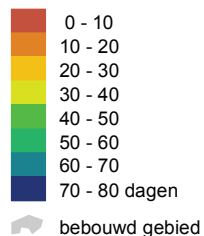
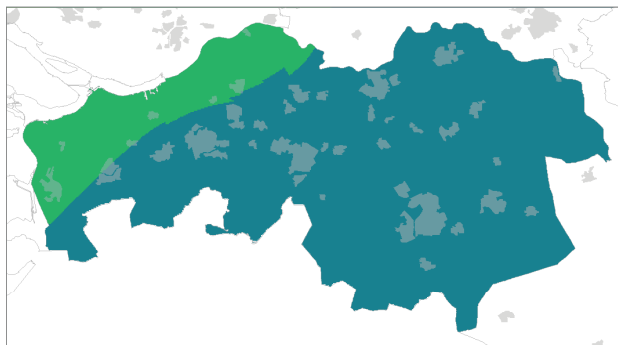
In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur in de zomer aan de kust lager dan meer landinwaarts. In de winter is het omgekeerde het geval. In steden is het gemiddeld wat warmer dan op het omringende platteland, dit is niet te zien in figuren 2.1 tot en met 2.5, maar wordt beschreven in bijlage 3 'urban heat effect'. Dezelfde patronen zullen in de toekomst blijven bestaan. Een verandering in luchtstromingspatronen zal hierin ook niet of nauwelijks verandering brengen. In de KNMI'06 klimaatscenario's is de temperatuurstijging in Nederland niet gelijk aan de wereldgemiddelde temperatuurstijging. Van belang hierbij is de ligging van ons land aan de rand van een groot continent dat sterker opwarmt, maar ook dicht bij het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan, waarvoor de meeste klimaatmodellen een veel minder sterke temperatuurstijging berekenen.

Klimaatverandering rond 2020, 2050 en 2100

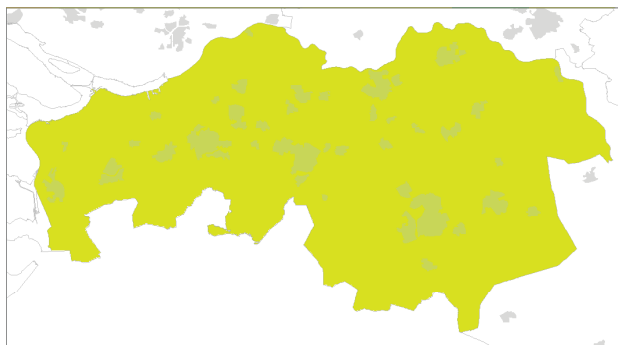
In dit schetsboek zijn de veranderingen tussen het huidige klimaat (rond 1990 = 1976-2005) en het klimaat rond 2050 gegeven. In de KNMI'06 scenario's zijn de veranderingen in temperatuur, neerslag en wind rond 2100 tweemaal zo groot als voor 2050. Voor het klimaat rond 2020 geldt dat de veranderingen in temperatuur, neerslag en wind maar de helft zijn van de veranderingen tussen het klimaat rond 1990 en rond 2050. Dit betekent niet dat het aantal tropische dagen, vorstdagen, dagen met minimaal 15 mm neerslag, etc. lineair veranderen. Het gaat hierbij om het overschrijden van specifieke grenswaarden. Op het moment dat men dicht bij deze grenswaarden zit kan het aantal dagen met deze eigenschap snel toenemen. Enkele voorbeelden van het aantal vorstdagen, tropische dagen, etc. voor het klimaat rond 2050 en voor rond 2100 staan gegeven op <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/gegevens/temperatuur/>.

Aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C)

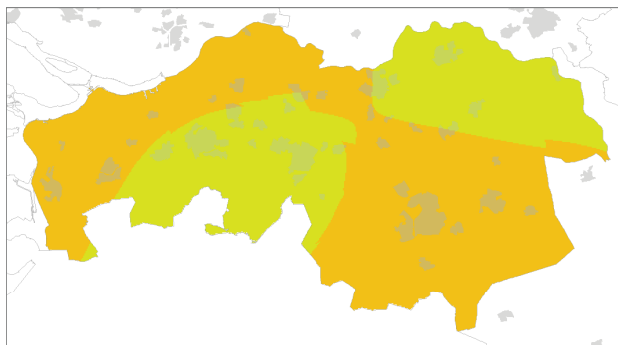
1976 - 2005



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 ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C) 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 de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

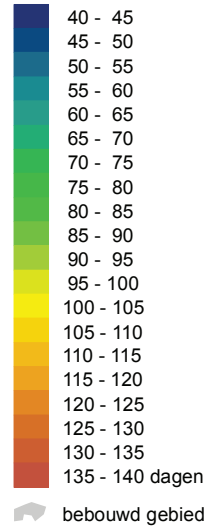
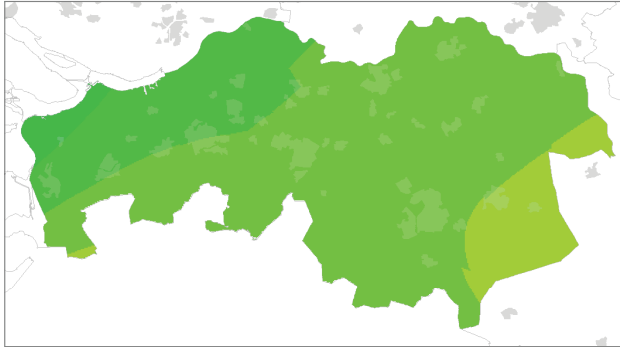
2.2.2 *Temperatuur extremen*

Toekomstige trends

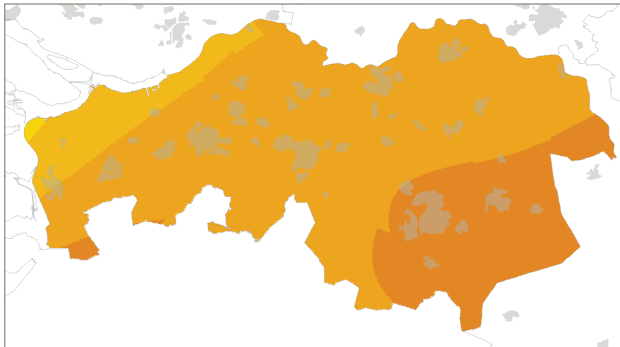
De vier KNMI'06 scenario's geven een sterkere stijging van de temperatuurextremen zien dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0°C tot 2,9°C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0°C tot 3,8°C 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 $\geq 20^{\circ}\text{C}$)

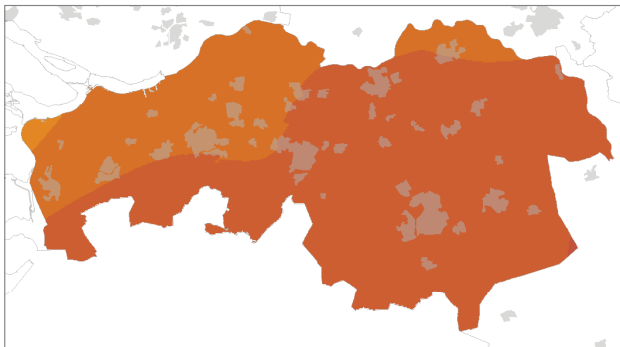
1976 - 2005



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 tropische dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) 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 de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is het aantal vorstdagen (figuur 2.2) en ijsdagen (figuur 2.1) aan de kust kleiner dan meer in het binnenland. 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 (ook in de toekomst) is de temperatuur langs de kust in de winter wat hoger dan meer landinwaarts, en in de zomer wat lager dan landinwaarts. Als gevolg hiervan is het aantal warme, zomerse en tropische dagen aan de westkant van Noord-Brabant lager dan aan de oostkant, en het aantal vorstdagen is daardoor eveneens aan de westkant van Noord-Brabant 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.

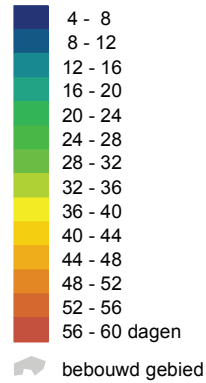
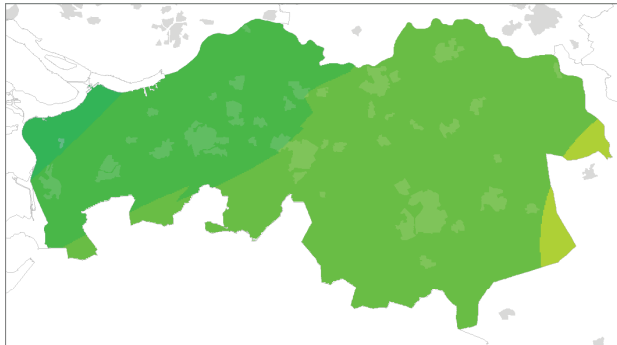
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- 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 planten- en diersoorten.

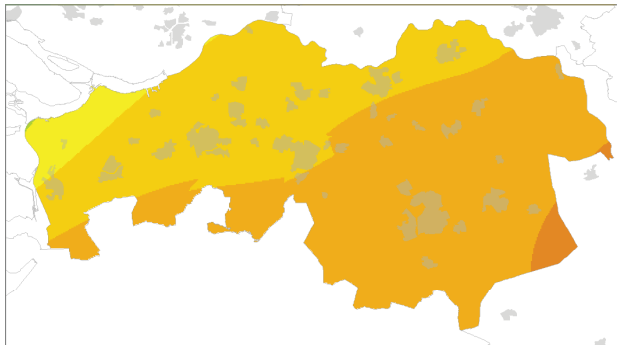
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten

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

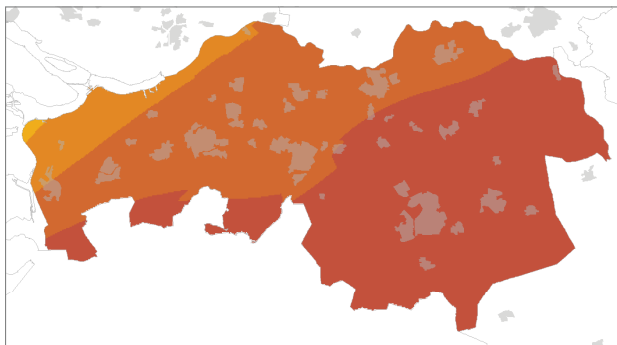
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.4 Kaarten met het gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (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 de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de zomer van 2003 normaal rond 2050?

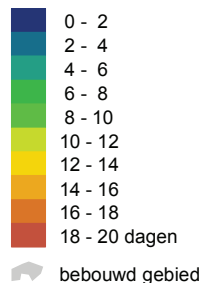
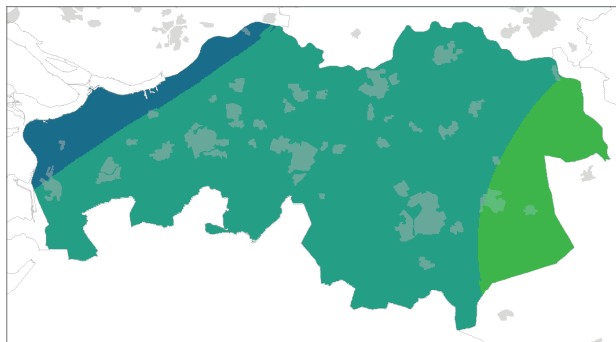
Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Gemiddeld is de temperatuur in de zomermaanden juni t/m augustus rond Eindhoven 16,9 °C (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 15,5 en 19,0 °C). In 2003 was de gemiddelde temperatuur rond Eindhoven 19,3 °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 18,8 °C rond Eindhoven. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.



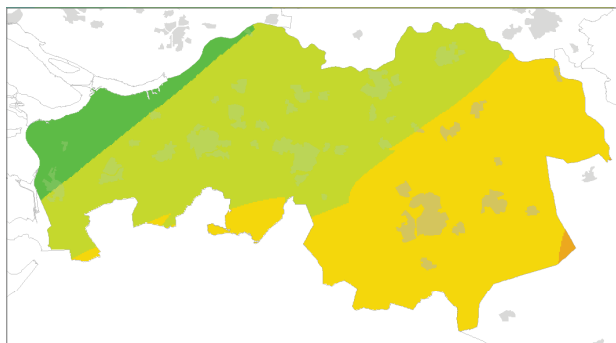
Veel dagen met mooi weer bij de recreatieplassen in de zomer van 2003 en in de maanden juni en juli in 2006 (foto Dick Brouwers)

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

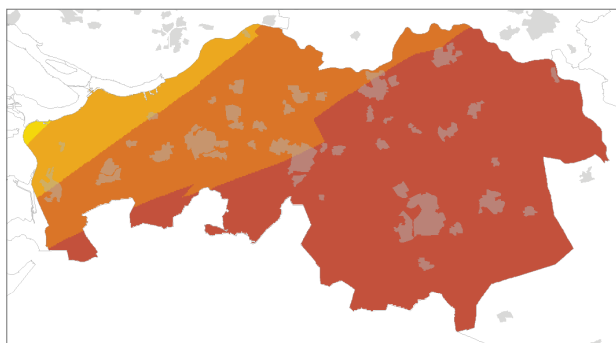
1976 - 2005



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 vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$) 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 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.

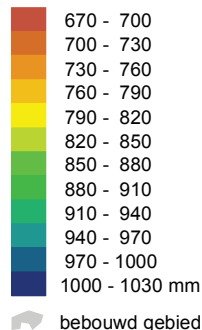
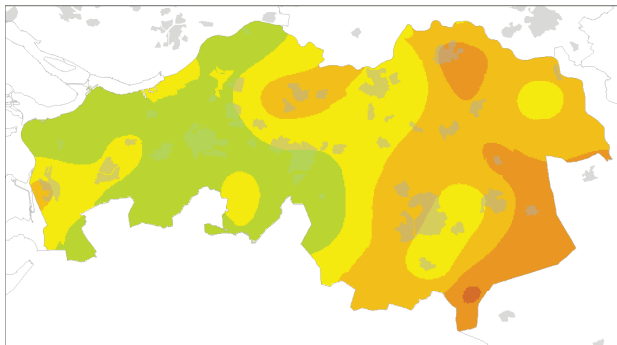
Rond Eindhoven was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 13,6 °C, tegen 10,3 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 8,4 en 11,8 °C), en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 6,3 °C, tegen 3,3 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de -0,2 en 6,0 °C). Dit verschil is meer dan we in het hoogste KNMI'06 scenario (W+) voor 2050 verwachten. Rond 2050 zou de herfst/winter van 2006/2007 nog steeds aan de warme kant zijn.



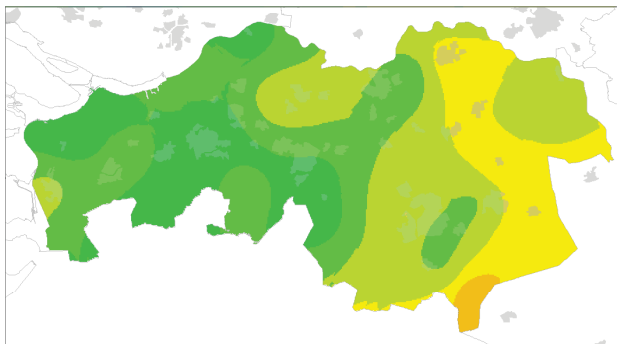
Hoe groen is de herfst? Verschil 1 november 2004/ 1 november 2006 (foto: Jacob Kuiper, WPI, KNMI)

Gemiddelde Neerslag (jaar)

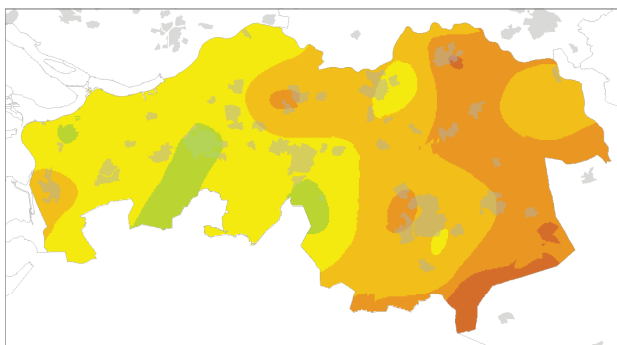
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.6 Kaarten met de gemiddelde neerslag per jaar (in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (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.

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 2x zo groot als in 2050;
- In alle KNMI'06 scenario's neemt de extreme neerslag toe;
- Afname van het aantal dagen met minimaal 1 mm (voldoende neerslag om nat van te worden)
- Toename van het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag (hevige neerslag).

2.3.1 Gemiddelde neerslag

Toekomstige trends

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

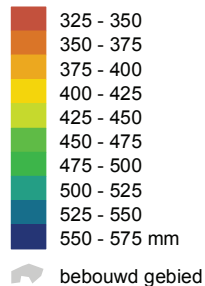
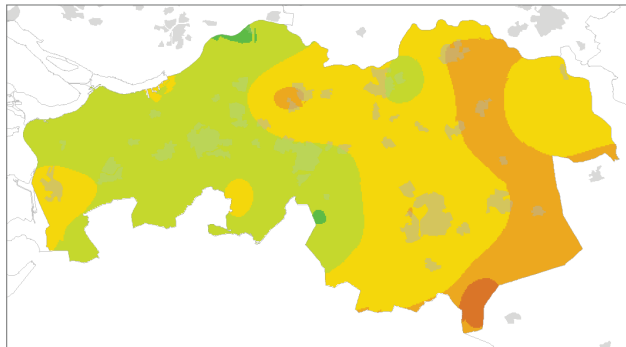
Dit komt tot uiting in de KNMI'06 scenario's. In de G en W scenario's (waarbij ervan uit wordt gegaan dat de stromingspatronen niet veranderen) neemt de neerslag in Nederland zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In de G+ en W+ scenario's (met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

Ruimtelijke patronen

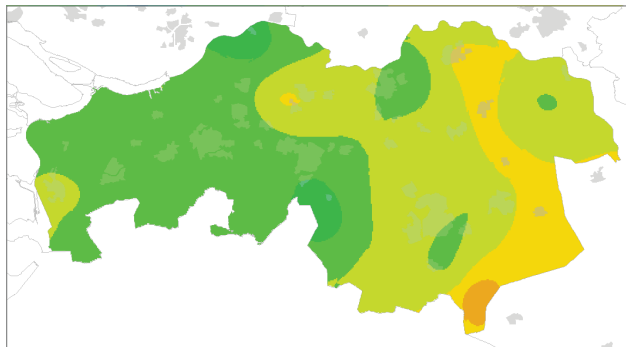
In Figuur 2.6 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen de provincie Noord-Brabant. Noord-Brabant ligt op de overgang van een in het algemeen wat natter klimaat aan de kust naar een droger klimaat in het binnenland. Vergelijkbare patronen zijn terug 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 enigszins binnen Noord-Brabant. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag, maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag lijken wel iets meer dagen met ≥ 1 mm (figuur 2.9) te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

Gemiddelde Neerslag per winterhalfjaar

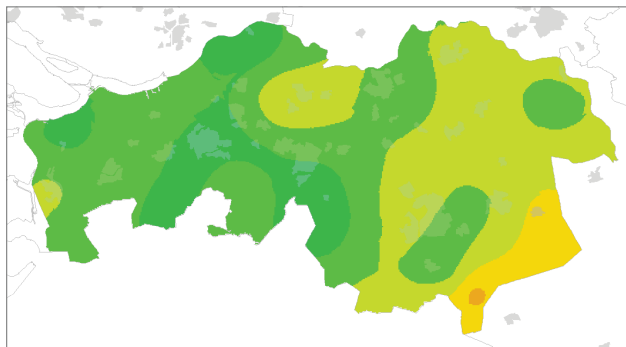
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

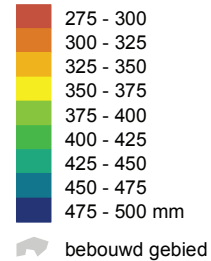
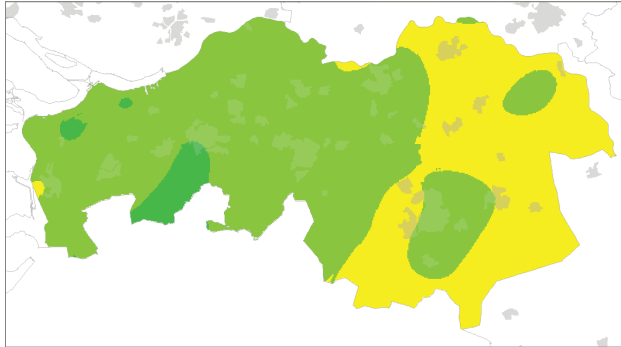


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

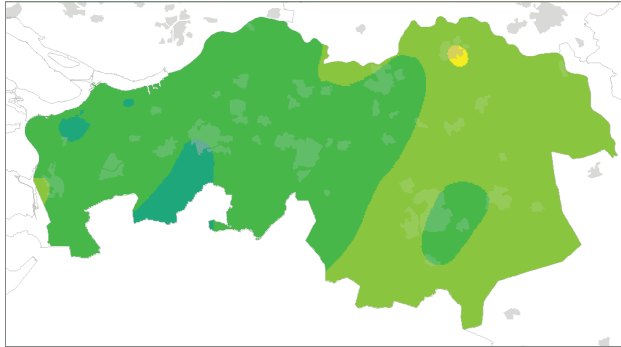
Figuur 2.7. Kaarten met de gemiddelde winterneerslag per jaar (oktober-maart; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (midden) en het W+-scenario (onder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten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

Gemiddelde Neerslag per zomerhalfjaar

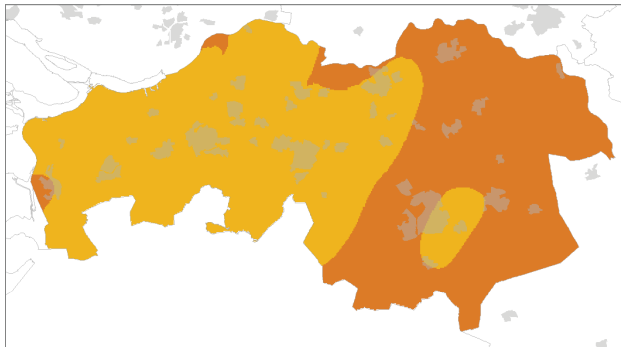
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

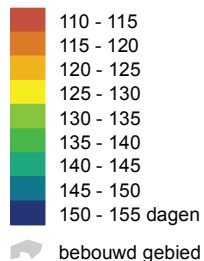
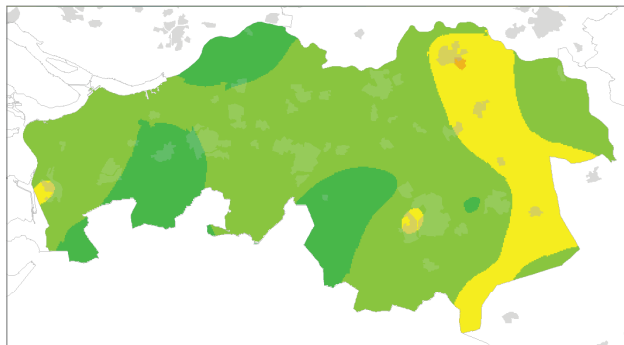


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

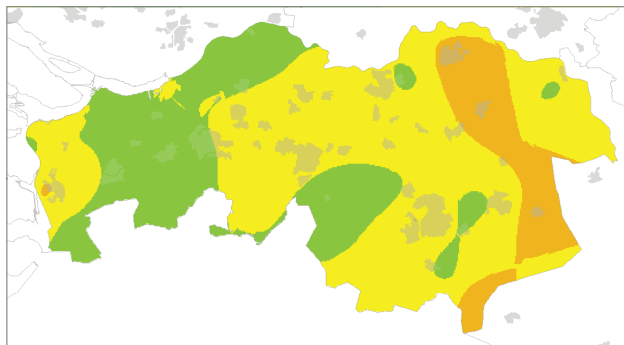
Figuur 2.8. Kaarten met de gemiddelde zomerneerslag per jaar (april-september; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (midden) en het W+-scenario (onder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten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

Aantal dagen met ≥ 1 mm neerslag (jaar)

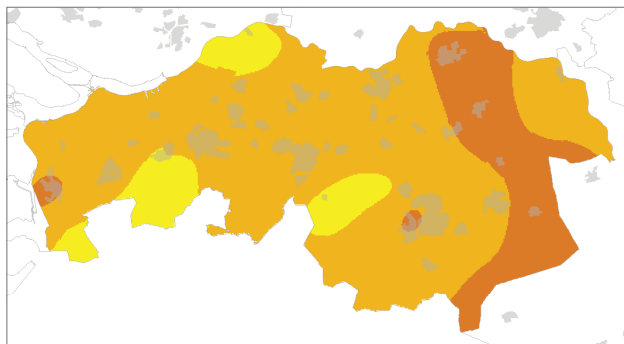
1976 - 2005



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 (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.

2.3.2 Extreme neerslag

Toekomstige trends

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

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

Ruimtelijke patronen

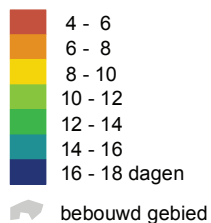
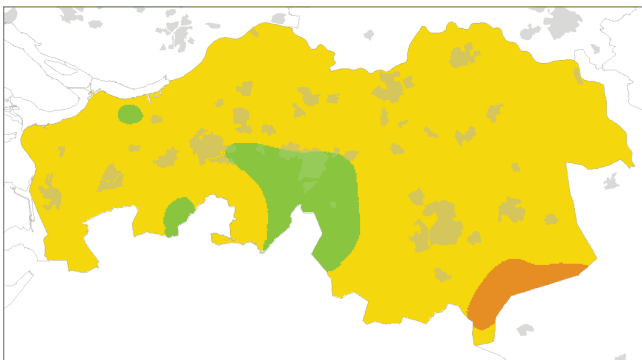
Het aantal dagen met ≥ 15 mm verschilt ook enigszins binnen Noord-Brabant. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag, maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag lijken wel iets meer dagen met ≥ 15 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

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.

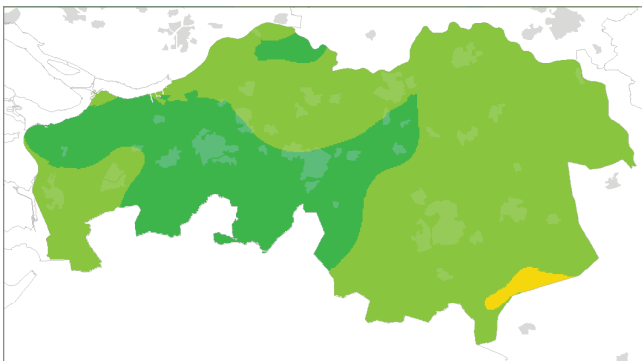
Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. Op basis van een eerste schatting kan geconcludeerd worden dat de verschillen extreme 9-daagse sommen tussen de KNMI-neerslagstations in Noord-Brabant (range 93-106 mm) relatief klein 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.

Aantal dagen met ≥ 15 mm neerslag (jaar)

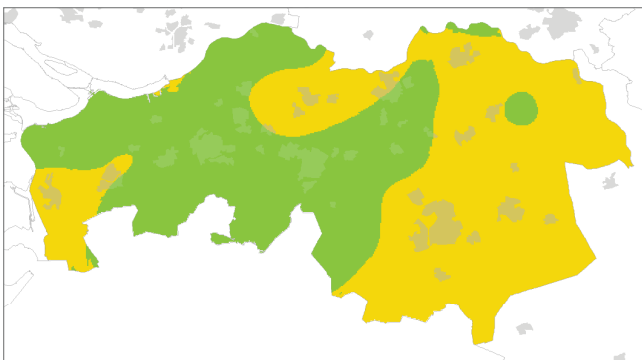
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

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

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

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

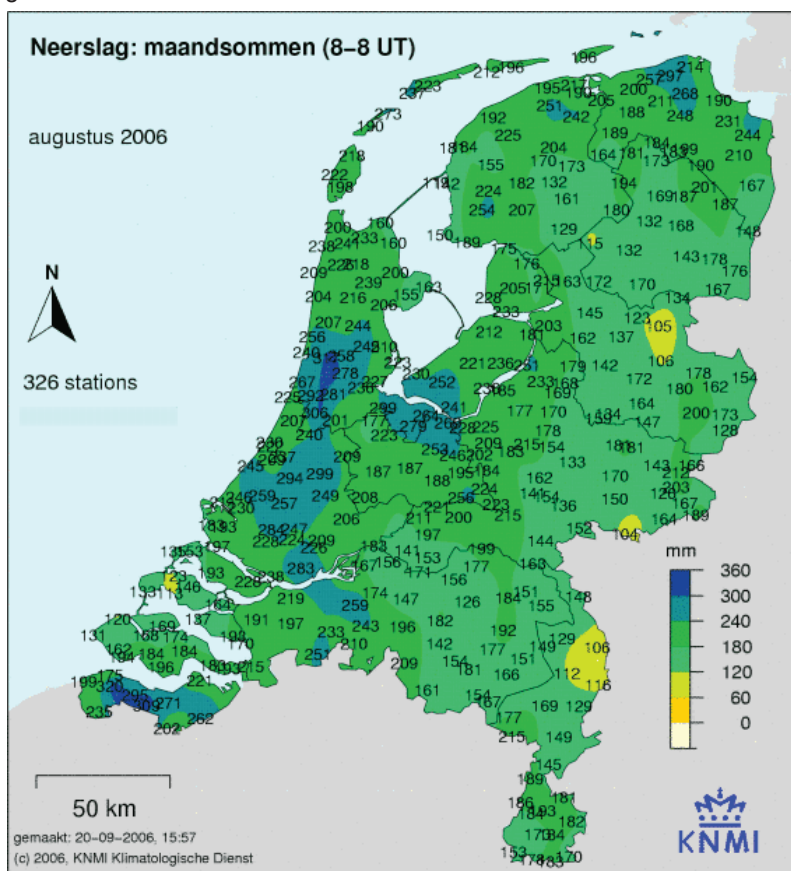
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

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 Noord-Brabant in de periode 1971-2000 ligt rond de 60 mm. In augustus 2006 was de maandsom op een aantal stations in het westen van Noord-Brabant hoger dan 200 mm (figuur 2.11). 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. M.a.w. de hevigheid van de neerslag, zoals we die in augustus 2006 hebben gezien, zal in de toekomst minder uitzonderlijk worden, maar ook niet meteen heel gewoon!



Figuur 2.11 Maandneerslagsommen in augustus 2006



*Water op straat: overlast?
(Foto Provincie Noord-Brabant)*

Neerslag augustus 2006 in westelijk Brabant.

Augustus 2006 was met name in de kustgebieden (een strook van ca. 50 km breed langs de Noordzee- en IJsselmeerkust) erg nat. Daar viel gemiddeld ongeveer 210 mm, tegen 55 tot 65 mm normaal. Op enkele stations werd zelfs meer dan 300 mm afgetapt. Ook in het westelijke deel van Noord-Brabant viel op sommige plekken in die maand meer dan 200 mm.

Uit een analyse van deze situatie is gebleken dat (gemiddeld) 160 mm van de gemiddelde neerslag van 210 mm in de kuststrook verklaard kan worden door de specifieke luchtstroming in die maand. De overige 50 mm lijken veroorzaakt te zijn door de hoge temperaturen in de Noordzee als gevolg van de voorafgaande warme maand juli. Door de hoge zeewatertemperaturen verdampte er extra veel water en kwam er meer vocht in de lucht.

Maar is augustus 2006 nu een voorproefje van wat we in de toekomst kunnen verwachten? De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de 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. De 24-uurs neerslagsom die eens in de tien jaar wordt overschreden (54 mm) neemt rond 2050 toe met 5 tot 27%. M.a.w. 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!).

2.4 Neerslagtekort

- Toename van de potentiële verdamping in alle klimaatscenario's;
- Veranderingen in potentiële verdamping in 2100 2x zo groot als in 2050;
- Het neerslagtekort (neerslag - potentiële verdamping) neemt nauwelijks tot sterk toe;
- Aan de kust is de gemiddelde potentiële verdamping hoger dan meer landinwaarts.

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

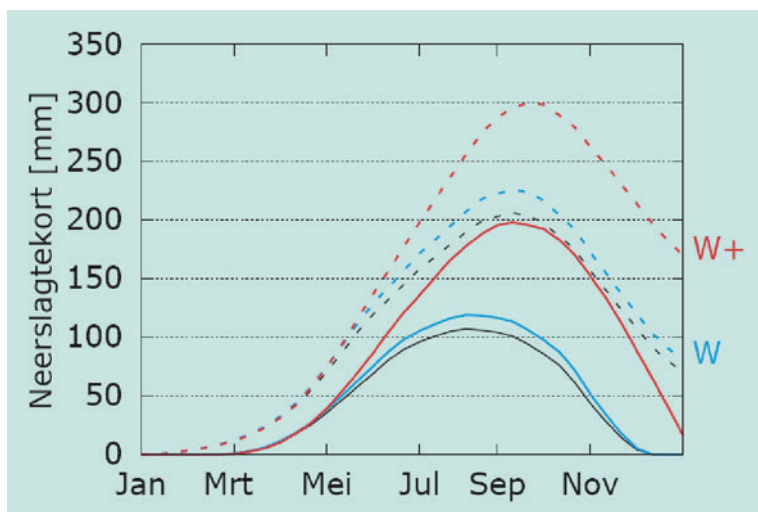
Toekomstige trends

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

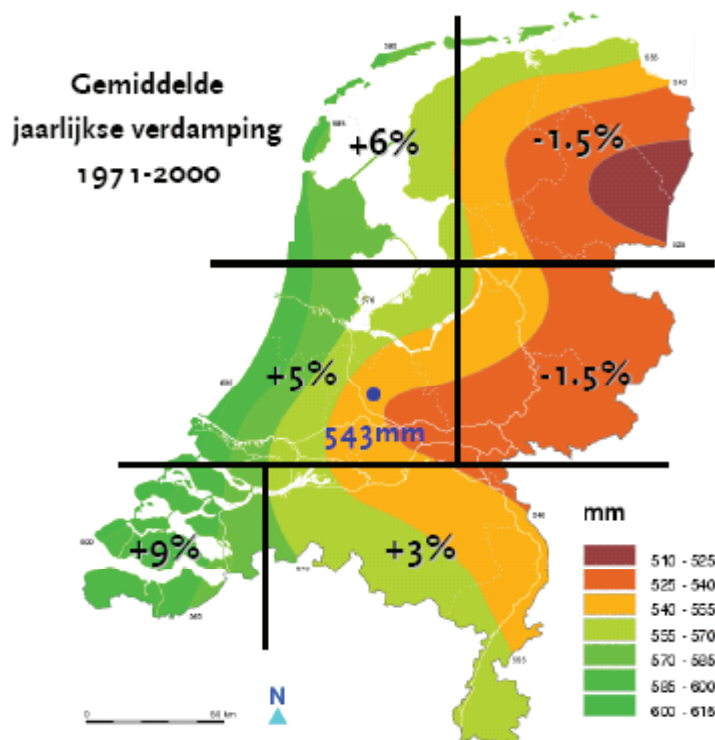
Figuur 2.11 laat zien dat het jaarlijkse verloop van het gemiddelde neerslagtekort in Nederland (de doorgetrokken lijnen) in het W-scenario rond 2050 slechts marginaal toeneemt ten opzichte van het klimaat in de periode 1906-2000. Het zelfde geldt voor het G-scenario. Met andere woorden: in deze scenario's wordt het, gemiddeld gezien, nauwelijks droger rond 2050. Min of meer hetzelfde geldt voor de extremere jaren (in Figuur 10 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 duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de maanden mei t/m juli is het neerslagtekort aan de westkant van Noord-Brabant wat groter dan aan de oostkant, maar in de andere maanden van het zomerhalfjaar (april-september) is er minder ruimtelijk verschil binnen de provincie. Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald.



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



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

Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

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

In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

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

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

Tabel 2.2 Gemiddeld maximale neerslagtekort in de huidige situatie en in de vier KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingsstijd 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
Herhalingsstijd 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 t.o.v. het klimaat rond 1990). Voor de zomer (juni-augustus) is de verandering in het aantal regendagen in de G en W scenario's ook beperkt (-3% tot -2% tot 2050 t.o.v. 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 zonneshijnduur. Op maandbasis is het gemiddeld aantal zonneshijnduren 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 2x 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 4e Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze tredt meestal in de winter op). Deze is echter niet meer dan 2% per graad temperatuurstijging. Dit is klein ten opzichte van de jaar-op-jaar variaties en de natuurlijke schommelingen op langere termijn. In de G en W scenario's verandert de hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar nauwelijks ($\leq 1\%$ tot 2050).

Stormvloed en aan de Nederlandse kust treden op bij stormen uit westelijke tot noordelijke richtingen. De wind zorgt dan voor extra wateropzet, dat wil zeggen de wind stuwt het water extra op tegen de kust. De modelberekeningen die voor de vier KNMI'06 scenario's zijn gebruikt geven aan dat de verandering van het aantal stormen uit deze richtingen gering is. Op basis hiervan wordt niet verwacht dat als gevolg van de mogelijke veranderingen in wind de stormvloed en uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloed wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging (zie 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 2x zo groot als in 2050 in de KNMI'06 scenario's;
- Door de trage reactie van oceanen en ijskappen zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten;
- De absolute zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is overal gelijk;
- Als gevolg van bodemdaling kan de relatieve zeespiegelstijging van plaats tot plaats verschillen.

Toekomstige trends

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

Oceanen en ijskappen reageren erg traag op veranderingen in de atmosfeer. Daarom zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten, zelfs als de temperatuur na 2100 niet meer zou stijgen. Alleen al door de uitzetting van het zeewater zal het zeeniveau in 2300 ongeveer 30 tot 80 centimeter hoger zijn dan in de 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;
- In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Thema	Trend	Gevolg	Paragraaf
Watersysteem			
- Overstromingsrisico's Maas	- 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
- Verandering regionaal watersysteem	- Veranderende neerslagpatronen - Toename verdamping	- Veranderende grondwaterstanden - Onder druk staan van regionale watervoorziening	3.1.3
- Waterkwaliteit	- Temperatuurstijging - Droogte in de zomer - Toename hevige buien	- Gunstigere omstandigheden voor blauwalg - Vaker riooloverstort - Drinkwatervoorziening onder druk	3.1.4
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
- Wateroverlast	- Toename neerslag in winter - Intensere buien zomer	- Meer wateroverlast - Overlast op recreatieterreinen	3.3.1
- Verdroging	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Verzilting	3.3.2
Landbouw			3.4
- Vernatting	- Toename neerslag in winter - Intensere buien	- Incidentele schade	3.4.1
- Droogteschade	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Nog onbekend	3.4.2
- Verziltingschade	- Verdroging - Zeespiegelstijging - maaiveldval	- Geringe schade West-Brabant	3.4.3
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Kansen en bedreigingen - Mogelijke nieuwe ziektes en plagen	3.4.4
Natuur			3.5
- Versterkte verdroging	- Neerslagtekort	- verzilting	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
Gezondheid			
- Sterfte	- Temperatuurstijging	- Tijdelijke toename sterfte kwetsbare groepen	3.2.3
- Ziekten door soorten	- Toename van teken, processierups, mogelijk nieuwe soorten	- Blootstelling bij buitenrecreatie - Toename ziekte van Lyme	3.7

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, rivier- en bekenstelsels, en van de manier waarop een gebied is ingericht. In dit hoofdstuk worden klimaatveranderingseffecten zoals wateroverschot, watertekort, veranderingen in rivierafvoer en de gevolgen van temperatuurstijgingen voor verschillende gebiedstypes en functies beschreven.

De beschrijvingen die in dit hoofdstuk zijn opgenomen zijn niet uitputtend. Er is vaak meer te zeggen over de gevolgen van klimaatverandering.

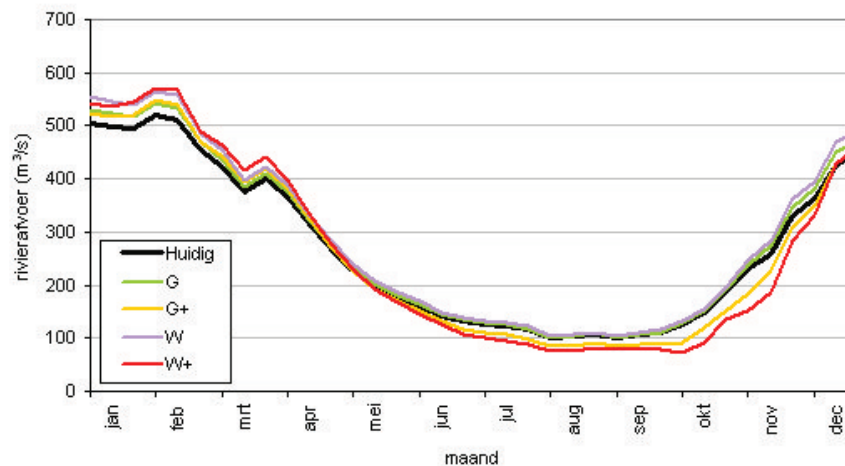
De beschrijvingen in dit hoofdstuk over verschillende gebiedstypes en functies beperken zich tot de gevolgen van klimaatverandering. Sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen in het gebied en voor functies zullen in veel gevallen ook bepalend zijn voor de veranderingen tot 2050. In sommige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

3.1 Watersysteem

3.1.1 Veiligheid/overstromingsrisico's: afvoeren op de rivieren

Gaan de overstromingsrisico's veranderen onder invloed van klimaatverandering? Om over die vraag iets te kunnen zeggen zijn een aantal begrippen van belang: rivieraanvoer, maatgevende piekafvoeren, normen, 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 Maas is de rivieraanvoer bij Borgharen een belangrijk gegeven. In figuur 3.1 staan de huidige gemiddelde rivieraanvoer bij Borgharen en die bij verschillende KNMI'06 scenario's in 2050. Zoals de grafiek laat zien zal de fluctuatie in rivieraanvoeren in alle scenario's toenemen.



Figuur 3.1 Gemiddelde Maasafvoer bij Borgharen, KNMI'06 scenario's (m³/s) Bron: 'investeringsruimte voor toekomstige droogte' (2007 Royal Haskoning in opdracht van RIZA)

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van de rivier wordt echter niet uitgegaan van de gemiddelde rivieraanvoeren, maar van de 'maatgevende piekafvoer'. Deze is voor de Maas 4000 m³/s. In 1995 leidde het hoge water in de Maas tot een situatie waarin werd gevreesd dat de dijken het niet zouden houden. Uit voorzorg zijn toen verschillende gebieden geëvacueerd. Het probleem toendertijd was het niet op orde zijn van enkele dijkvakken. Deze zijn inmiddels op orde gebracht.

Net als dat de gemiddelde rivierafvoer onder invloed van klimaatverandering zal veranderen, is het ook mogelijk dat de piekafvoeren onder invloed van klimaatverandering zullen veranderen. Klimaatverandering is echter maar één van de invloedsfactoren op die piekafvoer. Voor een belangrijk deel zal de piekafvoer afhangen van de maatregelen die in het gehele stroomgebied van de Maas worden genomen.

Voor het ontwerp van de dijken, die het land moeten beschermen tegen het water uit de rivier, worden behalve deze maatgevende piekafvoeren nog een aantal factoren mee genomen. In Noord-Brabant worden primaire waterkeringen langs de Maas zo getoetst en aangelegd dat deze een waterstand kunnen keren die overschrijdingskans van 1/1250 jaar heeft (Benedenstreams vanaf Heusden is dit 1/2000 jaar). Bij het dijkontwerp wordt dan niet alleen rekening gehouden met de maatgevende piekafvoer maar onder andere ook met de opstuwende kracht van het water onder invloed van wind. Ook dat kan mogelijk veranderen onder invloed van klimaatverandering. Maar hoe en in welke mate, daarover zijn op dit moment nog geen relevante onderzoeken voor beschikbaar.

Het overstromingsrisico is de kans op een overstroming 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/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.

In Noord-Brabant zal ook rekening moeten worden gehouden met de zeespiegelstijging. Van belang daarbij is de werking van de afsluitbare Stormvloedkeringen, zoals de Oosterscheldekering en de Maeslantkering.

Samenvattend: De beschermingsnorm in de vorm van een overschrijdingsfrequentie ligt in de wet vast. Door klimaatveranderingen zullen de maatgevende afvoeren waarschijnlijk toenemen. Als de rivierafvoeren door klimaatveranderingen toenemen, wordt het rivier-/dijksysteem daarop aangepast. Met andere woorden er dienen maatregelen genomen te worden om de beschermingsnorm op hetzelfde niveau te handhaven. Daarnaast loopt landelijk momenteel de discussie of van een kansgerichte benadering (beschermingsnorm gebaseerd op overschrijdingsfrequentie) overgestapt zal worden op een risicobenadering. Dit is echter nog geen beleid.

Het waterveiligheidsbeleid is primair een taak van de Rijksoverheid. Het Rijk heeft aanpassing aan klimaatverandering momenteel hoog op de agenda staan. In het nieuwe Waterakkoord spreekt het Rijk derhalve met de Unie van Waterschappen af dat in de toekomst rekening zal worden gehouden met de meest recente scenario's. Men houdt ook sterk in overweging om de gebieden die nodig zullen zijn voor waterberging in de toekomst vanuit het Rijk aan te wijzen.

3.1.2 Prioritering bij lage rivierafvoer

Wellicht is de verdeling van rivierwater in droge periodes niet meer passend in de toekomstige situatie.

De hoeveelheid zoet water neemt in het zomerhalfjaar in de +-scenario's sterk af terwijl de vraag om 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 (1/9^{de} deel), de Nederrijn (2/9^{de} deel) en de Waal (2/3^{de} deel). Actief ingrijpen op de waterverdeling over deze takken van de Rijn zal vaker voorkomen (referentie zomer 2003). De huidige landelijke verdringingsreeks heeft de volgende prioritering:

1. Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade
2. Nuts-voorzieningen
3. Kleinschalig hoogwaardig gebruik (proceswater industrie, tijdelijke beregening kapitaalintensieve gewassen, doorspoelen stadswateren)
4. Overig (aquatische ecologie en waterkwaliteit, scheepvaart, landbouw, etc).

Voor wat betreft de verdeling van het Maaswater, wordt dit via de Limburgse en Brabantse kanalen verdeeld over de provincie. Wellicht zal deze verdeling van Maaswater in de toekomst meer aandacht gaan vragen.

Adaptatieopgave

Incidentele tekorten kunnen een structureel karakter krijgen. Wellicht is de verdeling van rivierwater in droge periodes niet meer passend in de toekomstige situatie. De verdringingsreeks zal vaker toegepast 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 moeten komen te staan. Nu al wordt irreversibele schade aan natuur, als die te droog komt te staan, een stap hoger geplaatst op de ladder van de verdringingsreeks.

3.1.3 Veranderingen regionale watersystemen**Grondwaterstanden en afvoeren**

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

Het patroon van hydrologische veranderingen in ruimte en tijd is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de regionale systemen en kan zonder gebruik van regionale hydrologische modellen moeilijk worden gekwantificeerd. De hierna volgende analyse is gebaseerd op een kwalitatieve analyse van de resultaten van een beperkt aantal regionale studies (o.a. Van Walsum, pers. meded.)

Vrij-afwaterende gebieden

De hydrologische veranderingen in de vrij-afwaterende gebieden van Noord-Brabant zijn sterk afhankelijk van het 'geheugen' van het hydrologische systeem.

'Geheugen' wil zeggen dat een droog zomerhalfjaar doorwerkt in het winterhalfjaar. Het hydrologische systeem is na de zomerdroogte dermate uitgedroogd, dat het in het najaar als een spons water opneemt, alvorens de winterneerslag tot afstroming komt.

Gebieden met intensieve ontwatering die niet worden gevoed vanuit hoger gelegen gebieden volgen de seizoensveranderingen: meer neerslag in de winterperiode betekent hogere grondwaterstanden en meer afvoer in de winter; een hoger neerstagtekort in het zomerhalfjaar betekent lagere grondwaterstanden en minder afvoer in de zomer. Vooral bij het W+-scenario neemt de dynamiek van het hydrologisch systeem in dit type gebieden aanzienlijk toe. Bij het G-scenario resulteert de hogere neerslag in hogere grondwaterstanden en hogere afvoeren.

In gebieden zonder zichtbare ontwatering zal bij vooral het W+-scenario's de grondwateraanvulling afnemen waardoor de grondwaterstanden aanzienlijk kunnen dalen. Daardoor zal de grondwaterstroming naar kwelgebieden afnemen. Bij het G+-scenario zal de toename van de verdamping worden gecompenseerd door de hogere neerslag; bij de W- en G -scenario's overheerst de toename van de neerslag de toename van de verdamping waardoor de grondwaterstanden zullen stijgen en de afvoeren zullen toenemen.

In gebieden met intensieve ontwatering die gevoed worden vanuit hoger gelegen gebieden (zoals de beekdalen in de Slenk en de overgangsbieden tussen zand en klei) neemt bij vooral de +-scenario's de kwelintensiteit af waardoor de grondwaterstanden in de zomer verder uitzakken en de kans op droogval van beken toeneemt. In de winter zullen de grondwaterstanden wat lager blijven waardoor de afvoeren ook enigszins lager worden omdat de bodem droger de winter ingaat en de afname van de kwel groter is dan de toename van de neerslag.

Door het frequenter optreden van zware buien komt er vaker water op het land en op straat te staan waardoor de peikafvoeren toenemen.

Peilbeheerste gebieden

In de peilbeheerste klei- en zavelgebieden in het noordwesten van Noord-Brabant wordt de verandering van de dynamiek van de grondwaterstanden beperkt: door de intensieve ontwatering (via drainbuizen) heeft een toename van de neerslag een gering effect op de hoogste grondwaterstanden. Wel kunnen door de goede capillaire eigenschappen de grondwaterstanden in vooral het W+-scenario enkele decimeters worden verlaagd maar dat heeft een gering effect op de regionale grondwaterstroming.



*De Dommel, meanderende beek op de grens van Brabant en België
(foto M. ten Harkel, Provincie Noord-Brabant)*

Door het frequenter optreden van zware buien komt er vaker water op het land en op straat te staan waardoor de peikafvoeren toenemen.

Overgangsgebied vrij afwaterend peilbeheerst

Bij de +-scenario's neemt de voeding van regionale systemen af waardoor de intensiteit van de diepe kwel zal afnemen.

Regionale watervoorziening

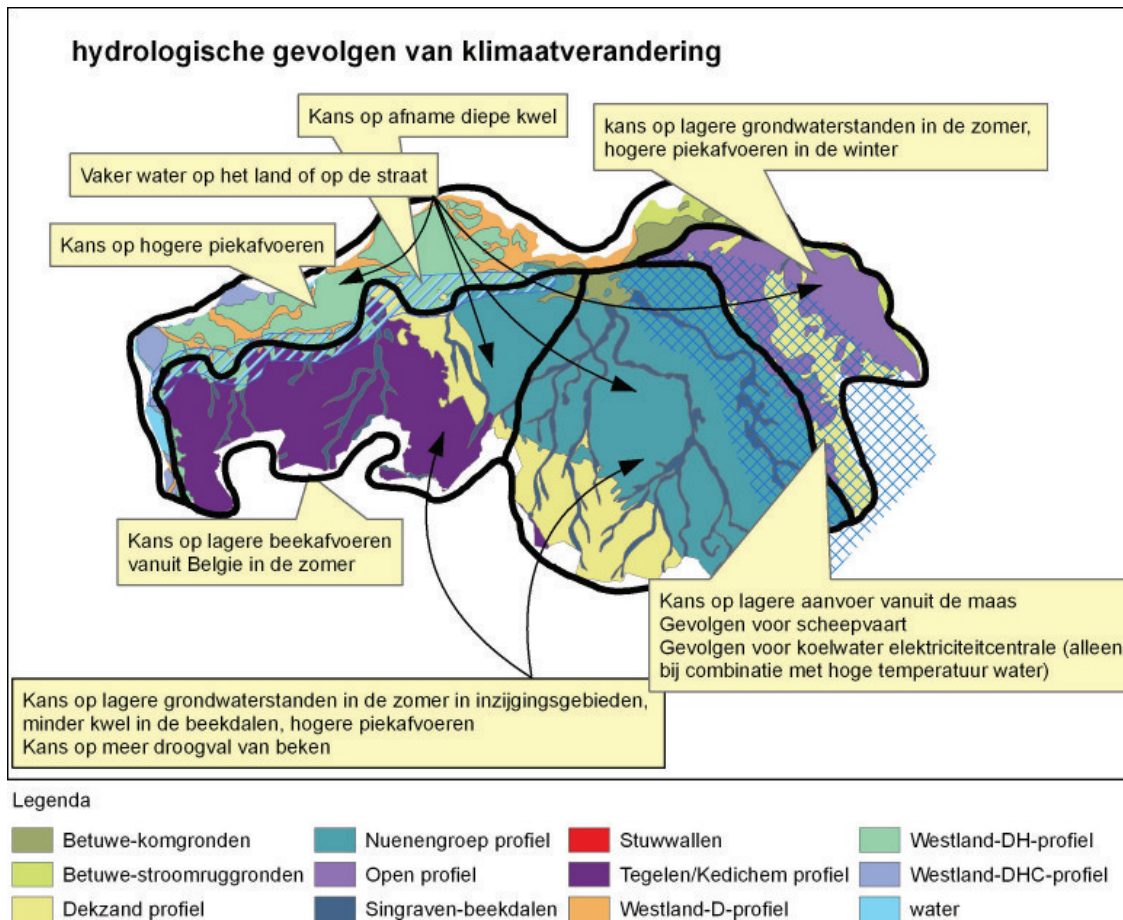
Een deel van de provincie Noord-Brabant wordt voorzien van water vanuit de Maas. De watervoorziening via de Zuidwillemsvaart, Noordervaart en Wilhelminakanaal is afhankelijk van de waterafvoer van de Maas bij Lozen. De aanvoer in de zomer bij de 4 klimaatscenario's verandert bij het G- en W-scenario niet noemenswaardig ten opzichte van de huidige situatie (Rijkswaterstaat/RIZA, 2007). Bij het G+- en W+-scenario is er een geringe afname en komt de stijging van de afvoer in het najaar later op gang. Voor de watervoorziening kan het dus een verslechterde wateraanvoersituatie betekenen. Anderzijds zal de behoefte aan water in de zomerperiode voor peilhandhaving en beregening bij vooral de +-scenario's toenemen. Dit betekent dat de regionale watervoorziening in delen van Noord-Brabant nog meer onder druk kan komen te staan.

De regionale watervoorziening in West-Brabant hangt voor een beperkt deel af van de afvoeren van de rivieren zoals de Mark en de Vliet. In vooral de +-scenario's zullen deze afvoeren in de zomerperiode afnemen terwijl de behoefte aan oppervlaktewater voor beregening zal toenemen. De aanvoerezekerheid vanuit het Zoommeer zal in kwantitatieve zin door de klimaatverandering niet wijzigen. Van meer belang is of de bestaande waterkwaliteitsproblemen (blauwalgen en bruintrot) door de temperatuurstijging zullen verergeren.

In figuur 3.2 zijn de hydrologische effecten van klimaatveranderingen schetsmatig weergegeven. De uitdrukking **kans** heeft betrekking op de +-scenario's.

Adaptatieopgave

Op termijn lijkt het noodzakelijk om het regionale watersysteem aan te passen aan veranderde neerslag en verdamping. Daarbij zal vooral nagedacht moeten worden over de intensiteit en wijze van ontwatering. Daarnaast zal mogelijk ook het beleid ten aanzien van beregening van de landbouw moeten worden aangepast.



Figuur 3.2 Hydrologische gevolgen van klimaatverandering

3.1.4 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 periodes 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.

Blauwalgen leiden nu tot een ernstige beperking van de waterinlaat uit het Volkerak-Zoommeer ten behoeve van het waterbeheer in West-Brabant. Blauwalgen op de boezem van West-Brabant leidt tot beperkingen in de waterinlaat ten behoeve van het peilbeheer van naastgelegen polders. De bestrijding van blauwalgen op de boezem van West-Brabant leidt tot een extra watervraag om de boezem door te kunnen spoelen.

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 neerslag niet aan kan. Via het riooloverstort wordt dit overtollige water dan geloosd op sloten of vijvers. Bij gemengde rioolstelsels (die in verharde gebieden, gebouwd voor 1970, worden gebruikt) is dit water vermengd met afvalwater. Hierdoor zal bijvoorbeeld de e.coli bacterie meer voorkomen. De waterkwaliteit zal dus afnemen.

Drinkwatervoorziening

Er bestaat een verband tussen temperatuur en 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).

3.2 Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

- 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 het 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.

3.2.1 Wateroverlast in stedelijk gebied

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

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 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 + 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 in de stad.

3.2.2 Watertekort in de stad

In toenemende mate zal (giftige) blauwalg in stedelijk water voorkomen. Dit vraagt om bestrijding, indien mogelijk in de vorm van doorspoeling. Dat leidt echter tot een extra watervraag en eventueel andere maatregelen. Zie paragraaf 3.1.4

Naast blauwalg bestaat bij temperatuurstijging ook een hogere kans op andere problemen in het stedelijk water, bijvoorbeeld botulisme. In een stedelijke omgeving ligt dit erg gevoelig, en dus zullen overheden genoodzaakt zijn maatregelen te nemen.

Paalrot in historische binnensteden op klei

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

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

Impact voor provincies: Vooral de oude binnensteden op een kleibodem zijn op palen gebouwd. Voor Noord-Brabant geldt dit voor gemeenten in het noorden van de provincie, zoals Den Bosch. In samenwerking tussen gemeente, waterschap en provincie zullen hier passende oplossingen voor gevonden moeten worden.

Fluctuatie grondwaterstand

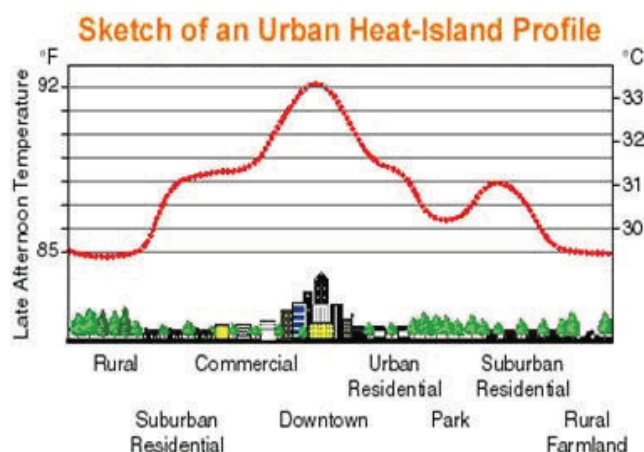
Door een toename van de neerslag in de winter en een afname van de neerslag in de zomer in de +-scenario's bestaat de mogelijkheid dat een grotere variatie ontstaat tussen grondwaterstanden in de verschillende jaargetijden.

Adaptatieopgave

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

3.2.3 Hittestress in de stad

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



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

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



*Het waterpeil zakt
(foto provincie Noord-Brabant)*

daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte-eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen 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 Eindhoven bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstilte, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5 °C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Eindhoven ca. 1,1 °C warmer dan het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag. In Londen is zelfs een verschil ten opzichte van het platteland gemeten van 9 tot 10 °C.

Ouderen, personen met luchtwegaandoeningen en personen met hart- en vaatziekten zijn gevoelig voor extreme warmte. Tijdens hittegolven overlijden vaak meer mensen dan bij normale temperaturen. Tijdens de hittegolf in augustus 2003, die twee weken duurde, zijn volgens het CBS 400 á 500 mensen overleden. Deze cijfers moeten echter wel worden gerelativeerd. Uit onderzoek blijkt namelijk dat een gedeelte van deze extra sterfte moet worden opgevat als een iets vervroegd overlijden. Na een hittegolf wordt vaak ook een relatieve sterftedaling gezien. Over de verhouding tussen deze iets vervroegde sterfte en het substantieel verlies aan levensjaren is weinig bekend¹.

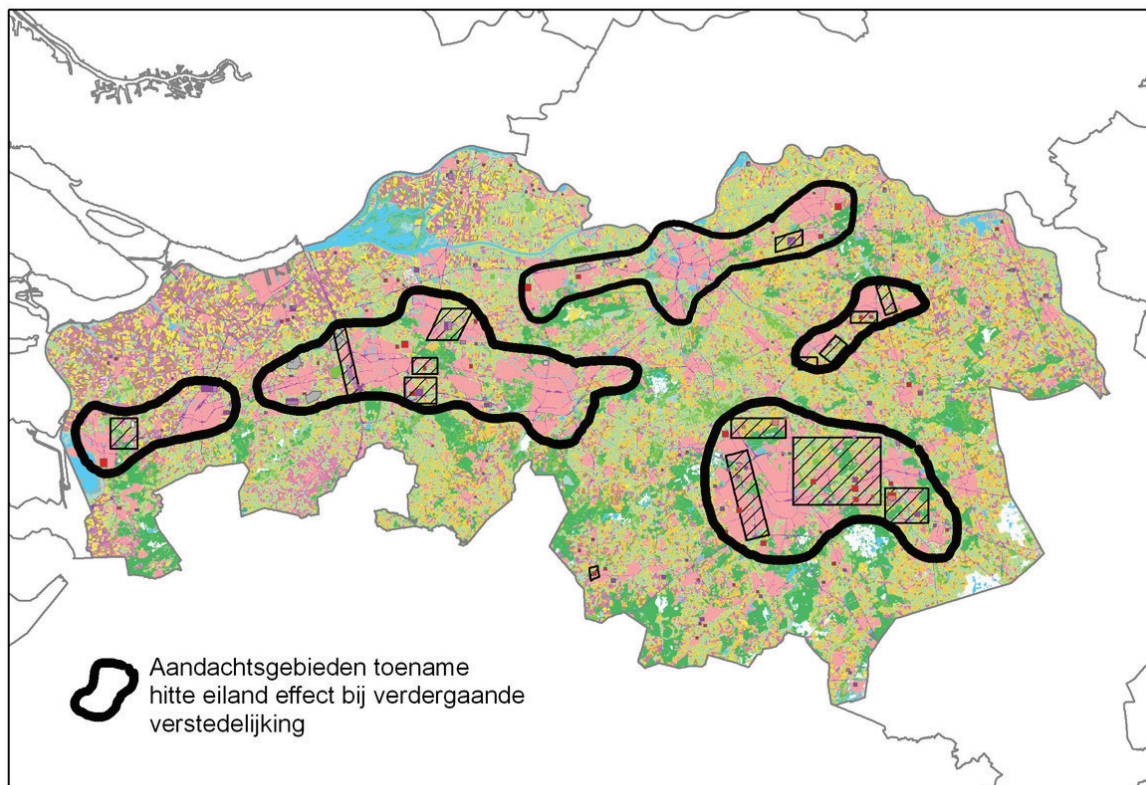
Er zijn enkele vuistregels voor hittestress te noemen, die aangeven waar hittestress meer of minder plaats zal vinden.

- In kleine dorpen zal er gemiddeld gezien nauwelijks een hogere temperatuur zijn t.o.v. het platteland. Echter op individuele dagen kan het verschil wel aanzienlijk zijn (hete dag met weinig wind)

¹ Milieu en Natuurplanbureau, Effecten van klimaatverandering in Nederland, 2005

- Hoe groter een plaats, hoe groter het hitte-eiland effect.
- In het proefschrift van L.A. Conrads, 1975 (Observations of meteorological urban effects. The heat island of Utrecht) staat een figuur over de relatie tussen de grootte van een stad en het maximale temperatuurverschil (op individuele dagen, dus niet gemiddeld over het jaar) met het platteland voor Europese steden (inclusief Amsterdam). Het is een logaritmisch verband. Enkele getallen ter indicatie: bij 100.000 inwoners is het 5,5 C; bij 1.000.000 inwoners 7,5 C (met een range van +/- 1,5 C). In Utrecht is bij een bevolking van 276.000 een maximaal effect van 8.0 C gemeten, en in Amsterdam bij 870.000 inwoners een maximaal verschil van 8,7 C.

Hitte eiland effect



Landgebruik (LGN5)

gras	boomgaard	infrastructuur	Overige moerasvegetatie
mais	bollen	bebouwing in agrarisch gebied	rietvegetatie
aardappelen	loofbos	Kwelders	Bos in moerasgebied
bieten	naaldbos	Open zand in kustgebied	overig open begroeid natuurgebied
granen	zoet water	Open duinvegetatie	kale grond in natuurgebied
overig landbouw	zout water	Gesloten duinvegetatie	
glastuinbouw	bebouwd gebied	Open stuifzand	

Ruimtelijke plannen

Strategische gebiedsontwikkeling	Te reserveren woningbouwlokatie 2015 - 2030
Bedrijventerrein in studie	Te ontwikkelen woongebied
Te reserveren bedrijventerrein	Vestigingsgebied glastuinbouw
Te ontwikkelen bedrijventerrein	Vestigingsgebied glastuinbouw (doorgroei - status)

Figuur 3.4 Hitte eiland effect in Noord-Brabant

- Wanneer er veel hoogbouw bij elkaar staat is het hitte-eiland effect groter (dus ook als dit aan de rand van een stad staat; In binnensteden komt vaak relatief meer hoogbouw voor, dat is dan ook een van de redenen dat het stadseffect over het algemeen het grootst is in de binnenstad)
- Steden met brede straten hebben relatief een minder sterk hitte-eilandeffect (op de Coolingsingel in Rotterdam bijvoorbeeld zal het effect waarschijnlijk iets minder zijn, hoewel dit misschien weer te niet wordt gedaan door het vele verkeer)
- Daar waar veel groen en water is is het hitte-eiland effect gematigder (een voldoende groot stadspark laat daarom een dip in het stadseffect zien).
- Hoe meer wind, hoe gematigder het stadseffect is (Den Haag heeft dus minder last dan Rotterdam, omdat het aan de kust meer waait dan landinwaarts, bovendien is de temperatuur in Den Haag door de nabijheid van de kust gematigder)

Adaptatieopgave

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

3.2.4 *Luchtkwaliteit*

Weersomstandigheden zoals windrichting en zonneshijn 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 zonneshijn). Bij een toename van het aantal tropische dagen (maximum temperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in Nederland zal vooral in het W+ scenario bij gelijkblijvende emissies de kans op zomersmog groter worden. In de winter neemt de kans op wintersmog af in de G+ en W+ scenario's, doordat vaker relatief schone lucht wordt aangevoerd uit westelijke richting. (Bron: KNMI, 2006. Brochure klimaatscenario's)

3.3 **Landelijk gebied**

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

In het landelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

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

3.3.1 *Wateroverlast Landelijk gebied*

Wateroverlast landelijk gebied: winter

Voor de beoordeling of het afwateringssysteem op orde is worden veelal de 9-daagse neerslagsommen met een bepaalde herhalingstijd gebruikt. Voor de onderhavige analyse zullen de veranderingen in de 10-daagse sommen worden gebruikt.

De 10-daagse neerslagsom met een herhalingstijd van 10 jaar zal vooral bij het W-scenario toenemen (met zo'n 14%; zie bijlage 5); alleen bij het W+-scenario is er geen toename maar een kleine afname van 1%. Hierdoor zal de kans op wateroverlast in het landelijke gebied, als gevolg van onvoldoende afwateringscapaciteit, bij 3 van de 4 scenario's toenemen. Deze conclusie geldt vooral voor polderachtige gebieden met een kort hydrologisch geheugen. Voor de vrij-afwaterende gebieden is de verandering in de maatgevende afvoeren ook afhankelijk van de hydrologische veranderingen buiten de maatgevende periode. Berekeningen voor het stroomgebied van de Beerze en Reusel (Van Walsum, pers. meded.) laten zien dat de piekafvoeren met een

herhalingstijd van 5 jaar toenemen van 0,7 l/s/ha in de huidige situatie naar 0,99 en 1,11 l/s/ha voor resp het G en W-scenario en naar 0,78 en 0,83 l/s/ha voor resp. het G+- en W+-scenario. Dit zijn grotere toenames dan op grond van de verandering in de 9-daagse sommen zijn te verwachten.

Veel waterschappen zijn bezig, vóór 2015, hun watersysteem WB21-proof te maken. In veel gevallen wordt hierbij overgedimensioneerd omdat wordt ontworpen voor de situatie die pas in 2050 zal optreden. De KNMI-scenario's geven aan dat er bij het W-scenario 10-20% meer water te verwerken zal zijn ten opzichte van het midden-scenario van WB21. Bij overdimensionering zal deze extra hoeveelheid water voorlopig nog te verwerken zijn maar de kans bestaat dat extra maatregelen nodig zijn.

De grootte van het overlast is mede afhankelijk van de hoeveelheid verhard oppervlak in het gebied. Bij aanwezigheid van veel verhard oppervlak zullen waterbergingsvoorzieningen vaker worden gebruikt. 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 (kassengebieden) 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

De frequentie van buien met hoge neerslaghoeveelheden neemt toe. Hierdoor zal er meer wateroverlast zijn in het groeiseizoen.

Als maat voor wateroverlast als gevolg van hevige neerslag is het aantal dagen in de zomer genomen dat er meer dan 15 mm neerslag valt. Bij dergelijke neerslaghoeveelheden bestaat er een gerede kans dat de infiltratiecapaciteit van de bodem of de ontwateringscapaciteit van de percelen onvoldoende is. In dat geval kunnen er plassen op het land komen te staan of wordt de grondwaterstand te hoog. Het aantal dagen met meer dan 15 mm neerslag in de zomer neemt volgens de kaarten in figuur 2.10 in het W-scenario toe met circa 3 dagen (van circa 9 tot circa 12 dagen) en in het W-scenario met circa 2 dagen. Bij grasland leidt dit tot het vaker verloren gaan van snedes en bij bouwland tot het vaker geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Ook recreatierterreinen (bijvoorbeeld campings of evenemententerreinen) zullen vaker last hebben van wateroverlast.

3.3.2 *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- en G-scenario neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar toe. Dit betekent dat het gemiddeld neerslagtekort in het zomerhalfjaar in de huidige situatie van 144 mm in het G- en W-scenario toeneemt naar 151 respectievelijk 158 mm en in het G+ en W+ scenario naar 179 respectievelijk 220 mm (tabel 2.2). Vooral voor de +-scenario's zijn dit veranderingen die gevolgen zal hebben voor de droogteschade in de landbouw en de verdroging van natuur.

In de G+ en W+ scenario's neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar echter af. In combinatie met de toename van de verdamping laten de W+ en G+ scenario's in de zomer een aanzienlijk neerslagtekort zien. Het optreden van dit groter structureel neerslagtekort in het zomerhalfjaar is het adaptatievraagstuk dat onder ogen dient te worden gezien. Dit leidt tot een groter watertekort, wat in combinatie met de zeespiegelstijging ook tot een toename van de verziltingsproblematiek kan leiden.

3.4 Landbouw

In de landbouw zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

- Door een grotere piekbelasting zal de landbouw meer last hebben van incidentele natschade.
- Verdroging kan een dusdanig effect op de landbouw hebben dat landbouwbedrijven vanwege watertekort op andere gewassen over moeten stappen.
- Kansen voor andere landbouwgewassen.



*Beregening van aardbeien nabij Bladel
(foto M. ten Harkel, provincie Noord-Brabant)*



*Grootmeer - Vessem
(foto Tineke Cramer)*

3.4.1 Structurele en incidentele klimaatverandering

De structurele klimaatverandering heeft op landbouw een relatief gering effect. Over het algemeen zullen de zachtere winters de groeiseizoenen verlengen. Dit kan productieverhoging opleveren. Ook de hogere temperaturen kunnen leiden tot productieverhoging. Daarnaast neemt echter wel de ziektedruk toe door:

- Zachtere winters, waardoor de ziekten makkelijker kunnen overleven,
- Oprukken van nieuwe soorten uit het zuiden van zowel ziekten en plagen als ook onkruiden,
- Versnelling van de reproductie door verkorting van de regeneratiecyclus bij temperatuursverhoging,
- Doorbreken van resistenties van gewassen door de hogere temperaturen.

De incidentele gevolgen van klimaatverandering hebben echter een veel belangrijker effect op de landbouw. Met name de toenemende kans op zware buien, hittegolven of langdurig natte of droge perioden hebben een impact. 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%.

3.4.2 Wateroverlast in de winter

Natschade in de grondgebonden landbouw

Natschade in de grondgebonden landbouw is via de zogenoemde HELP-tabel (Werkgroep HELP-tabel, 1987) gekoppeld aan de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden (GHG). Door veranderingen in de neerslaghoeveelheden zal de GHG veranderen en daarmee de kans op natschade. 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 hoogste grondwaterstanden zullen daarom in het G-scenario beperkt zijn, maar in het W+-scenario aanzienlijk zijn. Voor alle scenario's geldt echter dat door aanpassing in de drainageafstand (bij vervanging van drains) de effecten op gedraineerde gronden goed kunnen worden opgevangen.

De HELP-tabellen zijn afgeleid voor het klimaat rond 1985 en dus niet meer geldig voor het klimaat in 2050. Als indicatie dat de natschades veranderen zijn de veranderingen in GHG echter wel bruikbaar omdat de relatie tussen hoge grondwaterstanden en bewerkbaarheid of betreedbaarheid veel meer afhangt van technische ontwikkelingen dan van de weersgesteldheid.

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. Een deel van de akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen wordt in het winterhalfjaar geoogst. De kans dat er door te natte omstandigheden niet kan worden geoogst neemt vooral bij het W+-scenario toe.

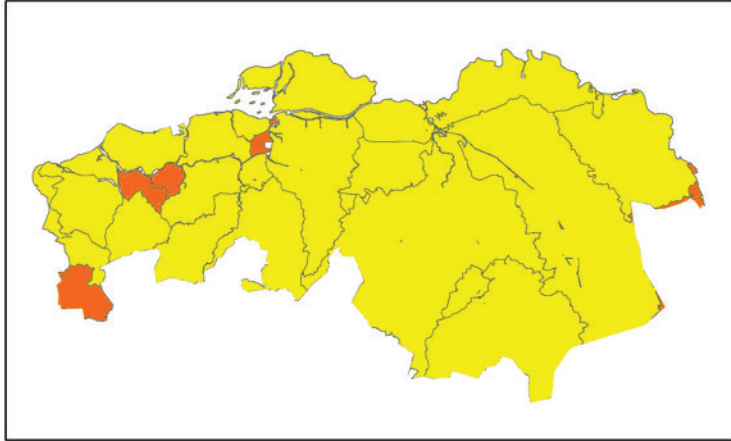
3.4.3 Droogteschade grondgebonden landbouw

Vooraf in de de G+ en W+ scenario's neemt het neerslagtekort in het zomerhalfjaar aanzienlijk toe. Dit heeft gevolgen voor de landbouw.

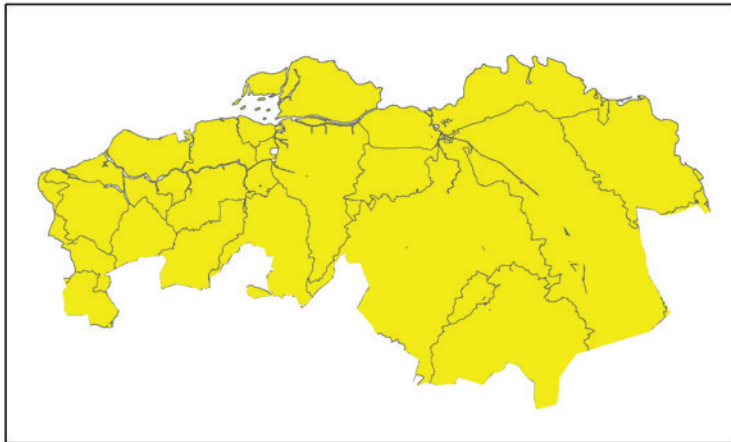
In de Droogtestudie (RIZA, 2006) is de droogteschade berekend die in 2050 kan optreden bij de 4 klimaatscenario's. Daarbij is rekening gehouden met de verschuivingen in landbouwarealen als gevolg van maatschappelijke ontwikkelingen. Er is geen rekening gehouden met de effecten van een hoger CO₂-gehalte op de watergebruiksefficiëntie waardoor minder water nodig is om dezelfde gewasopbrengsten te behalen. In figuren 3.5 en 3.6 is per district de de jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW) van de geldelijke landbouwkundige droogteschades van de vier klimaatscenario's per district weergegeven. Vergelijking met de huidige situatie is helaas niet mogelijk omdat is gerekend met te verwachten veranderingen in landbouwarealen en prijzen van landbouwproducten.

In figuur 3.5 is de verandering in droogteschade van de overige 3 scenario's ten opzichte van het G-scenario weergegeven. Vooral het W+-scenario laat een behoorlijke toename zien van de droogteschade. Er is gerekend met de huidige mogelijkheden van berekening. Indien door restricties ten aanzien van grondwateronttrekking of verminderde wateraanvoermogelijkheden de berekening niet op het huidige peil kan blijven neemt de droogteschade vooral bij het W+-scenario nog meer toe.

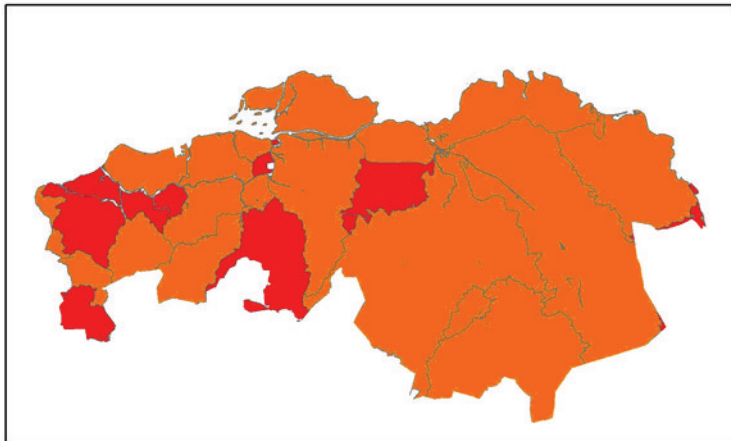
JVW droogteschade verschil scen G+ minus G



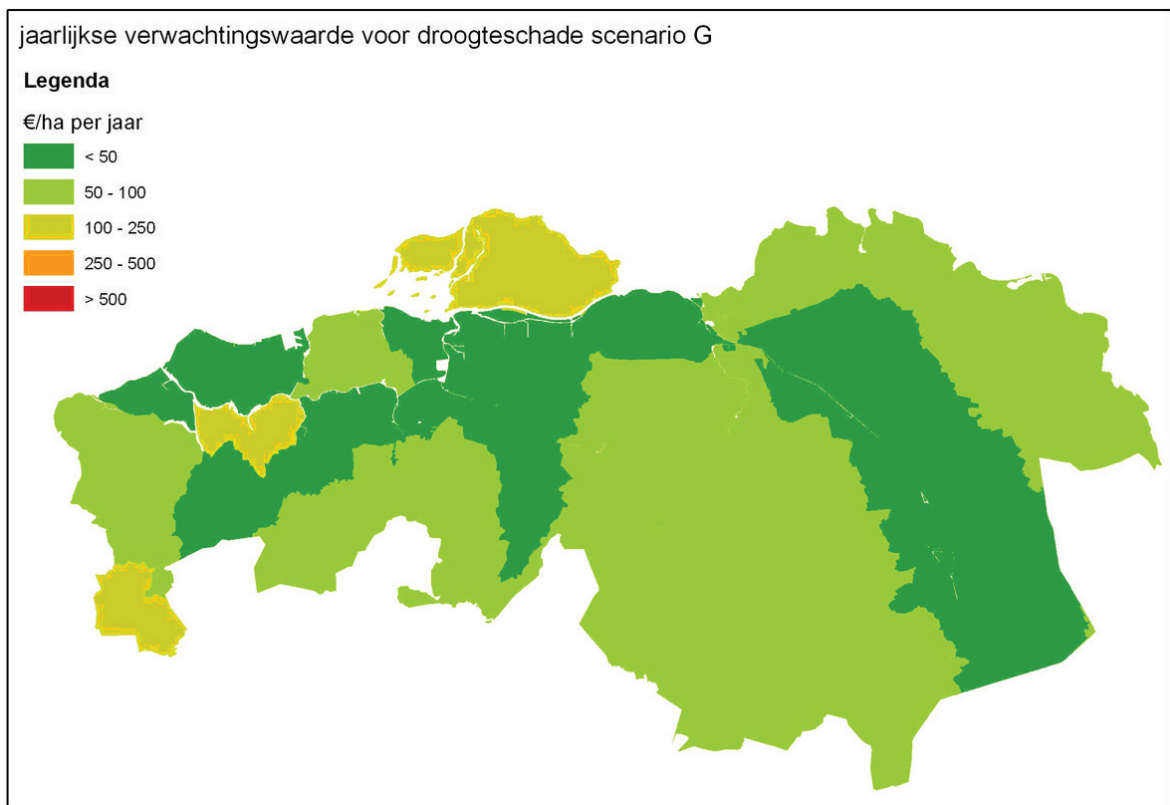
JVW droogteschade verschil scen W minus G



JVW droogteschade verschil scen W+ minus G



Figuur 3.5 Verandering in droogteschade van de overige 3 scenario's ten opzichte van het G-scenario



Figuur 3.6 Jaarlijkse verwachtingswaarde voor droogteschade scenario G

3.4.3 Verziltingschade grondgebonden landbouw

In de Droogtestudie is eveneens berekend welke schade de landbouw ondervindt als gevolg van verzilting van het oppervlaktewater, doordat de zoute kwel verandert (als gevolg van zeespiegelrijzing en/of maaiveldsdaling) en de zoetwatervoorziening verandert (als gevolg van minder aanvoer van Rijn- of Maaswater en hogere chloridegehalten in het aangevoerde water). In het kader van de Droogtestudie (RIZA, 2006) zijn verziltingsschades voor de 4 klimaatscenario's berekend. De schades in Noord-Brabant zijn over het algemeen gering. In west-Brabant (het gebied waar gewasrotaties plaatsvinden) kan wat schade optreden. Met name de aardappel is erg gevoelig voor zoutschade.

3.4.4 Temperatuur en landbouw

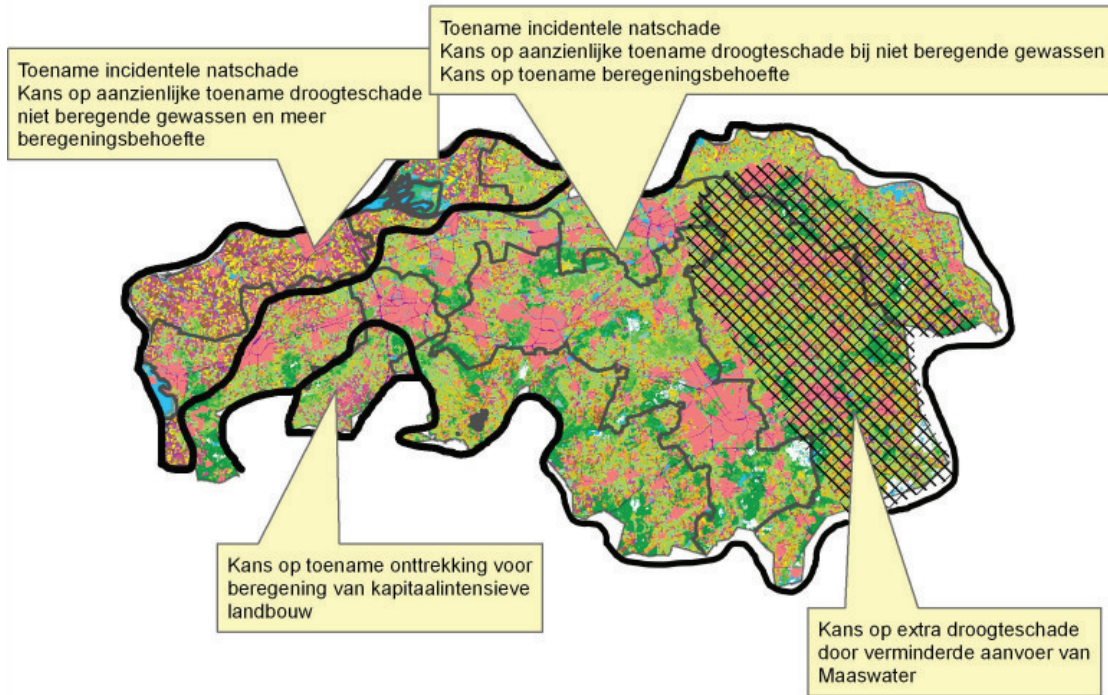
De toename van de temperatuur geeft kansen en bedreigingen voor de landbouw. De teelt van pootaardappelen zal bijvoorbeeld worden bemoeilijkt, terwijl de teelt van harde graansoorten zal verbeteren. Door de temperatuuroename neemt de productie toe, maar ook ziekten en plagen nemen toe en resistentie worden doorbroken.

Ziekten en plagen

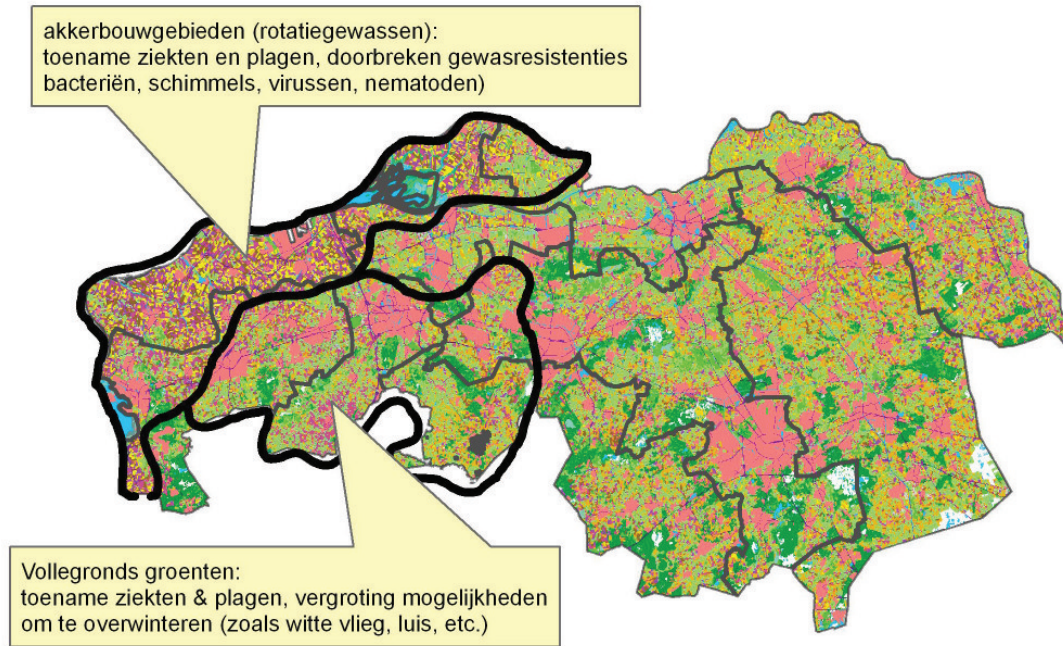
Vernatting heeft ook een belangrijk effect op de toename van ziekten en plagen. Het is echter moeilijk aan te geven hoe groot deze effecten zijn. De schade hangt sterk af van meerdere factoren, zoals het groeistadium van de plant, de omgevingstemperatuur, verspreidingsmogelijkheden, etc. Op zich hoeft een ziekte voor de plant of het gewas niet erg te zijn, mits ze goed overleven en de schade of productiederving 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

Agrohydrologische gevolgen van klimaatverandering



Figuur 3.7 De agrohydrologische effecten van klimaatverandering



Figuur 3.8 Ziekten in de landbouw

Legenda

gras	boomgaard	infrastructuur	Overige moerasvegetatie
mais	bollen	bebouwing in agrarisch gebied	rietvegetatie
aardappelen	loofbos	Kwelders	Bos in moerasgebied
bieten	naaldbos	Open zand in kustgebied	overig open begroeid natuurgebied
granen	zoet water	Open duinvegetatie	kale grond in natuurgebied
overig landbouw	zout water	Gesloten duinvegetatie	
glastuinbouw	bebouwd gebied	Open stuifzand	

veerkrachtig en robuust genoeg is om de extremen van klimaatsverandering op te vangen?

Gras. Dit is redelijk bestand tegen vernatting. Wel kunnen in het najaar problemen optreden bij het maaien, als de velden onderwater langere tijd onder water. 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 wel de ziektedruk (nematoden, engerlingen) in graslanden.

Maïs. 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 hebben op suikerbieten, omdat het suikergehalte toeneemt en daarmee de kwaliteit. De ziektedruk neemt echter ook toe, met name door toename van de bietencysteaaaltjes 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*).

In figuur 3.8 zijn de aandachtsgebieden voor de provincie Noord-Brabant aangegeven.

3.5 Natuur

3.5.1 Effecten op natuur - algemeen

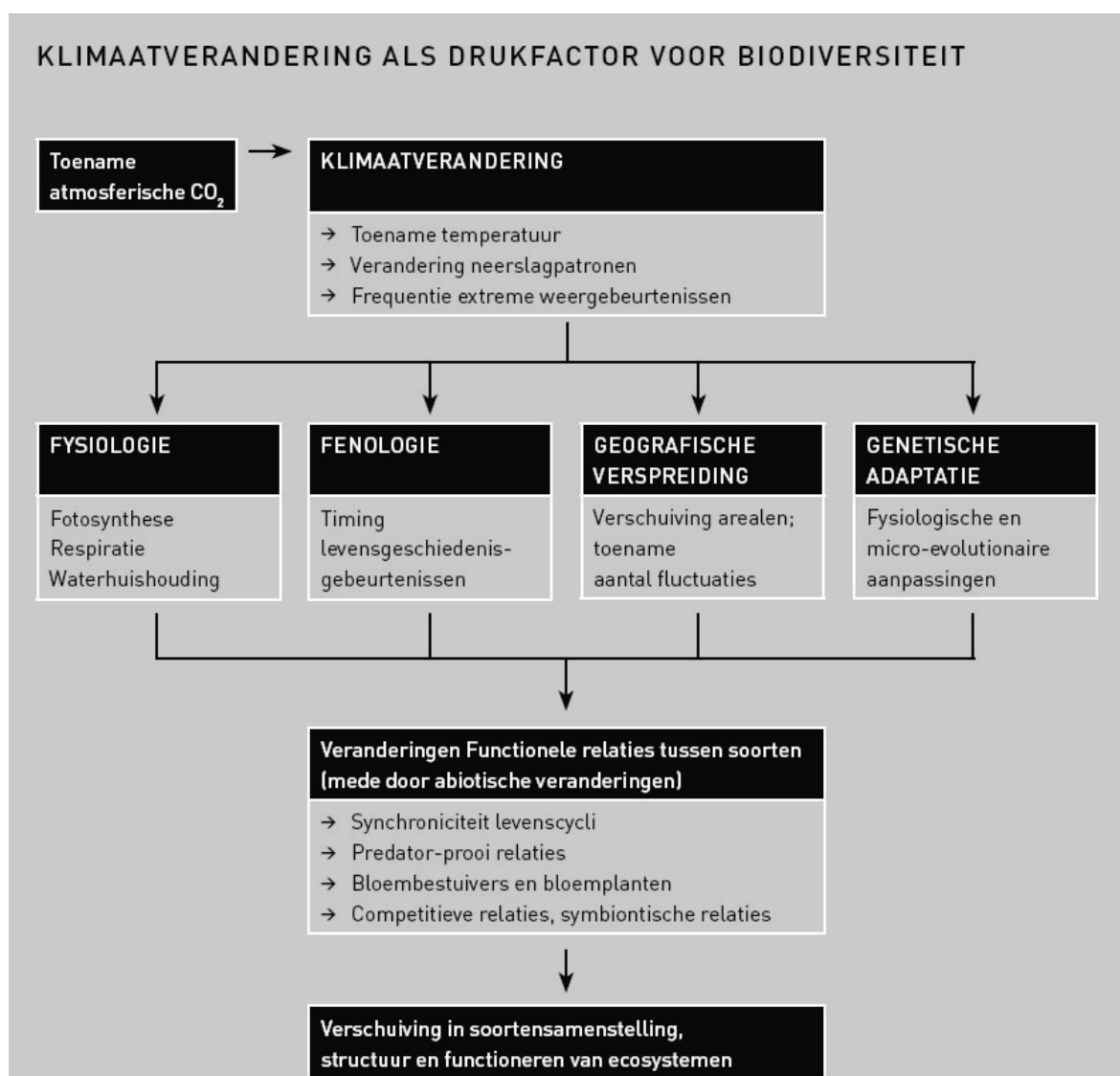
Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie, de fenologie, de geografische verspreiding en de genetische adaptatie van soorten (zie Figuur 3.9), maar ook op de abiotische omstandigheden in hun leefgebied. Al deze veranderingen zullen leiden tot veranderingen in functionele relaties tussen soorten. 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 Noord-Brabant.

- **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 en intensiteit van droogteperiodes 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 zeekleipolders toe. Wanneer dit onvoldoende gecompenseerd kan worden door de aanvoer van zoet water, treedt verzilting op. Te hoge zoutconcentraties

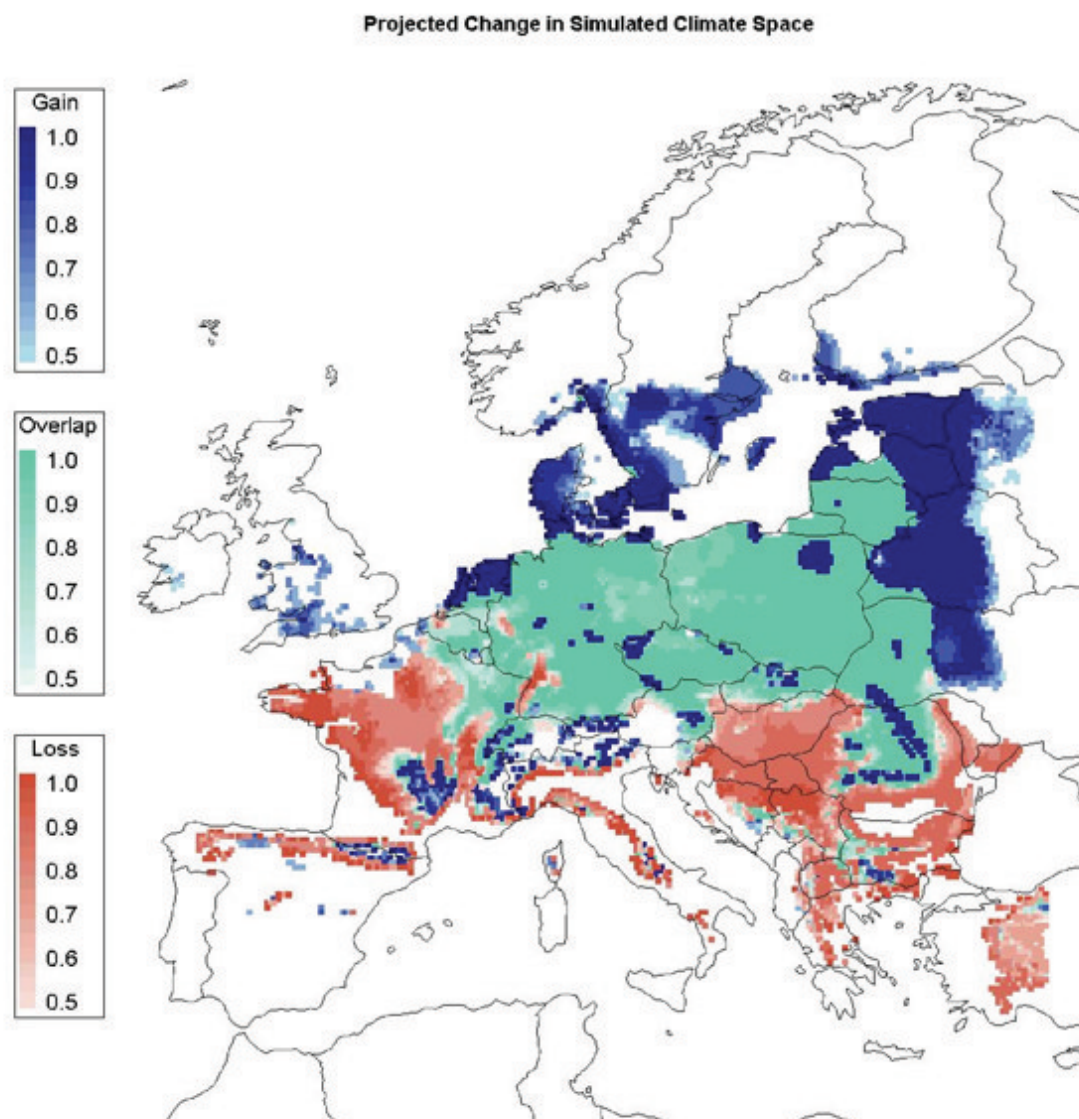
kunnen problemen veroorzaken in zoetwaterafhankelijke natuur, zoals moerasheide en zwakgebufferde sloten (Paulissen et al., 2007).

- 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 (m.n. 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 3.10). 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.

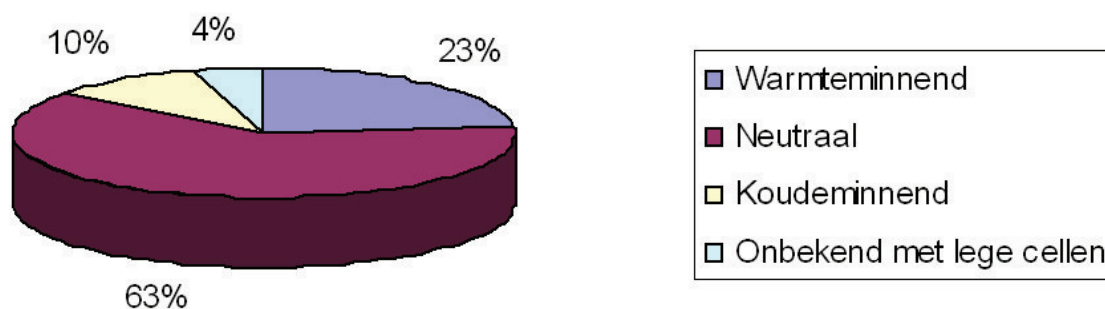


Figuur 3.9 Samenvatting processen die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000; uit Vos et al., 2007).

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 3.10). 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-beschaduw) 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.



Figuur 3.10: Verwachte verandering van de ligging van de klimaatvelop van de Middelste Bonte specht bij een veranderend klimaat (Berry et al., 2007).



Figuur 3.11 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 Noord-Brabant

Versterkte verdroging

Brabant kent een groot aantal natte gebieden met hoge natuurwaarden, zoals de Groote Peel, de moerasgebieden in de Langstraat, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux en Strabrechtse Heide & het Beuven. In totaal 96 van deze gebieden hebben in Brabant de status van ‘natte natuurparel’. 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 op korte termijn maatregelen nodig zijn. Verwacht kan worden dat natuur in Brabant 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. Klimaatverandering vormt daarom hoogstwaarschijnlijk een probleem voor tenminste een aantal van de Brabantse “natte natuurparels”, maar onbekend is welke daarvan het meest kwetsbaar hiervoor zijn.

Verder kan verdroging afgeleide effecten met zich meebrengen, zoals eutrofiering, verzuring (Lamers, 2001 en Lucassen, 2004) en verzilting (Paulissen et al., 2007). De twee eerstgenoemde effecten treden in vrijwel alle natuurgebieden met een hoge sulfaatbelasting (door aanvoer van oppervlaktewater of vervuild grondwater) op. Verzilting van oppervlaktewateren kwam in Noordwest-Brabant vóór de afronding van de Deltawerken wel voor, maar is tegenwoordig nauwelijks nog van betekenis (Stuyt et al., 2006). Het zou echter in de toekomst lokaal weer van belang kunnen worden in het zoekleigebied direct grenzend aan de Deltawateren, wanneer hier brak of zout water wordt toegelaten. Bovendien kan ook door de ondiepe ligging van het zoet/zoutgrensvlak in het gebied grenzend aan de Deltawateren verzilting optreden.

Overstroming

Beekdalen –vaak met hoge natuurwaarden– zijn karakteristiek voor de Brabantse natuur. Voorbeelden hiervan zijn de beekdalen van de Dommel, de Beerze, de Reusel en de Chaamse 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. Overstroming met water van regenwaterkwaliteit is naar verwachting voor veel natuurtypen minder problematisch, tenzij diepe overstroming tijdens het groeiseizoen plaatsvindt.

Biodiversiteit

Brabant is leefgebied voor een groot aantal bijzondere soorten. Een aantal van de meest karakteristieke soorten is opgenomen in tabel 3.2.

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 3.10 is gelegen; koudeminnende soorten), sommige beter (als Nederland in de blauwe zone van figuur 3.10 is gelegen; warmteminnende soorten) en het klimaat zal voor sommigen soorten geschikt blijven (in de groene zone van figuur 3.10; neutrale soorten). De verwachte respons op klimaat is voor enkele soorten die voor (natuurtypen in) Noord Brabant relevant zijn weergegeven in tabel 3.2. Het verschuiven van arealen van soorten kan dus lokaal effect hebben op het behalen (of niet) van Natura 2000 en EHS doelen.

Tabel 3.2 Soorten van belang voor Noord Brabant (Selectie door provincie Noord-Brabant) 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: Veen et al., in press)

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

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 areaalverschuivingen plaagsoorten vanuit het zuiden binnenkomen of vaker een probleem zijn (Eikenprocessierups, Ambrosia). De verwachting is dat een soortenrijk ecosysteem hiervoor minder gevoelig is.

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 volgende de mogelijke adaptatie-strategie

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, okt 05) 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 Noord Brabant nog de volgende vragen voor:

1. Uit deze eerste inventarisatie blijkt dat Brabant mogelijk een groot aantal gebieden kent dat kwetsbaar is voor klimaatverandering (versterkte verdroging, overstroming). Onbekend is welke hiervoor het meest kwetsbaar zijn. Verder inventarisatie moet duidelijk maken waar in Brabant 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 zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

- 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 (=gladheid/verkeershinder) zal afnemen.

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. Dit leidt tot:

- 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' aangepast dient te worden. Aanpassing heeft gevolgen voor ontwerpspecificaties (zoals afwateringshoek, pompen, waterbergingen e.d). Nader onderzoek is nodig.

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 paragraaf 3.6.2 *Temperatuur en 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 extreem buien, droogte in de zomer, erosie en bermbranden stelt andere eisen 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

Klimaatverandering biedt veel kansen voor meer buitenrecreatie. Hogere extreme temperaturen maken het verantwoord gebruik van zwemwater echter ook risicvoller.

Temperatuur en recreatie

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

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

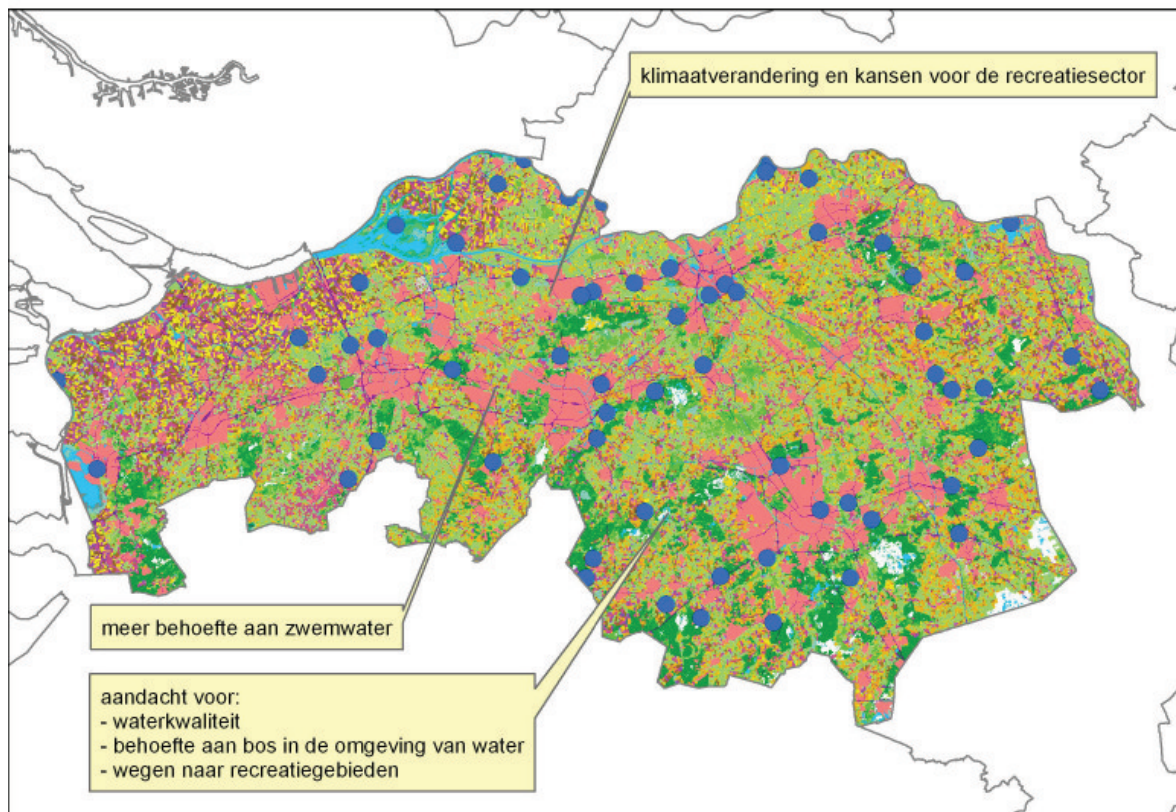
Voor de recreatiesector is klimaatverandering overwegend positief. Er zullen meer dagen komen die geschikt zijn voor strand en vakantiepark. Dit kan een positief effect hebben op de recreatiesector.

In de zomervakantie zullen meer aangename dagen zijn om bijvoorbeeld naar de Efteling te gaan. Kanttekening is wel dat er meer tropische dagen zullen zijn, waarop een dagje in een pretpark wellicht te warm is. Het aanleggen van meer watergerelateerde attracties kan dit mogelijk opheffen.

Bij een toenemende temperatuur neemt in stilstaande wateren de kwaliteit van zwemwater af. Daarnaast nemen de zwembehoefte toe bij warm weer. Mensen zullen meer geconcentreerd van de zwemwaterlocaties gebruik maken. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik risicvoller. De waterkwaliteit zal echter door de uitvoering van de Kaderrichtlijn Water wel verbeteren. Het uitgangspunt zal dan beter zijn. Daarnaast nemen teken, processierupsen en mogelijk nieuwe soorten toe. Blootstelling aan deze soorten bij buitenrecreatie kan een toename aan specifieke ziekten, zoals de ziekte van Lyme, betekenen.

Figuur 3.12 geeft de aandachtsgebieden voor recreatie weer. Daarnaast worden ook de zwemwaterlocaties weergegeven.

Recreatie & waterkwaliteit



Legenda

gras	boomgaard	infrastructuur	Overige moerasvegetatie
mais	bollen	bebouwing in agrarisch gebied	rietvegetatie
aardappelen	loofbos	Kwelders	Bos in moerasgebied
bieten	naaldbos	Open zand in kustgebied	overig open begroeid natuurgebied
granen	zoet water	Open duinvegetatie	kale grond in natuurgebied
overig landbouw	zout water	Gesloten duinvegetatie	zwemwater
glastuinbouw	bebouwd gebied	Open stuifzand	

Figuur 3.12 Recreatie en zwemwaterlocaties in Noord-Brabant



*Spetteren in het water, toenemende zwemwaterbehoefes in de zomer
(foto Tineke Dijkstra)*

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., Fellingier M., Haveman R., Van Opstal A.J.F.M. & Van Zadelhoff F.J. 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Beijk, V., Effecten van de KNMI'06 klimaatscenario's op de verzilting in de noordwestelijke delta, 2007
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuitenbeek. Monitoring stroomgebieden 8-II. Rapport 1387 Alterra, Wageningen.
- Klijn, J.A. en F.R. Veeneklaas, 2007. Anticiperend Landschapsbeleid. Deel 1: Drijvende Krachten. Rapport 1557, 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.
- Louw, P. de, 2007. Brakke kwel in diepe polders: Case polder de Noordplas. In: Verzilting in Nederland, NHV-special 7 (Ed. Perry de Louw), Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.
- Lucassen ECHET 2004. Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Proefschrift,

Radboud Universiteit Nijmegen.

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

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

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

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

Provincie Noord-Brabant, 2004. Over bevers, blauwtjes en brabanters. Beleidsplan soortenbescherming. Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.

Rijkswaterstaat RIZA (2004). Droogtestudie Nederland. Samenvattend rapport fase 2a. Inhoudelijke analyse. Resultaten Droogtestudie Nederland. RIZA-nr 2004.30 ISBN 9036953889

Rijkswaterstaat/RIZA (2007). Investeringsruimte voor toekomstige droogte. Verkenning van de hydrologische effecten en economische schade in de KNMI '06 klimaatscenario's. Eindrapport. 9S6323.

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.

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

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

Vries, C.J. de, 2007, Zeehavens blijven goed bereikbaar ondanks klimaatverandering, Bureau Voorlichting Binnenvaart.

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

Witte, J.P.M., B. Kruijt en C. Maas (2006). Effecten van CO₂-toename op de verdamping. Rijkswaterstaat RIZA/KIWA. KWR 06.003

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%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
Zomer ³	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-2%	-10%	-3%	-19%
	dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	potentiële verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
Zeespiegel	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

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

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

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

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

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

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

Overeenkomsten

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

Verschillen

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

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

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

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

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

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

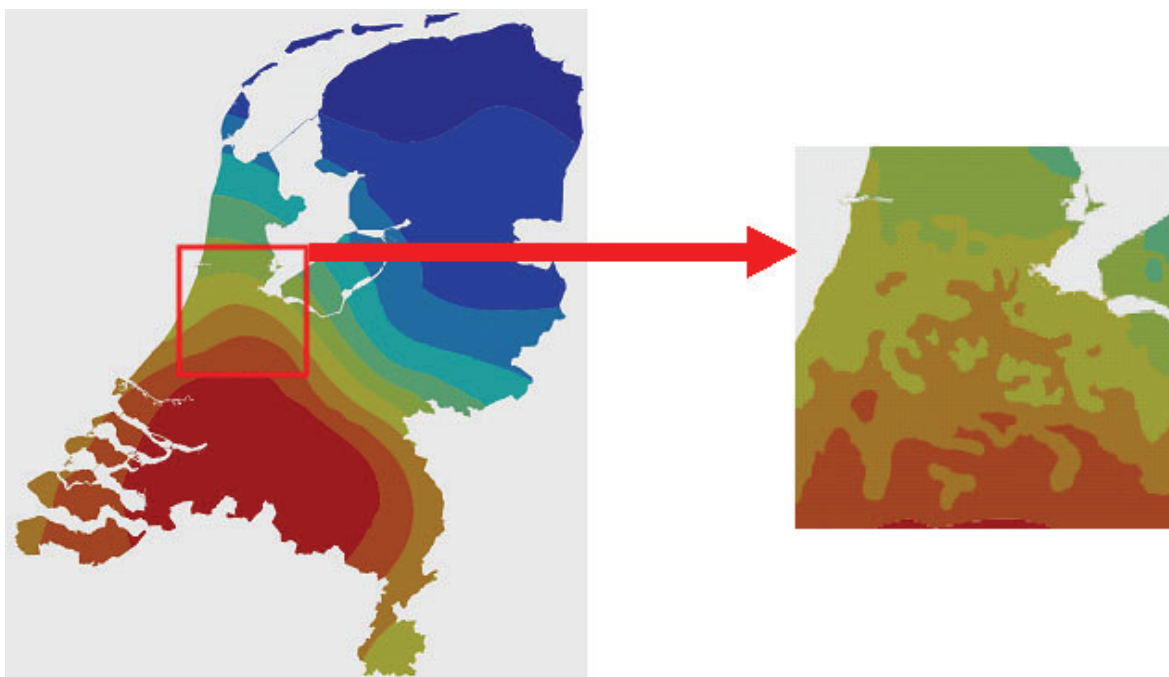
Onzekerheid over toekomstige emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes veroorzaakt slechts een klein deel van de verschillen tussen de KNMI klimaatscenario's voor 2050. De grootste onzekerheid is te wijten aan verschillen in modelberekeningen ten gevolge van de beperkte kennis van het klimaatsysteem.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

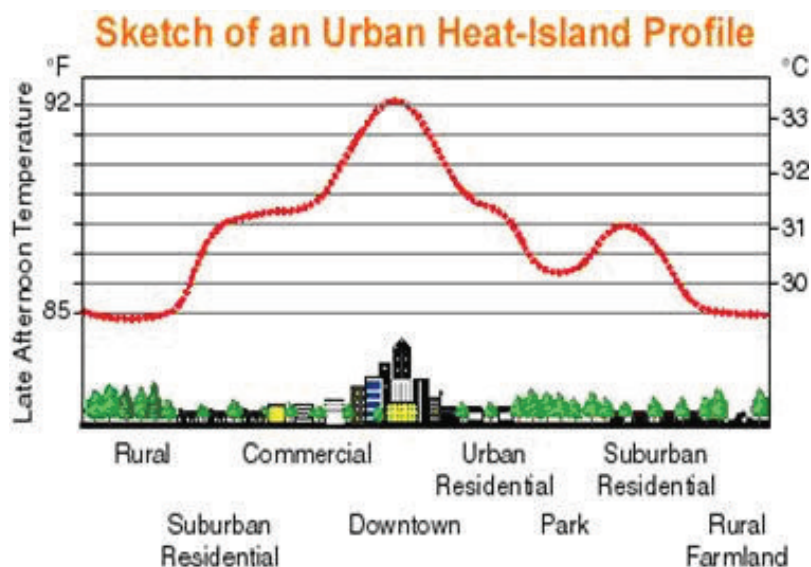
Het is bekend dat zich boven steden zgn. warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt 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 windstilte, 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.



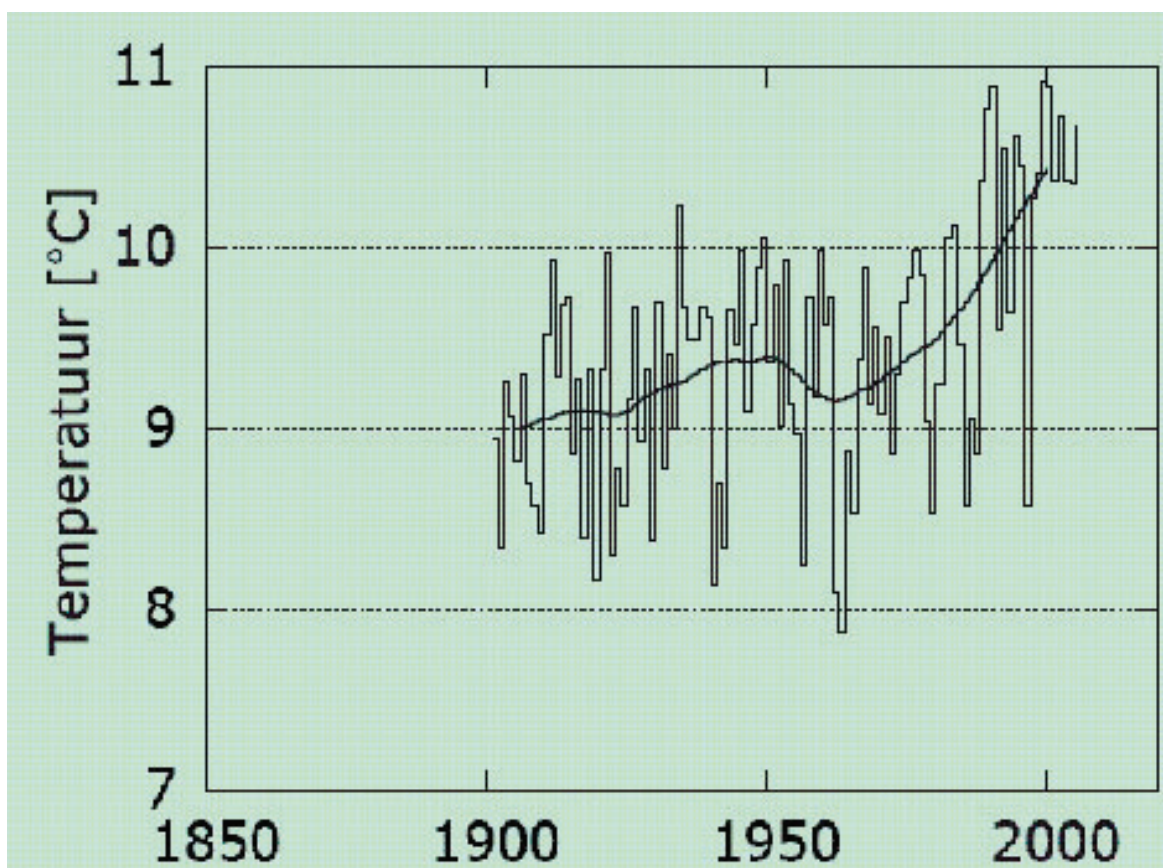
Figuur B3 1 Schematische weergave van het temperatuurprofiel van een 'Urban Heat Island'.

BIJLAGE 4 WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN NEDERLAND

Temperatuur

In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2°C gestegen (Figuur B5 1). Hetzelfde patroon aan veranderingen in de gemiddelde jaartemperatuur is terug te vinden in de metingen in bijvoorbeeld Eindhoven (metingen vanaf 1951). 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.



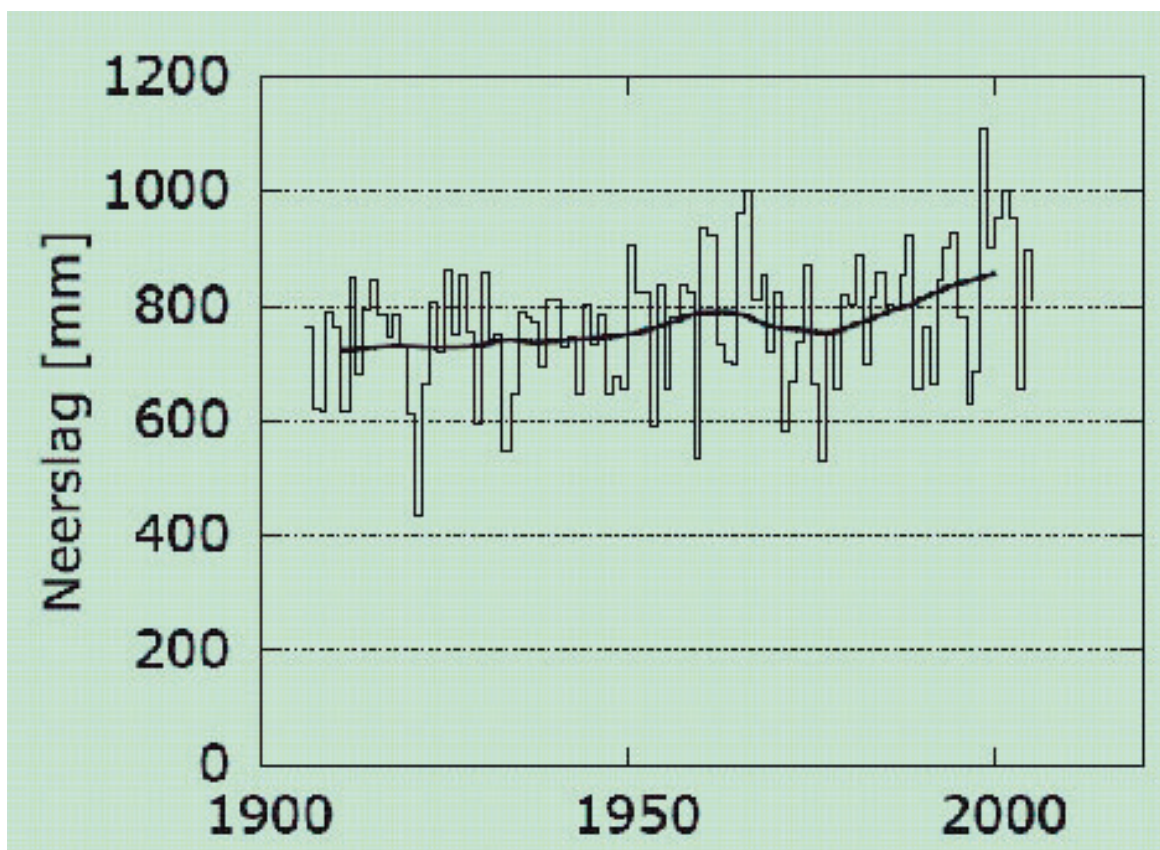
Figuur B4.1 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

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 B5 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.

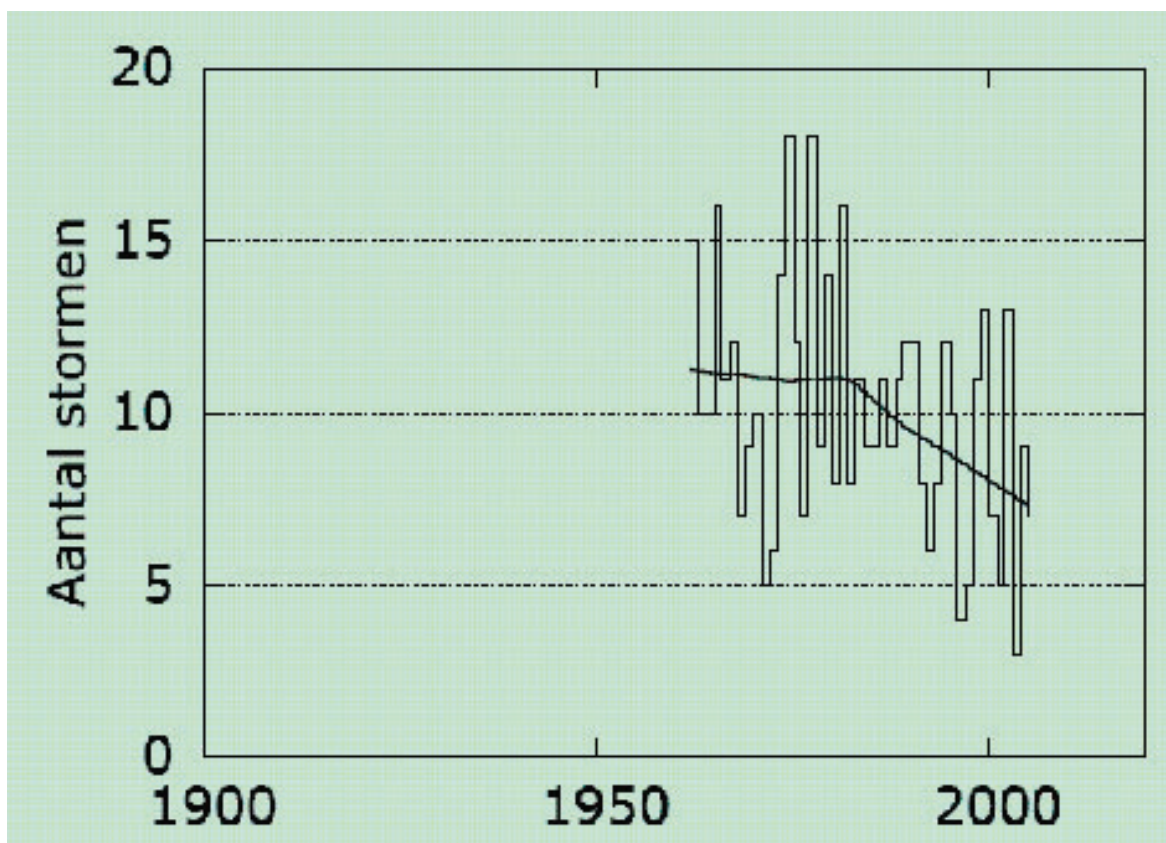


Figuur B4.2 Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

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 B5 3). Dergelijke gebeurtenissen komen gewoonlijk gemiddeld 10 keer per jaar voor, maar momenteel hebben we 20-40% minder 'stormen' dan begin jaren zestig.

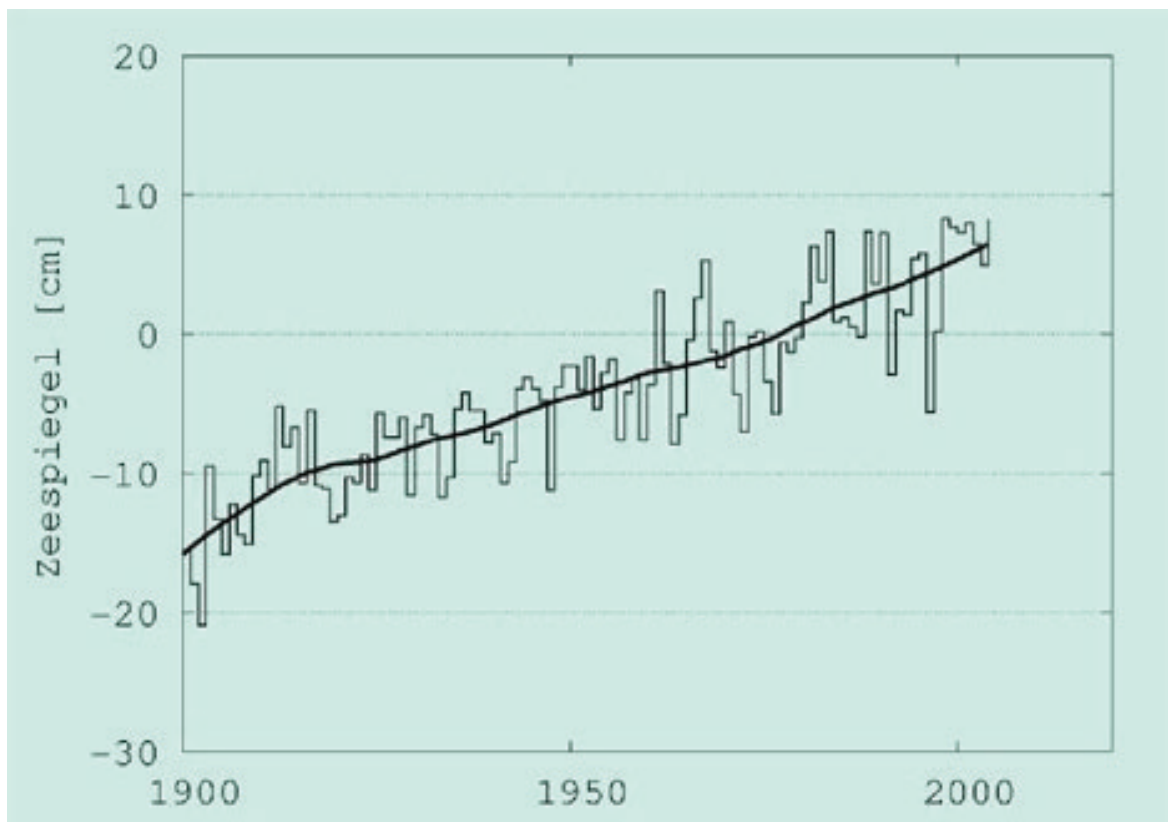
Nederland is te klein en de meetreeksen zijn te kort om veranderingen in het aantal zware stormen (minstens windkracht 10 à 11) bij ons vast te stellen. Daarvoor komen ze te weinig voor: gemiddeld namelijk minder dan 1 keer per jaar.



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.



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

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

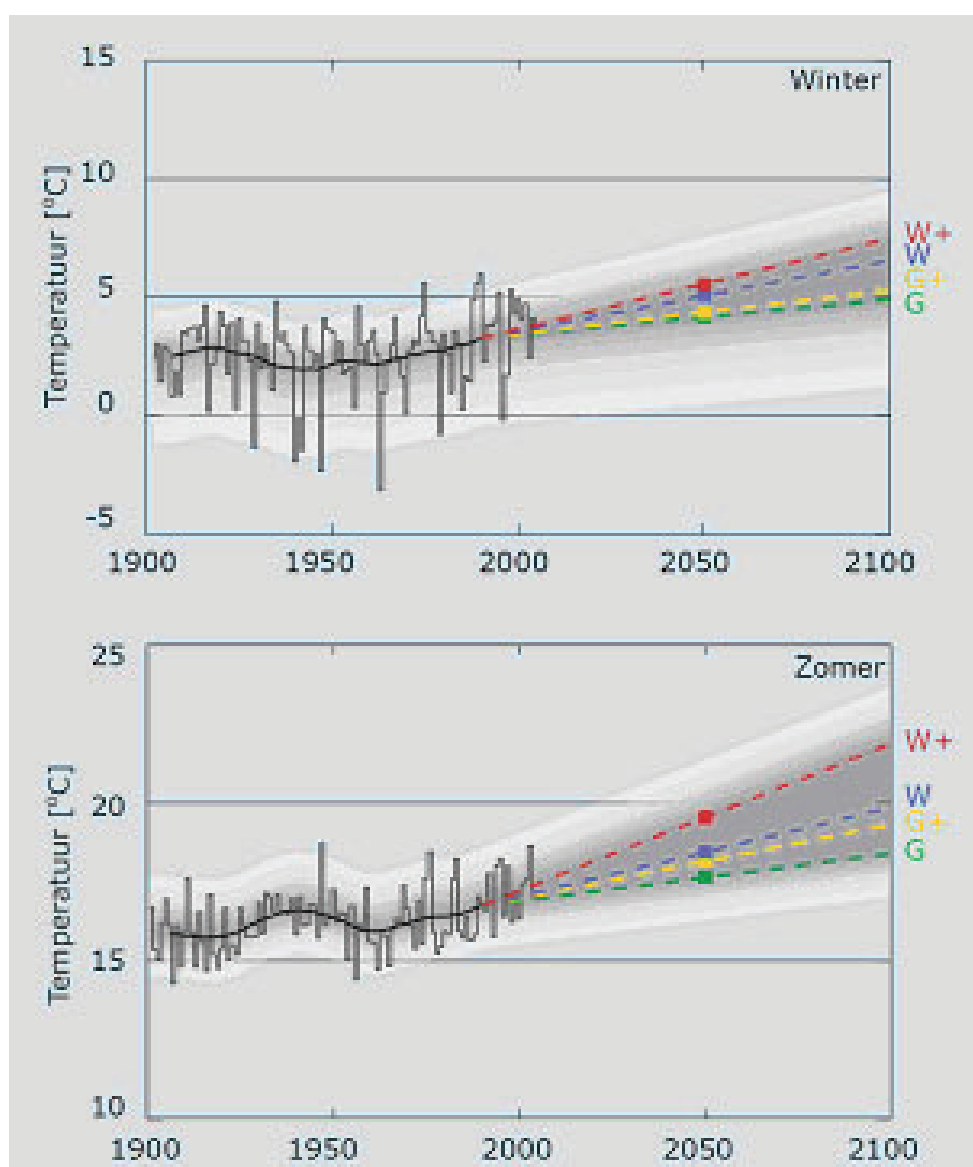
BIJLAGE 5 PRIMAIRE EFFECTEN: KAARTEN EN ADDITIONELE INFORMATIE

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

Temperatuur

Gemiddelde temperaturen

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



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

Tabel B5.1 geeft een vertaling van de klimaatscenario's naar gemiddelde minimum- en maximumtemperaturen per seizoen in enkele plaatsen in Noord-Brabant. 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	Gilze-Rijen	6,1	7,0	7,3	7,9	8,4
	Volkel	5,8	6,7	7,0	7,6	8,2
lente	Gilze-Rijen	14,0	14,9	15,3	15,8	16,6
	Volkel	14,1	15,0	15,3	15,9	16,6
zomer	Gilze-Rijen	22,0	23,0	23,5	23,9	25,0
	Volkel	22,2	23,1	23,7	24,0	25,1
herfst	Gilze-Rijen	14,5	15,4	15,8	16,3	17,1
	Volkel	14,4	15,3	15,7	16,2	17,1
Gemiddelde minimum dagtemperatuur (°C)						
winter	Gilze-Rijen	0,2	1,1	1,4	2,0	2,5
	Volkel	0,0	1,0	1,2	1,9	2,4
lente	Gilze-Rijen	4,3	5,2	5,6	6,2	6,9
	Volkel	4,3	5,2	5,6	6,2	6,9
zomer	Gilze-Rijen	11,6	12,5	13,1	13,4	14,5
	Volkel	11,5	12,4	13,0	13,3	14,4
herfst	Gilze-Rijen	6,6	7,5	7,9	8,4	9,3
	Volkel	6,3	7,3	7,7	8,2	9,0
Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur (°C)						
	Gilze-Rijen	32,3	33,4	34,4	34,5	36,5
	Volkel	32,8	33,8	34,8	35,0	36,9
Gemiddelde jaarlijkse laagste minimum temperatuur (°C)						
	Gilze-Rijen	-11,5	-10,4	-9,9	-9,4	-8,3
	Volkel	-11,4	-10,3	-9,8	-9,2	-8,2

* 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.....** 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 de stations Eindhoven, Gilze-Rijen en Volkel in de provincie Noord-Brabant liggen. Dit aantal is te klein om alle ruimtelijke patronen goed met behulp van een GIS te genereren. De figuren geven het ruimtelijk patroon binnen Noord-Brabant 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).

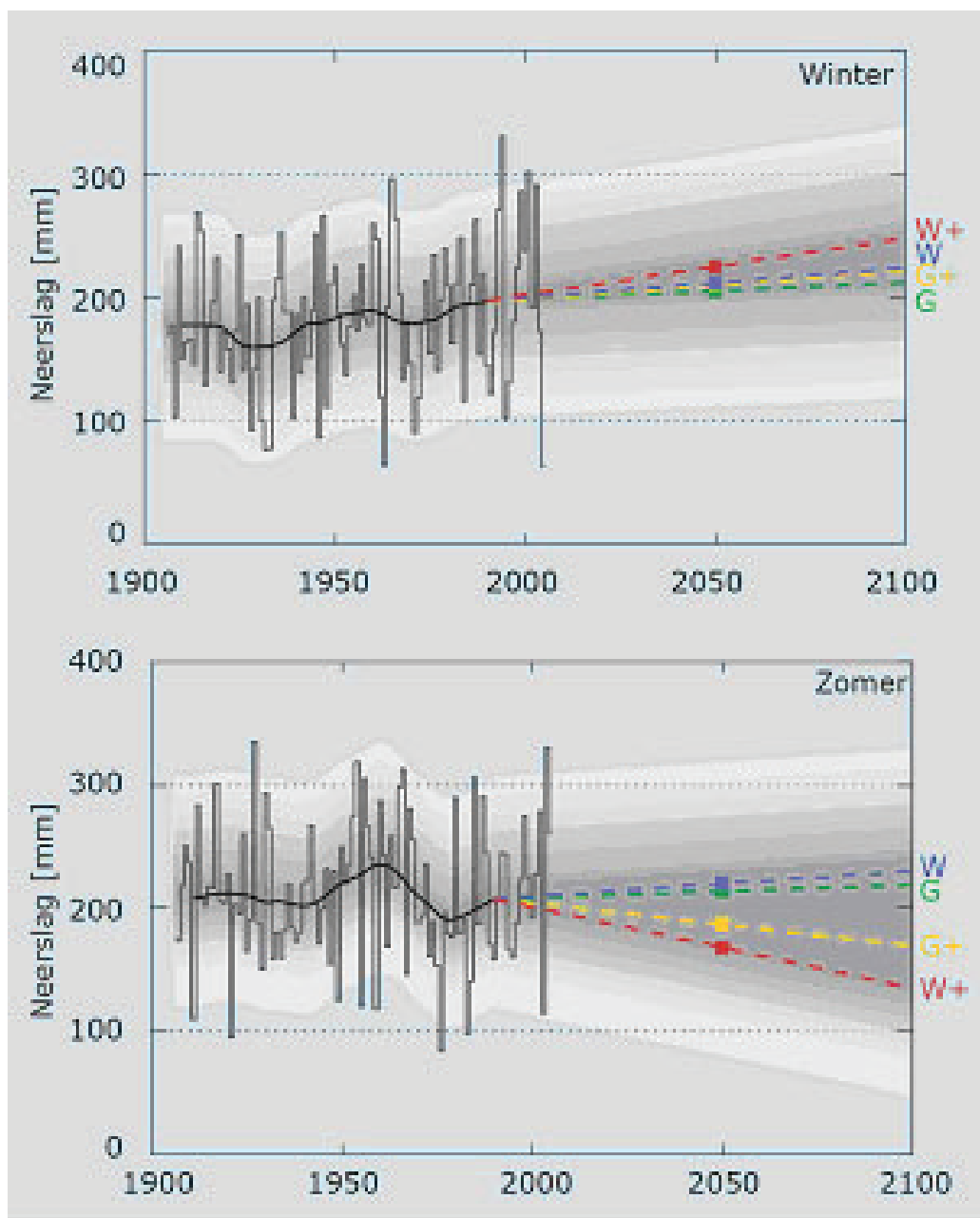
In het huidige klimaat is het aantal warme, zomerse, tropische en vorstdagen aan de kust kleiner dan meer in het binnenland (Figuren 2.1-2.5). Voor ijsdagen is er een minder duidelijk land-zee-effect, doordat ijsdagen vooral optreden bij noorden- tot oostenwind (terwijl in Nederland de overheersende 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 Noord-Brabant liggen. Dit is voldoende om een vrij goed beeld te schetsen van de ruimtelijke patronen. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid kunnen de kaarten

het best vergeleken worden met de kaarten uit de 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Merk op dat de ruimtelijke verschillen binnen Nederland niet alleen het gevolg zijn van klimatologische verschillen maar, door het grillige karakter van de neerslag, voor een deel ook het gevolg van toevallige verschillen.

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

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

Neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's komen de relatieve veranderingen van de gemiddelde en extreme neerslag niet overeen. Het duidelijkst is dit te zien bij de zomerneerslag. In de '+'-scenario's (G+ en W+) neemt de gemiddelde neerslag in de maanden juni t/m augustus af, terwijl de extreme neerslag toeneemt (dagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden). De hoogste dagneerslagsom treedt meestal in het zomerhalfjaar op. In de zomermaanden zijn, bij gelijke overschrijdingsfrequentie (bijvoorbeeld eens per 10 jaar), de dagsommen van de neerslag ongeveer 1,5 maal zo groot (50% groter) dan in de wintermaanden (STOWA, 2004). Deze extreme neerslag kan voor lokale wateroverlast zorgen. Dit speelt vooral in het stedelijk gebied, maar ook in het landelijk gebied kan dan lokale wateroverlast optreden bijvoorbeeld als de gemaalcapaciteit in polders niet voldoende is om het water snel af te voeren. Om een indruk te geven van de verandering in extreme neerslag is in **Figuur 3.10** het aantal dagen met meer dan 15 mm afgebeeld. Uit deze figuur is af te leiden dat het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag in alle scenario's toeneemt. In de "+"-scenario's (G+ en W+) is de toename gering, en in de G en W scenario's het grootst. In deze scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen is de toename van extreme neerslag in de zomer procentueel ook het grootst.

Ruimtelijke patronen neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's wordt onder andere de verandering in de dagsom die eens per 10 jaar voorkomt in de zomermaanden (juni-augustus) genoemd. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 54 mm of meer in 24 uur (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Aangezien er voor te weinig stations in Nederland lange tijdreeksen bestaan, is het moeilijk om eventuele ruimtelijke verschillen hierin vast te stellen. Er kan ook niet zonder meer worden aangenomen dat de afgeleide statistiek voor De Bilt in het STOWA-rapport (2004) representatief is voor heel Nederland. Hoewel Nederland maar een klein land is, bestaan er grote verschillen in het neerslagklimaat door verschillen in verschillen in land-/zeeligging, grondsoorten, landgebruik, en in mindere mate orografie. Bij een overschrijdingsfrequentie van eens per 10 jaar is vastgesteld dat de neerslag die in 24 uur of langer valt significant verschilt tussen stations in Nederland, waarbij is vastgesteld dat de verschillen tussen De Bilt en de overige beschouwde stations maximaal 12% is. Het STOWA-rapport (2004) vermeldt dat een eerste schatting voor andere locaties in Nederland is te maken door lineaire schaling met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid (door de resultaten voor De Bilt te vermenigvuldigen met de ratio van de gemiddelde jaarsom van de gewenste locatie en die van De Bilt). Tabel 5.2 geeft voor enkele stations in Noord-Brabant 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 Noord-Brabant (range 93-106 mm) klein zijn, ook ten opzichte van station De Bilt. Een schatting van de toekomstige waarden is moeilijker te maken. Met behulp van het transformatieprogramma (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/) worden er voor De Bilt veranderingen van -1% (W+) tot +14% (W) rond 2050 voor deze 9-daagse neerslagsommen verkregen. Echter, het transformatieprogramma onderschat de extreme dagsommen met lange herhalingsstijden, en daarmee wellicht ook de extreme 9-daagse neerslagsommen.

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

KNMI-neerslagstation	Huidig klimaat	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
24-uurs neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (mm)					
Bergen op Zoom	49	56	52	63	54
Eersel	49	56	52	63	54
Oss	47	53	49	60	52

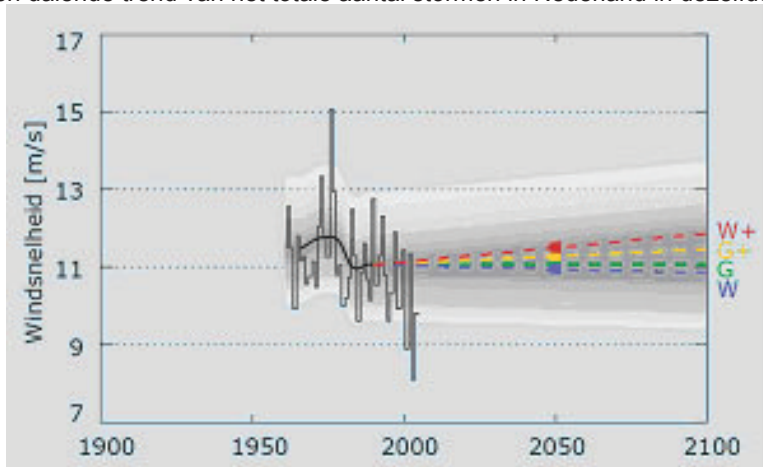
* De veranderingen in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 zijn twee maal zo groot als de veranderingen in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

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 Gilze-Rijen is de gemiddelde windsnelheid over het jaar 4,1 m/s (periode 1971-2000) en op het KNMI-station Volkel is dit 3,9 m/s. De hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar ligt voor deze stations hoger dan voor De Bilt (figuur B5.3).

Neerslagtekort

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

Als gevolg van de hogere temperaturen zal de potentiële verdamping toenemen. In de zomermaanden neemt de potentiële verdamping in de '+-scenario's aanzienlijk toe (met 8% tot 15%; in deze scenario's stijgt de temperatuur in de zomer ook het sterkst). In de G+ en W+ scenario's is van de respectievelijke 8 (7,6)% en 15 (15,2)% toename in de potentiële verdamping rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 3,6 en 7,2% toename het gevolg van de bijbehorende verandering in luchtstromingspatronen (de rest is het gevolg van de 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 duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de maanden mei t/m juli is het neerslagtekort aan de westkant van Noord-Brabant wat groter dan aan de oostkant, maar in de andere maanden van het zomerhalfjaar (april-september) is er weinig ruimtelijk verschil binnen de provincie. Door deze temporele en ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald. In de KNMI'06 scenario's worden geen regionale verschillen in relatieve verandering in klimaatvariabelen meegenomen.

Zonneschijn

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

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

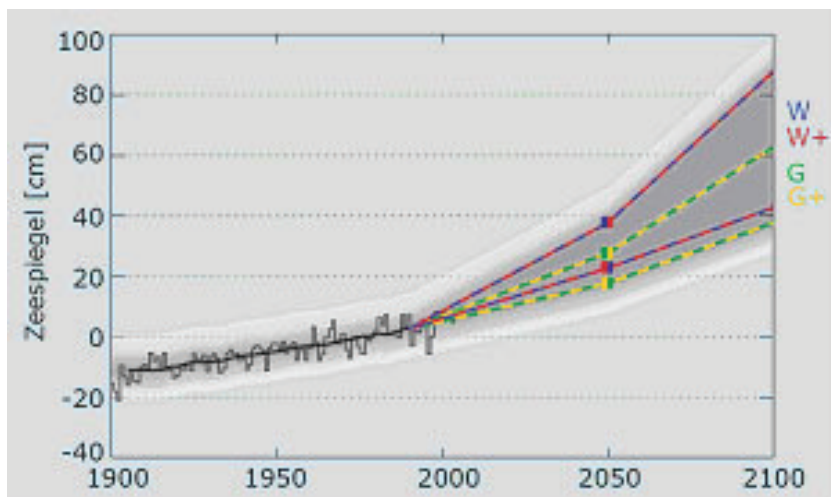
in de zomermaanden rond 2050 ten opzichte van 1990 3,6% en 7,2% van deze toename het gevolg van de verandering in luchtstromingspatronen en de bijbehorende verandering in straling. In de wintermaanden tredt in het G+ en W+ scenario ook een verandering in luchtstromingspatronen op (meer westenwind). Dit 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

KlimaAtlas

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

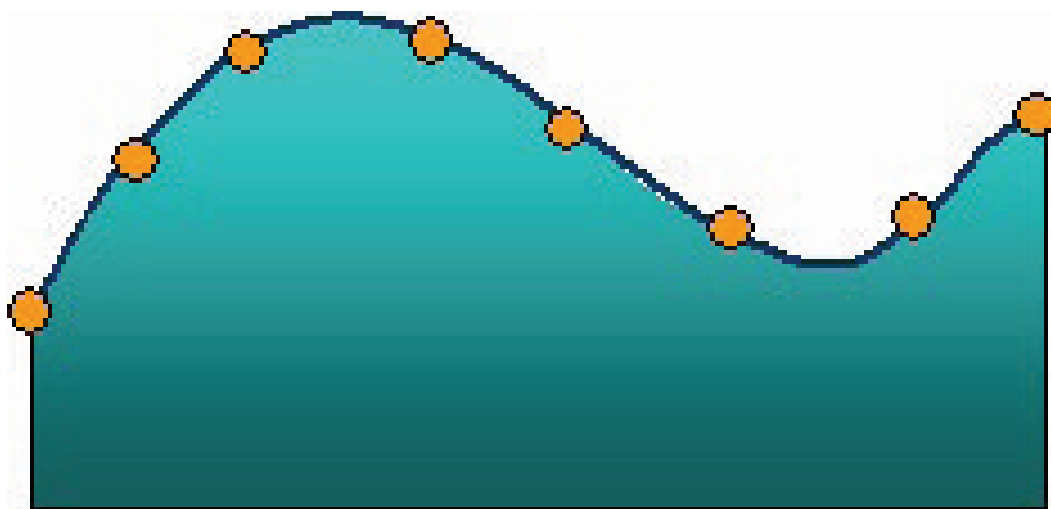
Voor de toekomst data is gebruik gemaakt van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. Het doel van dit programma is het omzetten van een historische neerslag- of temperatuurreeks op dagbasis in een reeks die past bij het klimaat onder één van de vier KNMI'06 klimaatscenario's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

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

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

Klimaatkaarten

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



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

Opdrachtgever : Provincie Noord-Brabant
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
Marleen Bootsma, provincie Noord-Brabant
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
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
