

Klimaatschetsboek Nederland

het huidige en toekomstige klimaat

De Bilt, 2009 | KNMI report 223

Klimaatschetsboek Nederland

het huidige en toekomstige klimaat

De Bilt, 2009 | KNMI report 223



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond en doel van dit klimaatschetsboek	9
1.2 Synergie met andere ontwikkelingen	9
1.3 Verschillen met provinciale klimaateffetschetsboeken	10
2 Introductie klimaat en klimaatverandering	11
2.1 Klimaatverandering en het broeikaseffect	11
2.2 Klimaatscenario's	12
2.3 Omgaan met onzekerheden over de toekomst	16
2.4 Suggesties voor gebruik van klimaatscenario's	18
3 Primaire klimaateffecten	23
3.1 Welke informatie geven de kaarten?	23
3.2 Temperatuur	24
3.2.1 Gemiddelde temperaturen	24
3.2.2 Temperatuur extremen	30
3.3 Neerslag	38
3.3.1 Gemiddelde neerslag	38
3.3.2 Extreme neerslag	46
3.4 Neerslagtekort	52
3.5 Zonneschijn	55
3.6 Wind	56
3.7 Zeespiegel	58
4 Referenties	60
Bijlagen	62
1. KNMI'06 klimaatscenario's	
2. Interpretatie van de kaarten	
3. Het stadseffect	
4. Primaire effecten: additionele informatie	
5. Methodieken klimatologische kaarten	

Samenvatting

Achtergrond van dit klimaatschetsboek

Dit klimaatschetsboek heeft als doel een landelijk overzicht te geven van wat er wetenschappelijk gezien bekend is over de mogelijke veranderingen in temperatuur, neerslag, neerslagtekort, wind, zonneschijn, en zeespiegel in de toekomst. Het is een update en uitbreiding van de provinciale klimaateffectschetsboeken, en het is onderdeel van een project voor het InterProvinciaal Overleg (IPO) over klimaatverandering. Landsdekkende informatie voor deze variabelen is ook opgenomen in het Geoportaal Klimaateffectatlas.

Klimaatverandering en het broeikaseffect (par. 2.1)

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 is zeer waarschijnlijk dat het grootste deel van de toename van de mondiale temperatuurstijging sinds het midden van de 20^{ste} eeuw het gevolg is van de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer.

Klimaatscenario's (par. 2.2)

Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstige klimaat. In mei 2006 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's voor Nederland en omgeving gepresenteerd. Deze zijn gebaseerd op dezelfde bronnen als het meest recente rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Deze KNMI'06 klimaatscenario's zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100. De veranderingen in 2100 zijn in de KNMI'06 scenario's 2x zo groot als in 2050, en in 2020 2x zo klein als in 2050 (behalve voor de zeespiegel). De zeespiegelprojecties van de Deltacommissie gaan uit van extremere wereldgemiddelde temperatuurstijging en een snellere afkalving en afsmelting van ijskappen. Deze projectie kan gezien worden als een aanvullend scenario voor specifieke gebruikers.

Onzekerheden (par. 2.3)

De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen. Ze dienen daarom als basis voor dit klimaatschetsboek, dat is gericht op een brede groep gebruikers. De onzekerheid over ons toekomstig klimaat wordt bepaald 1. door onzekerheden over de sociaal-economische ontwikkelingen (meer of minder uitstoot van broeikasgassen, waardoor de temperatuur meer of minder zal stijgen) en 2. door onzekerheden over het klimaatstelsel zelf (wel of niet verandering van luchtstromingspatronen en gevoeligheid voor stijging broeikasgassen).

Suggesties voor gebruik klimaatscenario's (par. 2.4)

Bij het gebruik van de klimaatscenario's is het belangrijk het doel goed voor ogen te houden. In impact- en adaptatiestudies is het aan te raden om alle KNMI'06 scenario's mee te nemen om een goed beeld te krijgen van de mogelijke effecten en de robuustheid van adaptatiemaatregelen. Bij het maken van beleid kiest men vaak voor 1 klimaatscenario. De keuze wordt dan o.a. bepaald door de relevantie van de klimaatveranderingen voor een bepaalde sector, maar ook door zaken als kosten-baten, maatschappelijk draagvlak, etc. Beleid dat gericht is op het W en W+ scenario zal zich in snelheid onderscheiden van beleid gericht op het G en G+ scenario. Voor specifieke gebruikers (bijv. voor terreinen met grote maatschappelijk of ecologische risico's) is het relevant om ook te kijken naar nog extremere klimaatverandering.

Temperatuur (par. 3.2)

- De opwarming zet door in alle vier de KNMI'06 klimaatscenario's;
- Gezien de snelle stijging sinds 1950 lijken de temperatuurstijgingen in W en W+ waarschijnlijker dan in G en G+;

- In de G+ en W+ scenario's stijgt de temperatuur in Nederland sneller dan wereldgemiddeld, maar minder snel dan waargenomen sinds 1950;
- 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 en afname van het aantal ijsdagen en vorstdagen (meer kans op hittegolven en minder kans op Elfstedentochten);
- Langs de kust is de temperatuur in de zomer lager dan landinwaarts, in de winter is het omgekeerde het geval. In het zuiden is de temperatuur gemiddeld hoger dan in het noorden van Nederland.

Neerslag (par. 3.3)

- Toename van de gemiddelde neerslag in de winter. Gemiddelde neerslag in de zomer kan licht toenemen maar ook sterk afnemen;
- In alle KNMI'06 scenario's neemt de extreme neerslag toe in zowel de zomer als winter (meer kans op wateroverlast);
- Toename van de extreme zomerneerslag in de G+ en W+ scenario's voor de kustregio wordt mogelijk onderschat;
- Afname van het aantal dagen met minimaal 1 mm (voldoende om nat van te worden). Toename van het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag (hevige neerslag);
- Lokale maxima in gemiddelde neerslag treden op door hoogteverschillen en bij enkele grote steden.

Neerslagtekort (pag. 3.4)

- Neerslagtekort is de neerslag minus de potentiële verdamping. Een groter neerslagtekort betekent meer droogte;
- Toename van de potentiële verdamping in alle klimaatscenario's;
- Het neerslagtekort in het zomerhalfjaar neemt nauwelijks tot sterk toe (nauwelijks tot sterke toename van droogte);
- Aan de kust is de gemiddelde potentiële verdamping hoger dan meer landinwaarts, en is het maximale neerslagtekort vaak ook groter.

Zonneschijn (par. 3.5)

- In de zomermaanden kan de hoeveelheid zonneschijn in de G+ en W+ scenario's toenemen. In het winterhalfjaar worden geen grote veranderingen in uren zonneschijn verwacht;
- De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts.

Wind (par. 3.6)

- Veranderingen in het windklimaat in de KNMI'06 klimaatscenario's zijn klein t.o.v. de natuurlijke jaar-op-jaar variatie;
- De gemiddelde windsnelheid in de winter is hoger dan in de zomer;
- De gemiddelde windsnelheid is langs de kust groter dan landinwaarts.

Zeespiegel (par. 3.7)

- De zeespiegel stijgt in alle KNMI'06 klimaatscenario's;
- De bovengrens voor zeespiegelstijging tot 2100 ligt tussen 0,85 en 1,2 m;
- 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.

Wat wel en niet doen met informatie uit dit klimaatschetsboek

- Houd rekening met onzekerheden: we weten meer over temperatuur dan over wind, we weten meer over gemiddelden dan over weersextremen;

- Klimaatscenario's niet middelen: klimaatscenario's zijn bedoeld om informatie over onzekerheden te geven;
- Bekijk de impact en adaptatiemogelijkheden van meerdere klimaatscenario's: dit geeft informatie over de robuustheid van adaptatie. Maatregelen die goed werken voor alle vier de scenario's zijn robuust;
- Bedenk welk klimaatscenario het meest relevant is: voor stedelijk waterbeheer is het W-scenario met de grootste toename van extreme neerslag het meest relevant, voor landbouw en natuur is het W+scenario met veel drogere zomers het meest relevant;
- De kaarten over veranderingen in klimaatvariabelen geven niet direct informatie over afgeleide effecten: een kaart over neerslag geeft bijv. niet aan waar wateroverlast optreed;
- De kaarten zijn bedoeld voor de beeldvorming over regionale verschillen in klimaat, maar ze zijn niet direct bedoeld voor planvorming.

1 INLEIDING

3.1 Achtergrond en doel van dit klimaatschetsboek

De provinciale schetsboeken uit 2007-2008 bevatten regiospecifieke informatie over primaire en secundaire gevolgen van klimaatverandering. Deze zijn in opdracht van een achttal provincies klimaateffectschetsboeken opgesteld door een consortium bestaande uit KNMI, Alterra en DHV met financiële ondersteuning vanuit Klimaat voor Ruimte. Deze schetsboeken hebben bijgedragen aan bewustwording en agendering van het klimaatprobleem bij de verschillende provincies. Bij de provinciale klimaateffectschetsboeken is ook een eerste opzet voor een geodatabase geleverd met klimatologische gegevens. De verwachting is dat een dergelijke database het vergelijken van studies van de individuele provincies vergemakkelijkt, maar ook het afstemmen van ruimtelijke maatregelen.

De provincies kijken in IPO-verband (InterProvinciaal Overleg) in samenwerking met de BSIK programma's Klimaat voor Ruimte en Ruimte voor Geo-informatie naar een vervolg op de provinciale klimaateffectschetsboeken. Dit project ("Van schetsboek naar klimaateffectatlas") richt zich op het creëren een gemeenschappelijke kennisbasis op het gebied van klimaatverandering en de effecten daarvan op verschillende sectoren en het vergroten van de inzetbaarheid van de schetsboekinformatie binnen plan- en beleidsprocessen van de provincies. Dit klimaatschetsboek en de bijgeleverde kaarten in het Geoportaal Klimaateffectatlas (zie Goosen et al., 2009) zijn een update en uitbreiding van de provinciale klimaateffectschetsboeken: ze beschrijven het huidige en toekomstige klimaat voor heel Nederland ("de primaire effecten van klimaatverandering").

3.2 Synergie met andere ontwikkelingen

Adaptatieprogramma Ruimte en Klimaat (ARK)

Bij veel overheden bestaat de wens om bij ruimtelijke beslissingen meer expliciet rekening te houden met de gevolgen van klimaatveranderingen. Een van de acties gedefinieerd in de adaptatiestrategie voortgekomen uit het ARK programma in 2007 is het ontwikkelen van een afwegingskader ten behoeve van het toetsen van ruimtelijke ontwikkelingen. Met dit klimaatschetsboek, de provinciale klimaateffectschetsboeken en het te ontwikkelen Geoportaal (Goosen et al., 2009) leggen de provincies een gemeenschappelijke en eenduidige kennisbasis aan om klimaatverandering vroegtijdig mee te kunnen nemen in zowel planvorming als plantoetsing. Uit het ARK-project "Afwegingskader" komt een "Klimaatwijzer" voort. Een van de componenten van die klimaatwijzer is de klimaateffectatlas die provincies moet helpen bij het vormgeven van adaptatiestrategieën.

Klimaat voor Ruimte en Kennis voor Klimaat

In 2004 is het onderzoeksprogramma Klimaat voor Ruimte (KvR) gestart. Het hoofddoel van KvR is om kennis te ontwikkelen die nodig is voor een klimaatbestendigere inrichting van Nederland. Binnen dit programma wordt o.a. onderzoek verricht naar effecten van klimaatverandering en mogelijke adaptatiemaatregelen. Een deel van de projecten loopt tot 2009 een ander deel tot 2011. Kennis voor Klimaat (KvK) is een onderzoeksprogramma dat is gestart in 2008 en dat in het verlengde ligt van KvR. Het richt zich meer op de toepassing van de kennis in de praktijk (in 8 hotspots). KvK ontwikkelt activiteiten ter ondersteuning van de ontwikkeling en uitvoering van de Nationale Adaptatie Strategie (NAS), onder meer in het project "Bouwstenen NAS". KvR plant in het kader van het "Plan van Aanpak Inbedding Advies Midterm Evaluatie in het Klimaat voor Ruimte Programma" eveneens activiteiten ter ondersteuning van dat beleid. Het PlanBureau voor de Leefomgeving werkt samen met KvK aan de studie "Wegen naar een Klimaatbestendig Nederland". Het doel van die activiteiten is het aanreiken van tools en bouwstenen, die rijksoverheid, provincies, gemeenten, waterschappen en hotspots helpen bij het

vormgeven van adaptatiestrategieën om Nederland klimaatbestendig te maken. Als onderdeel van het KvK programma wordt er een Klimaat Kennis Faciliteit (KKF) opgericht. Binnen deze KKF wordt getracht de kennis en modellen van verschillende kennisinstellingen met betrekking tot effecten van klimaatverandering en adaptatiestrategieën goed op elkaar af te stemmen.

KNMI Klimaatatlas 1980-2010

Elke 10 jaar maakt het KNMI een overzicht van het klimaat van de afgelopen 30 jaar: gemiddelden, hoogste en laagste waarden, verschillen door het jaar, etc. De meest recente Klimaatatlas beschrijft de periode 1971-2000. Deze gegevens worden vaak als referentie gebruikt voor het huidige klimaat ("wat is normaal voor de tijd van het jaar?"). De eerste voorbereidingen voor de nieuwe atlas worden nu al gemaakt (voorzien voor 2011). Tevens wordt er gedacht over het maken van een dergelijke klimaatatlas voor de toekomst. Ervaringen uit o.a. dit project zullen daarin worden meegenomen.

Toekomstige klimaatscenario's

De wetenschap ontwikkelt telkens nieuwe kennis over het klimaatsysteem (de KNMI'06 scenario's bevatten nieuwe informatie t.o.v. de WB21 die in 2000 werden opgesteld ten behoeve van WaterBeheer 21^e eeuw). Gebaseerd op deze kennis worden geactualiseerde projecties gemaakt van de regionale klimaatveranderingen die samenhangen met de wereldwijde opwarming. Deze projecties vormen de basis voor een toekomstige generatie klimaatscenario's voor Nederland. Een nieuwe generatie van geactualiseerde klimaatscenario's voor Nederland zal rond 2013 beschikbaar komen.

3.3 Verschillen met provinciale klimaateffetschetsboeken

Doel van dit klimaatschetsboek is het leveren van een update van de provinciale klimaateffetschetsboeken en het uitbreiden van de informatie over de primaire effecten van klimaatverandering (temperatuur, neerslag, neerslagtekort, wind, zonneshijn, en zeespiegel) voor heel Nederland. De secundaire effecten van klimaatverandering, zoals de invloed op waterbeheer, natuur, etc. worden in dit klimaatschetsboek niet behandeld.

Ter informatie hier een kort overzicht van de verschillen en aanvullende informatie in dit klimaatschetsboek voor Nederland ten opzichte van de eerdere provinciale klimaateffetschetsboeken:

- Alleen primaire effecten klimaatverandering;
- Kaarten en klimaatdata voor heel Nederland en niet per provincie;
- Kaarten voor de G, W, G+ en W+ klimaatscenario's en niet alleen voor W en W+;
- Kaarten en data voor 2020, 2050 en 2100 (en data voor 2030 in bijbehorende Excel-documenten), waarmee het verloop in de tijd geïllustreerd kan worden en niet alleen voor 2050;
- Nieuwe kaarten voor het neerslagtekort;
- Informatie over jaar-op-jaar variatie (80% waarschijnlijke range) en niet alleen de gemiddelden;
- Data voor afzonderlijke stations nu bijgeleverd (zie o.a. bijlage 4);
- Informatie over de positie van het "Deltacommissie-scenario" t.o.v. KNMI'06 scenario's en de volgende generatie klimaatscenario's;
- Informatie over nieuw onderzoek m.b.t. het huidige klimaat: "Toestand van het klimaat 2008", hevige neerslag in Augustus 2006, piekneerslag per uur, ruimtelijke variatie neerslagextremen;
- Extra informatie voor de toekomst: ruimtelijke verdeling neerslagtekort en neerslag (kusteffect in de neerslag).
- Aandacht voor hoe klimaatscenario's kunnen worden gebruikt.

3 INTRODUCTIE KLIMAAT EN KLIMAAT-VERANDERING

3.1 Klimaatverandering en het broeikaseffect

Wat is klimaat?

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

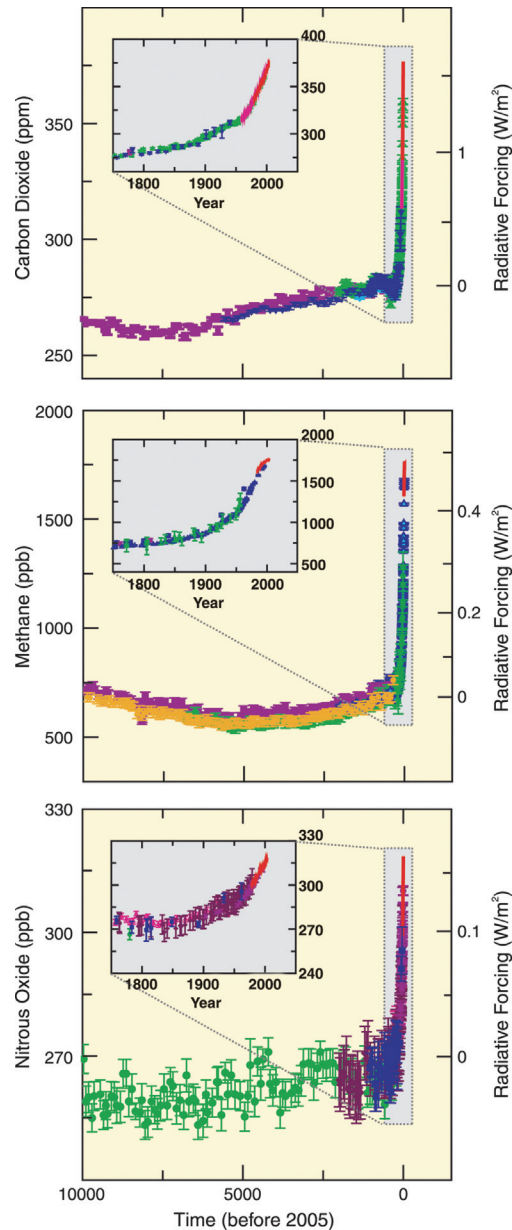
Het klimaat op aarde is dynamisch en is sinds het ontstaan van de aarde continu veranderd. De oorzaken van klimaatverandering kunnen in twee groepen worden ingedeeld:

- 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.

Wat is het broeikaseffect?¹

Zonnestraling warmt de aarde op en de aarde straalt weer warmte uit. Hoe sterk 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. Daardoor ligt de gemiddelde temperatuur op aarde rond de 15 °C en niet rond de -18 °C. Door de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer wordt het natuurlijke broeikaseffect versterkt. Sinds het pre-industriële tijdperk (ong. 1860) is de concentratie van CO₂, CH₄ en N₂O door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 2.1; IPCC, 2007).

¹ Voor meer informatie zie o.a. http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect/



Figuur 2.1. Verandering van de concentraties CO₂ (boven), methaan (CH₄, midden), en N₂O (onder) in de afgelopen 10.000 jaar (IPCC, 2007).

3.2 Klimaatscenario's

Wat zijn klimaatscenario's?²

Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze geven in samenhang 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.

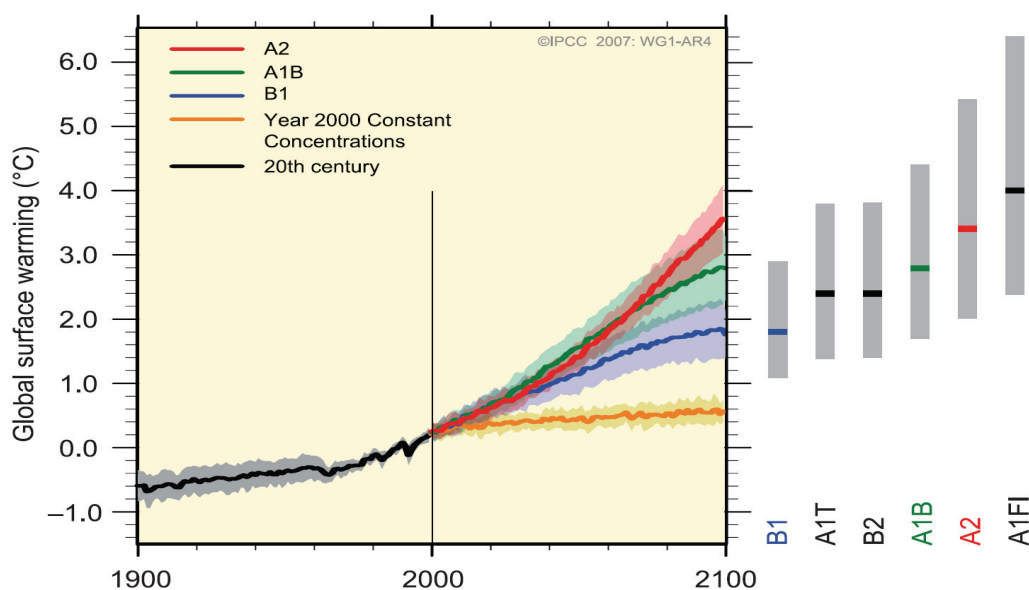
Mondiale en regionale klimaatscenario's

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)³ produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatscenario's voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's, dat wil

² Voor meer informatie zie o.a. <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/>

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

De mondiale klimaatscenario's (Figuur 2.2) 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 21^{ste} 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.



Figuur 2.2. De IPCC-projecties 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).

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 klimaatscenario's⁴ is daarom op deze twee aspecten gebaseerd (Figuur 2.3).

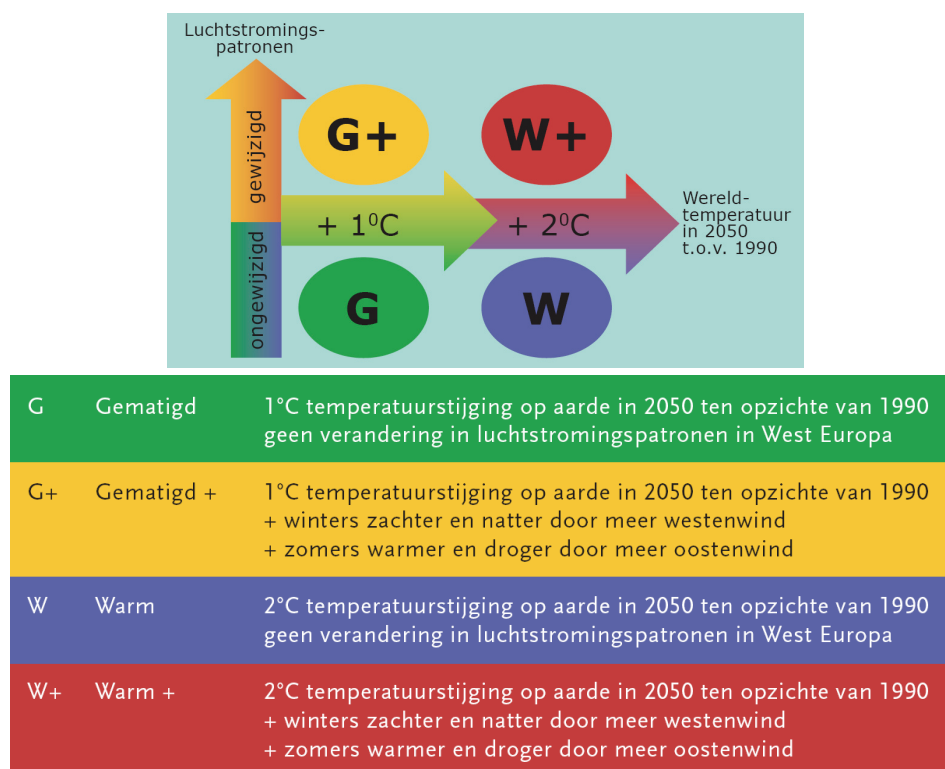
Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatscenario's zijn:

- Opwarming zet door;
- Winters gemiddeld natter;

³ 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).

⁴ Voor een uitgebreidere beschrijving van deze klimaatscenario's wordt verwezen naar de brochure 'Klimaat in de 21^{ste} eeuw: vier scenario's voor Nederland' (KNMI, 2006) het bijbehorende wetenschappelijke achtergrondrapport (van den Hurk et al, 2006) en de website www.knmi.nl/klimaatscenarios/.

- Heviger extreme zomerbuien;
- Veranderingen in het windklimaat klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- Zeespiegel blijft stijgen.



Figuur 2.3. Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's en legenda.

Samen geven deze KNMI'06 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.

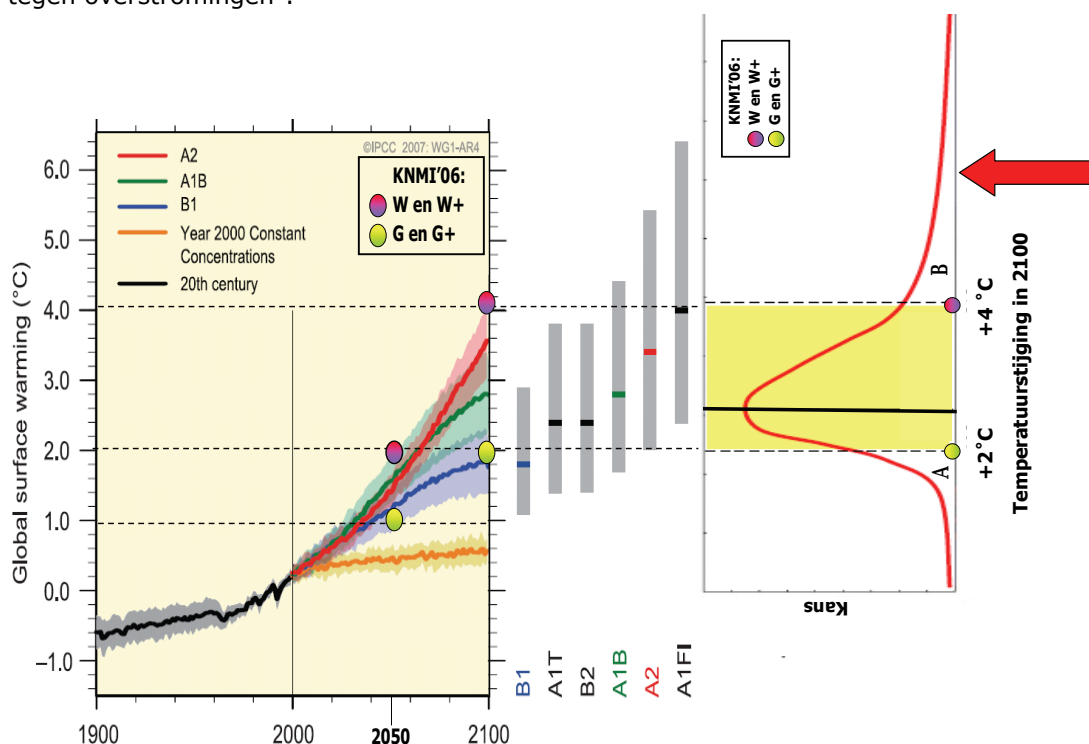
Deltacommissie en de KNMI'06 klimaatscenario's⁵

De precieze toekomstige klimaatverandering in Nederland is onzeker. Er bestaat een kans dat de klimaatverandering nog extremer zal verlopen dan beschreven in de KNMI'06 scenario's⁶. Dat hangt o.a. af van de ontwikkeling van de wereldbevolking en de - economie, en van het gebruik van fossiele brandstoffen. Bij het klimaatbestendig maken van ons land kan het belangrijk zijn, afhankelijk van het type investering en de termijn waarvoor die geldt, om rekening te houden met aanvullende, meer extreme klimaatscenario's.

⁵ Zie voor meer informatie: <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/aanvullend/DC/index.php>. Dit rapport heeft veel media-aandacht gekregen en voor vragen gezorgd, vandaar dat er in dit schetsboek uitgebreid op ingegaan wordt.

⁶ Snellere klimaatverandering zou kunnen optreden door verschillende oorzaken: 1. snellere stijging van de uitstoot van broeikasgassen dan nu meegenomen in studies naar klimaatverandering; 2. een grotere gevoeligheid van het klimaatsysteem voor broeikasgassen dan waarmee nu gerekend wordt in klimaatmodellen; en/of 3. terugkoppelingen die het effect van de uitstoot van broeikasgassen versterken en die nu nog niet of niet volledig meegenomen worden in klimaatmodellen.

Het Deltacommissie-scenario⁷ is een voorbeeld van een aanvullend scenario voor een specifieke toepassing. Voor lange termijn investeringen in de kustverdediging waar grote risico's mee zijn gemoeid, spelen gebeurtenissen met een kleine kans en grote gevolgen een belangrijke rol. Vanuit die optiek is op verzoek van de Deltacommissie de mondiale zeespiegelstijging en de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust voor de jaren 2100 en 2200 opnieuw onderzocht en is opnieuw gekeken naar het toekomstige wind- en neerslagklimaat. Het KNMI heeft hieraan een belangrijke bijdrage geleverd. In dit onderzoek is vooral veel aandacht besteed aan "plausibele bovengrenzen" voor toekomstige zeespiegelstijging, gekoppeld aan de primaire opdracht van de commissie: "Hoe kan Nederland zo worden ingericht dat ons land ook op de zeer lange termijn veilig is tegen overstromingen".



Figuur 2.4 Links: 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 en in de zeespiegelprojecties voor de Deltacommissie (rode pijl). 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+.

Rechts: Schematische weergave van het aantal keren ("kans") dat een bepaalde mondiale temperatuurstijging wordt gesimuleerd, waarbij alle emissiescenario's en alle klimaatmodellen zijn meegenomen. 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 uit figuur links.

Voor de zeespiegelstijging is een extreem scenario ontwikkeld uitgaande van nieuwe inzichten in ijskapdynamica en een wereldgemiddelde temperatuurstijging tot +6°C in 2100 (KNMI'06 scenario's: +2°C en +4°C; zie ook figuur 2.4). Dat komt overeen met de "waarschijnlijke" bovengrens bij broeikasgasemissies die horen bij een wereldbeeld met

⁷ Het Deltacommissie scenario is geen klimaatscenario in dezelfde zin zoals de KNMI'06 scenario's. In de KNMI'06 scenario's zijn de getallen voor de verschillende klimaatvariabelen onderling op elkaar afgestemd en wordt binnen elk scenario van dezelfde wereldgemiddelde temperatuurstijging uitgegaan. Bij de Deltacommissie wordt voor de zeespiegelstijging van een andere stijging van de wereldgemiddelde temperatuur uitgegaan dan voor bijv. de rivierwaterstanden in 2100. Zie ook KNMI (2009; Aanvullingen op de KNMI'06 klimaatscenario's).

hoge economische groei en een ruim, wereldwijd gebruik van fossiele brandstoffen, in het bijzonder steenkool (ofwel het hoogste emissiescenario van het Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, aangeduid als A1FI). De Deltacommissie heeft geen afzonderlijk scenario opgesteld voor 2050. De zeespiegelstijging tot 2050 wordt sterk beperkt door het huidige tempo van stijging. Pas na 2050 neemt de onzekerheid en dus de mogelijkheid van extreme zeespiegelstijging toe.

Tabel 2.1. Overzicht verschillen tussen de KNMI'06 scenario's en het Deltacommissie scenario.

Deltacommissie scenario	KNMI'06 scenario's
"Plausibele bovengrens" van de mogelijkheden	<u>Bandbreedte van meest waarschijnlijke uitkomsten</u>
<u>Specifiek voor het doel van deze commissie</u> : lange termijn veiligheid tegen overstromingen	<u>Algemeen voor iedereen</u> : brede range van toepassingen
Gericht op 2100 en daarna	Gericht op 2050 en 2100
Uitgegaan van IPCC " <u>likely</u> " <u>bovengrens voor wereldtemperatuurstijging</u> (+6°C in 2100 t.o.v. 1990)	Uitgegaan van IPCC " <u>best estimates</u> " voor <u>wereldtemperatuurstijging</u> (+2°C of +4° in 2100 t.o.v. 1990)
Extreme extrapolatie onzekerheden ijskapdynamica	Minder extreme extrapolatie onzekerheden ijskapdynamica
↓	↓
Maximale zeespiegelstijging in 2100 van 120 cm (excl. 10 cm bodemdaling)	Hoogste scenario voor zeespiegelstijging in 2100 is 85 cm (excl. bodemdaling)

Volgende generatie klimaatscenario's voor Nederland

De wetenschap ontwikkelt telkens nieuwe kennis over het klimaatsysteem. Gebaseerd op deze kennis worden geactualiseerde projecties gemaakt van de klimaatveranderingen die samenhangen met de wereldwijde opwarming. Deze projecties vormen de basis voor een toekomstige generatie klimaatscenario's voor Nederland.

Voor het maken van regionale klimaatscenario's is veel informatie uit mondiale en regionale klimaatmodellen nodig. In de aanloop naar het volgende assessment report van het IPCC zullen veel gegevens uit mondiale klimaatmodellen beschikbaar komen, naar nu voorzien rond 2012. Nieuwe klimaatscenario's voor Nederland worden dan rond 2013 verwacht (KNMI, 2009).

3.3 Omgaan met onzekerheden over de toekomst

Welke onzekerheden zijn er?

We weten zeker dat er een broeikaseffect is en dat door menselijk toedoen de concentraties van broeikasgassen zijn toegenomen (IPCC, 2007). We weten echter niet hoe sterk ons 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 2.3 en 2.4). 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 Fig. 2.2) 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 Fig. 2.2). De KNMI'06 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk. Gezien de temperatuurstijgingen in het verleden in Nederland, lijken de temperatuurstijgingen in Nederland in de W en W+ scenario's waarschijnlijker dan in de G en G+ scenario's.

Presentatie onzekerheden in dit klimaatschetsboek

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 (Fig. 2.3; zie ook "Relatie met sociaal-economische scenario's" verderop in de tekst) te gebruiken en deze te vergelijken met de huidige situatie. In dit rapport zullen uit praktische overwegingen vooral kaarten worden gepresenteerd voor de huidige situatie en voor de scenario's W en W+. In tabellen/bijlagen en een beperkt aantal figuren worden gegevens voor G en G+ wel 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). Dit betekent dat beleid⁸ dat gericht is op het W en W+ scenario zich in snelheid zal onderscheiden van beleid gericht op het G en G+ scenario. Met andere woorden, als het adaptatiebeleid is gebaseerd op de W en W+ scenario, en de klimaatverandering gaat minder snel dan geeft dit meer tijd voor het uitvoeren van het beleid. Het omgekeerde geldt ook.

⁸ Aan het eind van par. 2.4 wordt meer ingegaan om de relatie van klimaatscenario's met sociaal-economische scenario's (en daarmee op de link naar beleid).

3.4 Suggesties voor gebruik van klimaatscenario's

Bij het gebruik van de scenario's is het belangrijk het doel goed voor ogen te houden. Hieronder worden enkele aanwijzingen gegeven voor het gebruik van klimaatscenario's voor verschillende doeleinden.

Impactstudies en adaptatiestudies

De vier KNMI'06 klimaatscenario's zijn zo gekozen dat ze met 4 "hoekpunten" een groot deel van de mogelijke toekomst opspannen. Gezien de doelstelling van impact- en adaptatiestudies is het in de meeste gevallen zinvol om alle vier de scenario's te gebruiken. Door de scenario's te vergelijken, kan men ook bepalen hoe robuust verschillende adaptatiemaatregelen zijn. Maatregelen die goed werken voor alle vier de scenario's zijn interessant voor beleidsmakers.

Voor een verkenning van de mogelijke invloed van klimaatverandering kan men ook kijken naar mogelijke "omslagpunten", waarbij wordt gekeken in welke situaties het huidige waterbeheer en/of -beleid niet langer houdbaar is (RWS-Waterdienst/Deltares, 2008). In een tweede fase kan men dan m.b.v. klimaatscenario's kijken wanneer die omslagpunten bereikt kunnen worden.

In specifieke situaties kan het voorkomen dat de informatie in de vier KNMI'06 klimaatscenario's niet voldoende is. Een voorbeeld hiervan is de hierboven genoemde Deltacommissie. In deze gevallen kan er gekeken worden of er andere klimaatscenario's op maat gemaakt kunnen worden.

Beleid en strategie

Idealiter spelen de resultaten van de hierboven genoemde typen onderzoek een rol bij het opstellen van beleid en strategie. In deze fase wordt vaak een keuze voor 1 of meerdere klimaatscenario's gemaakt om adaptatie- en/of mitigatie-maatregelen op af te stemmen. De keuze voor één of meerdere klimaatscenario's kan bepaald worden door onder andere:

- wat is maatschappelijk gezien mogelijk (bijv. vanwege de kosten nu en in de toekomst, of mogelijkheden voor gedragsverandering);
- wat zijn mogelijke gevolgen van klimaatverandering (bijv. welke temperatuurstijging wordt gezien als gevaarlijk voor de samenleving of voor een bepaalde sector, of hoe groot is de schade bij een overstroming?);
- wat zijn de mogelijkheden om later het beleid bij te stellen bij een "verkeerde keuze" (bijv. is er over 25 jaar nog ruimte om de dijken te verzwaren als de temperatuur, en daarmee samenhangend de neerslagextremen, sterker stijgen dan eerst aangenomen?);
- wat zijn de vergeefs gemaakte kosten als de klimaatverandering minder sterk is dan eerst aangenomen, of wat zijn de extra kosten als de klimaatverandering sterker is dan eerder aangenomen?
- hoe snel kunnen verdere aanpassingsmaatregelen uitgevoerd worden (bijv. het ophogen van zeedijken kost meer tijd en geld dan het opspuiten van het strand);
- welke scenario's worden waarschijnlijker geacht (bijv. als men veronderstelt dat de wereld zich zal ontwikkelen volgens het IPCC-wereldbeeld A2, dan wordt een sterke temperatuurstijging ook waarschijnlijker geacht);
- welke scenario's zijn het meest relevant (bijv. industrieën die oppervlaktewater als koelwater gebruiken, zullen waarschijnlijk meer geïnteresseerd zijn in de G+ en W+ scenario's met een sterke vermindering van de zomerneerslag, en samenhangend een groter risico op een tekort aan koelwater).

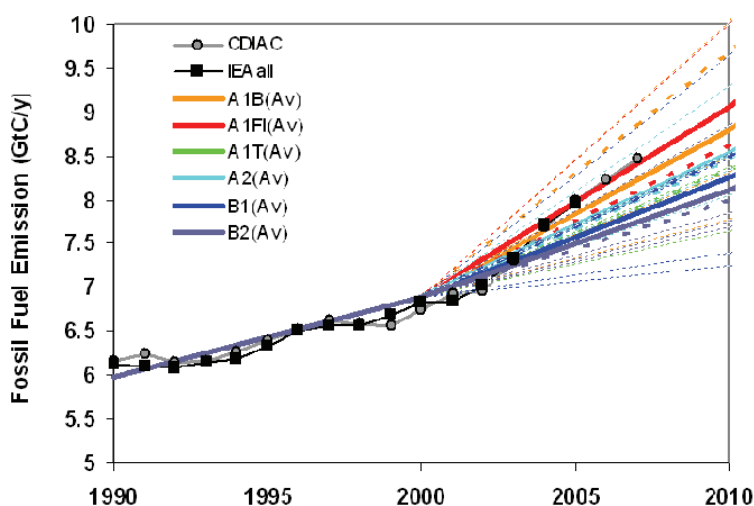
Het bovenstaande lijstje kan worden gebruikt als checklist, om te bepalen welke aspecten meegenomen kunnen worden. De lijst is echter niet volledig. Uit de bovenstaande lijst blijkt ook dat er bij het kiezen van een klimaatscenario als basis voor beleid veel meer meespeelt dan de natuurwetenschappelijke kennis over klimaatverandering en de afgeleide effecten daarvan.

De regiegroep Landelijk Bestuurlijk Overleg Water (LBOW) heeft een werkgroep "klimaatsscenario's" opgericht. Van Vuren & Kwadijk (2007) hebben hiervoor per beleidsthema proberen antwoord te geven op de vraag "Veronderstel dat wordt uitgegaan van één van de WB21-scenario's, maar op termijn blijkt dat het één van de KNMI'06-scenario's werkelijkheid wordt, wat zijn dan voor het beleid de risico's"? De criteria die hiervoor gebruikt zijn, zijn het risico op het niet halen van beleidsdoelen, het risico dat er over gedimensioneerd is (dat er te veel geld is uitgegeven) en het risico dat er op termijn extra maatregelen nodig zullen zijn.

In het nationale Adaptatieprogramma Ruimte en Klimaat (ARK) werken overheden samen om Nederland klimaatbestendiger te maken. De adaptatiestrategie "Maak ruimte voor klimaat!" van oktober 2007 biedt hiervoor het nationale kader. Eén van de acties die volgen uit de strategie is het "ontwikkelen van een afwegingskader met bijbehorende criteria voor klimaatbestendigheid ten behoeve van het toetsen van ruimtelijke ontwikkelingen". De onderzoeksprogramma's Leven met Water, Klimaat voor Ruimte en Habiforum hebben in de periode oktober 2007 tot februari 2008 een definitiestudie Afwegingskader uitgevoerd. Het eindrapport "Naar een klimaatbestendig Nederland" geeft inzicht in welke aspecten van belang zijn bij het afwegen van adaptatiemaatregelen in het besluitvormingsproces van de ruimtelijke ordening. De resultaten laten zien op welke wijze adaptatiemaatregelen meegenomen kunnen worden in de beleidsontwikkeling en planvorming. In een tweede fase staat de praktische doorwerking van een afwegingskader voor klimaatbestendigheid centraal. Hiervoor wordt o.a. een casestudy uitgevoerd met de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland en Zeeland. De casestudies moet meer inzicht opleveren in de vraag hoe provincies afwegingen kunnen maken in de ruimtelijke ordening in relatie tot klimaatbestendigheid.

Waarschijnlijkheid en relevantie

Het IPCC geeft niet aan welke van de onderliggende emissiescenario's waarschijnlijker is dan andere emissiescenario's (zie ook "Relatie met sociaal-economische scenario's" hieronder). De KNMI'06 klimaatsscenario's zijn wel waarschijnlijk genoeg om te worden gebruikt in impactstudies of als basis voor beleid⁹. Momenteel zijn de CO₂ emissies hoger dan in het hoogste IPCC-emissie scenario (Fig. 2.5). Vergelijking is lastig, omdat de IPCC-emissiescenario's langjarige gemiddelden geven, en de huidige emissies per jaar worden weergegeven.



Figuur 2.5. Emissies van CO₂ in de afgelopen jaren (=Fossil Fuel Emission, in gigaton C/jaar volgens CDIAC en IEA all), vergeleken met de belangrijkste emissiescenario's van het IPCC (Bron: Raupauch et al., 2007).

⁹ De temperatuurstijgingen in de W en W+ scenario's in Nederland lijken wel waarschijnlijker dan die in de G en G+-scenario's, gezien de snelle temperatuurstijging in Nederland en omgeving t.o.v. de wereldgemiddelde temperatuur (zie par. 3.2)

Wat het meest waarschijnlijke klimaatscenario is, is ook voor lang niet alle gebruikers relevant. Sommige gebruikers zijn juist in extremen geïnteresseerd, die per definitie weinig voorkomen en dus minder waarschijnlijk zijn. Voor sommige gebruikers is ook een andere tijdshorizon relevant dan voor anderen. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven waar welk KNMI'06 scenario en welke tijdshorizon het meest relevant zou kunnen zijn:

- In steden treed vooral wateroverlast op door hevige buien. Deze komen met name in de zomer voor. Het W-scenario heeft de grootste toename van de extreme zomerbuien;
- De landbouwproductie wordt beïnvloed door de beschikbaarheid van water in het groeiseizoen, met name de zomer. In het W+-scenario is de afname van de neerslag het grootst en tevens de toename van de waterbehoefte voor verdamping het grootst;
- In geval van koude winters moet er voldoende gas geleverd kunnen worden voor verwarming van huizen en gebouwen. De benodigde hoeveelheid gas kan niet allemaal op dezelfde koude dag geproduceerd worden, vandaar dat er voorraden aangelegd worden. In het G-scenario stijgt de wintertemperatuur het minst en is de behoefte aan gas voor verwarming het hoogst;
- Rioleringsbuizen gaan vaak voor 40-80 jaar de grond in. Om het rioleringsstelsel aan het eind van de levensduur ook nog goed te laten functioneren is het relevant om 40-80 jaar vooruit te kijken;
- De economische afschrijvingsduur van veel installaties in de petroleumindustrie is 20 jaar. Een tijdshorizon van 2030 is dan relevant.

Relatie met sociaal-economische scenario's van het IPCC

Beleidsmakers gebruiken ook informatie over sociaal-economische en technologische ontwikkelingen. Deze bieden vaak aanknopingspunten voor beleid. Daarom is het belangrijk aan te geven hoe de sociaal-economische scenario's staan t.o.v. de klimaatscenario's.

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) produceert ongeveer elke 5 jaar mondiale klimaatscenario's. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's, d.w.z. aannames over de uitstoot van broeikasgassen voor verschillende sociaal-economische scenario's, ook wel wereldbeelden genoemd. De bijbehorende emissie-scenario's worden gebruikt als input voor klimaatmodellen, die vervolgens projecties geven van mogelijke klimaatveranderingen (zie ook figuur 2.4).

Per wereldbeeld is er een grote range aan mogelijke temperatuurstijgingen, die elkaar grotendeels overlappen. Vooral voor tijdshorizonten tot 2050 is het moeilijk om de verschillende wereldbeelden te onderscheiden op basis van mogelijke temperatuurstijgingen. Als uitgangspunt voor de indeling van de klimaatscenario's heeft het KNMI daarom gekozen voor verschillende temperatuurstijgingen i.p.v. voor wereldbeelden als basis voor de indeling van klimaatscenario's.

De wereldbeelden van het IPCC kunnen dus niet 1 op 1 aan de KNMI-klimaatscenario's gekoppeld worden. Echter, de klimaatscenario's G en G+, met een beperkte mondiale temperatuurstijging, passen beter bij de wereldbeelden B1 en B2 (beperkte broeikasgasuitstoot) en de klimaatscenario's W en W+, met een sterkere mondiale temperatuurstijging, passen beter bij de wereldbeelden A1(FI) en A2.

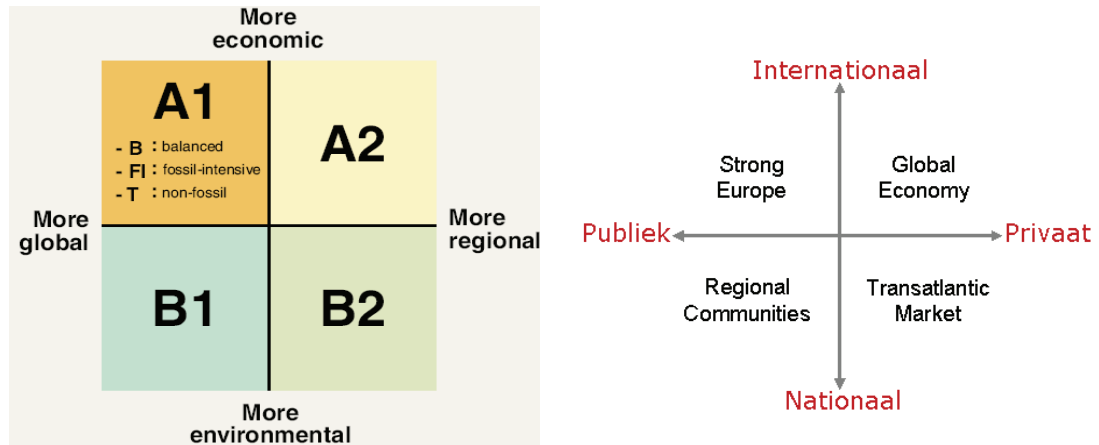
Relatie met sociaal-economische scenario's in Nederland

In de studie "Welvaart en Leefomgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040" (CPB/MNP/RPB, 2006) worden 4 wereldbeelden voor Nederland gepresenteerd. Deze studie gaat uit van vier scenario's die geordend zijn rond twee sleutelonzekerheden:

- de bereidheid om internationaal samen te werken: de Europese Unie en mondiale samenwerking zijn belangrijk. Dit uit zich onder andere in internationaal milieubeleid en handelsliberalisatie;

- de mate van hervorming van de collectieve sector. Hierbij gaat het om de keuze tussen collectieve dan wel private goederen en diensten en om de loonongelijkheid.


















Deze sturende variabelen zijn vergelijkbaar met de sturende variabelen van het IPCC. In Figuur 2.6 worden de indelingen in wereldbeelden met elkaar vergeleken.



Figuur 2.6. Indeling van de sociaal-economische scenario's van het IPCC (links) en in de WLO studie (rechts).

Het IPCC wereldbeeld A1 komt het meest overeen met "Global Economy" uit de WLO-studie, A2 komt het meest overeen met "Transatlantic Market", B1 met "Strong Europe", en B2 met "Regional Communities". De klimaatscenario's G en G+, met een beperkte mondiale temperatuurstijging, passen daarom beter bij de wereldbeelden "Strong Europe" en "Regional Communities" en de klimaatscenario's W en W+, met een sterkere mondiale temperatuurstijging, passen beter bij de wereldbeelden "Global Economy" en "Transatlantic Market" (zie ook <http://www.welvaartenleefomgeving.nl/scenario.html>).

Tabel 3.1. Schematisch overzicht van de trends in klimaatvariabelen, behandeld in hoofdstuk 3 van het klimaatschetsboek voor Nederland.

Klimaatvariabele		Trend tot 2100	Toelichting
Temperatuur: par. 3.2			
Gemiddelde temperatuur Gem. maximum temperatuur Gem. minimum temperatuur	jaar		geringste toename in G, grootste toename in W+
	winter		
	lente		
	zomer		
	herfst		
aantal ijsdagen		geringste afname in G, grootste afname in W+	
aantal vorstdagen			
aantal warme dagen		geringste toename in G, grootste toename in W+	
aantal zomerse dagen			
aantal tropische dagen			
Neerslag: par. 3.3			
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. 3.4			
Neerslagtekort	zomer-halfjaar	 	Nauwelijks verandering in gemiddelde en extremen in G en W Duidelijke toename in G+ en W+
Zonneschijn/Straling: par. 3.5			
Gemiddelde straling		 	Nauwelijks verandering in G en W Toename in zomer in G+ en W+
Wind: par. 3.6			
Maximale daggemiddelde windsnelheid die eens per jaar voorkomt		 	In alle scenario's geringe verandering ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie
Zeespiegel: par. 3.7			
Zeespiegelstijging			geringste toename in G/G+, grootste toename in W/W+

3 PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN

3.1 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 omliggende 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. De contourlijnen zijn echter geen exacte scheidingen.

Verder is het belangrijk om te beseffen dat er vaak 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 2):

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

Het bovenstaande betekent dat:

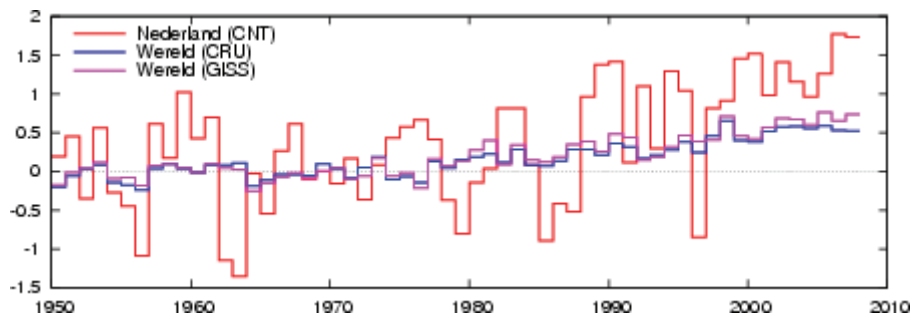
- de kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- de kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen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

3.2 Temperatuur

3.2.1 Gemiddelde temperaturen

Huidige trends

De gemodelleerde stijging van de wereldgemiddelde temperatuur stemt tot op heden goed overeen met de waargenomen stijging (KNMI, 2008). De opwarming van het klimaat gaat echter niet overal even snel. Nederland is sinds 1950 twee maal zo snel opgewarmd als de wereldgemiddelde temperatuur (figuur 3.1). Die snellere opwarming wordt hoogst waarschijnlijk niet volledig veroorzaakt door natuurlijke schommelingen (KNMI, 2008).



Figuur 3.1. Jaargemiddelde temperatuur (afwijking van 1951-1980) in Nederland (rood) en wereldgemiddeld (blauw en roze). Bron: KNMI, CRU/Hadley Centre, NASA/GISS.

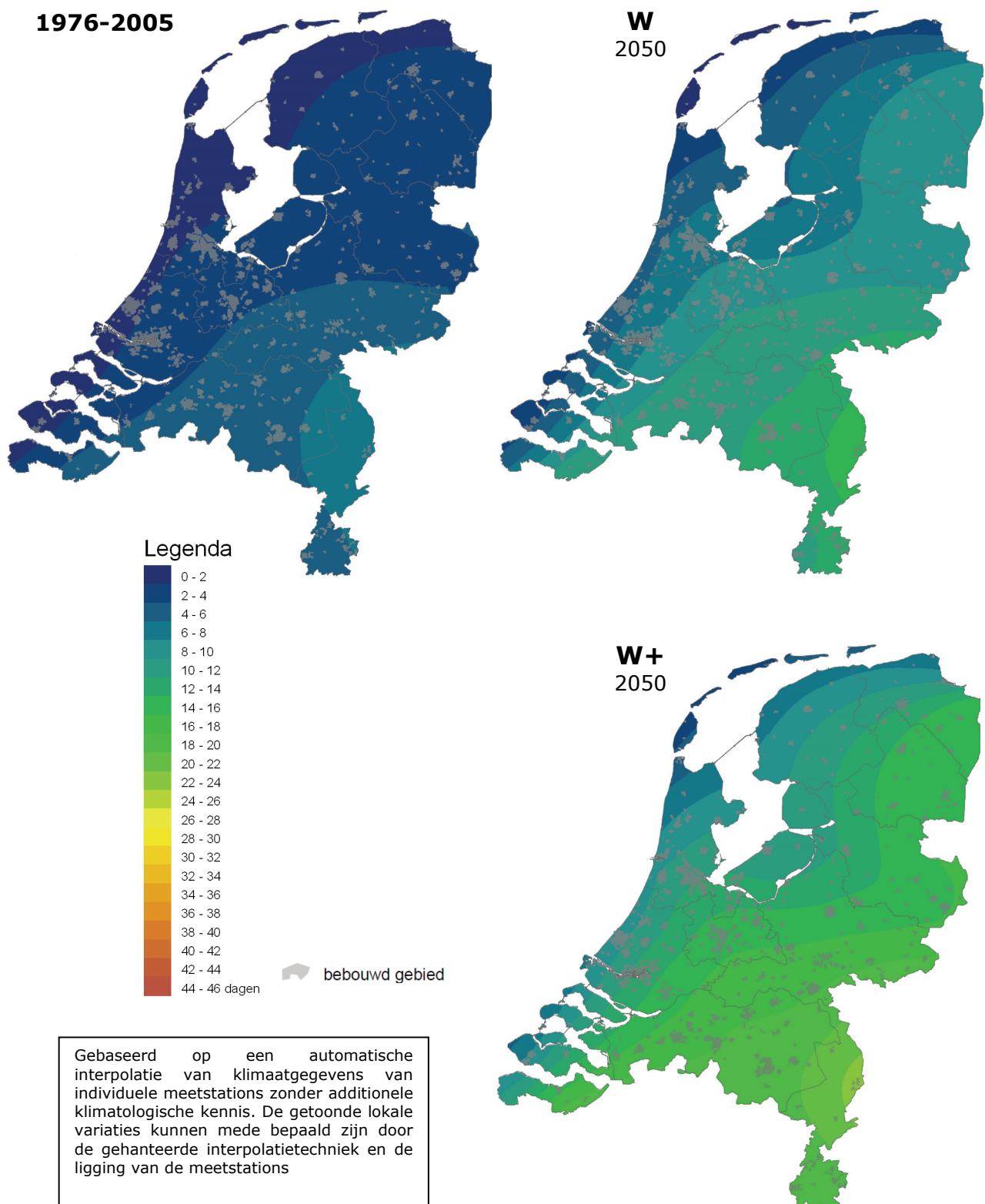
Toekomstige trends

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 voornamelijk gelijk gehouden aan de huidige situatie (zie Bijlage 4). Voor 2020 zijn de temperatuurstijgingen de helft van de getallen voor 2050. Voor het klimaat rond 2100 zijn de temperatuurstijgingen 2 maal zo groot 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 temperatuurstijging 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).

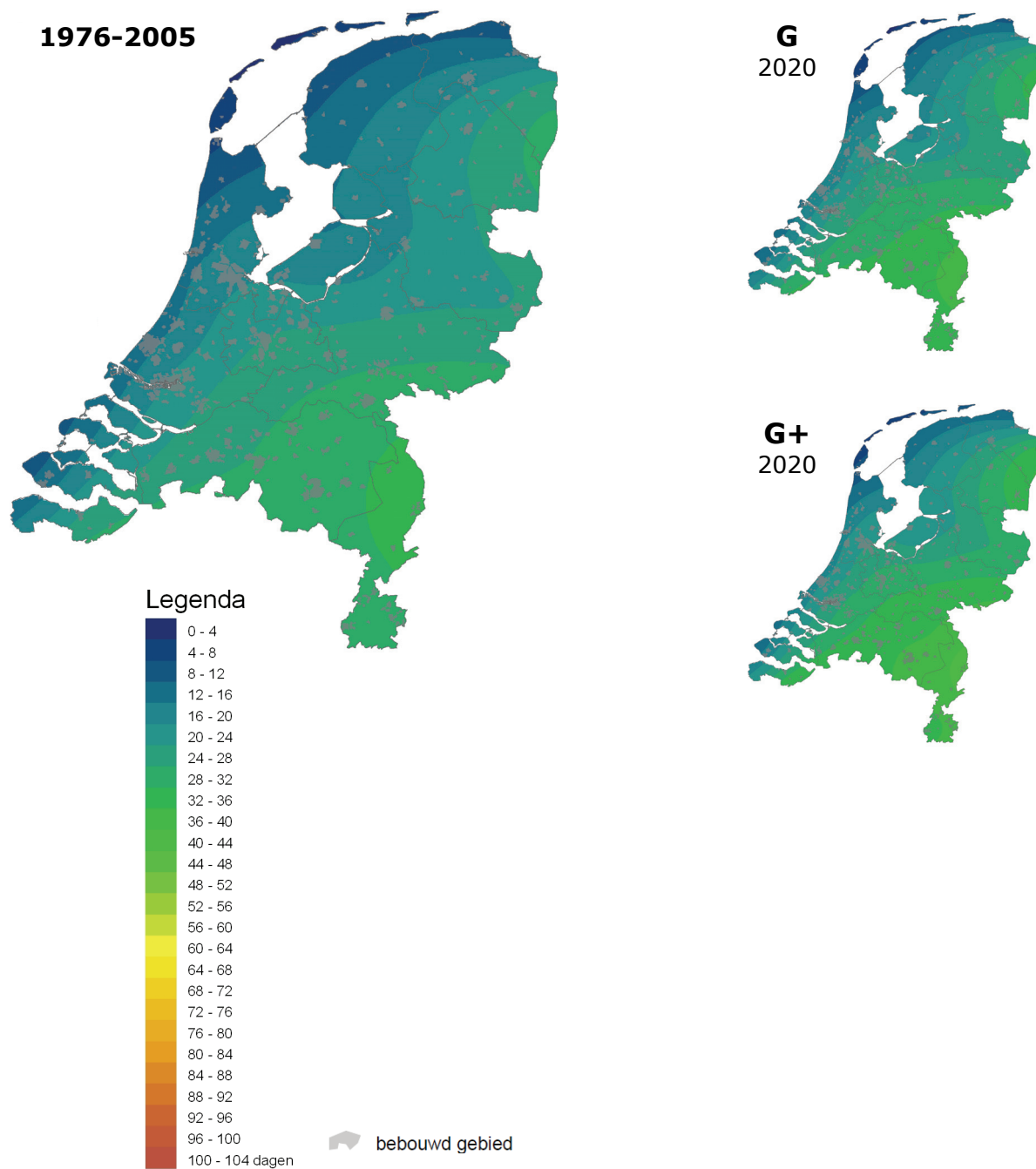
In de KNMI'06 klimaatscenario's is de temperatuurstijging in Nederland niet gelijk aan de wereldgemiddelde temperatuurstijging. Van belang hierbij is de ligging van ons land aan de rand van een groot continent dat sterker opwarmt, maar ook dicht bij het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan, waarvoor de meeste klimaatmodellen een veel minder sterke temperatuurstijging berekenen. De G en W scenario's laten een temperatuurstijging in Nederland zien die iets minder is dan de wereldgemiddelde temperatuurstijging, en de G+ en W+ een temperatuurstijging in Nederland die sneller gaat dan wereldgemiddeld, maar minder snel dan waargenomen sinds 1950. De waargenomen trend kan echter niet zomaar doorgetrokken worden naar de toekomst.

Ruimtelijke patronen binnen Nederland

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. Gemiddeld over het jaar gezien is het in het zuiden iets warmer dan in het noorden van Nederland. Het verschil tussen de minimumtemperatuur en de maximumtemperatuur op een dag is aan de kust geringer dan meer landinwaarts. In steden is het gemiddeld wat warmer dan op het omringende platteland ('urban heat island effect', Bijlage 3). Deze patronen zullen in de toekomst blijven bestaan.

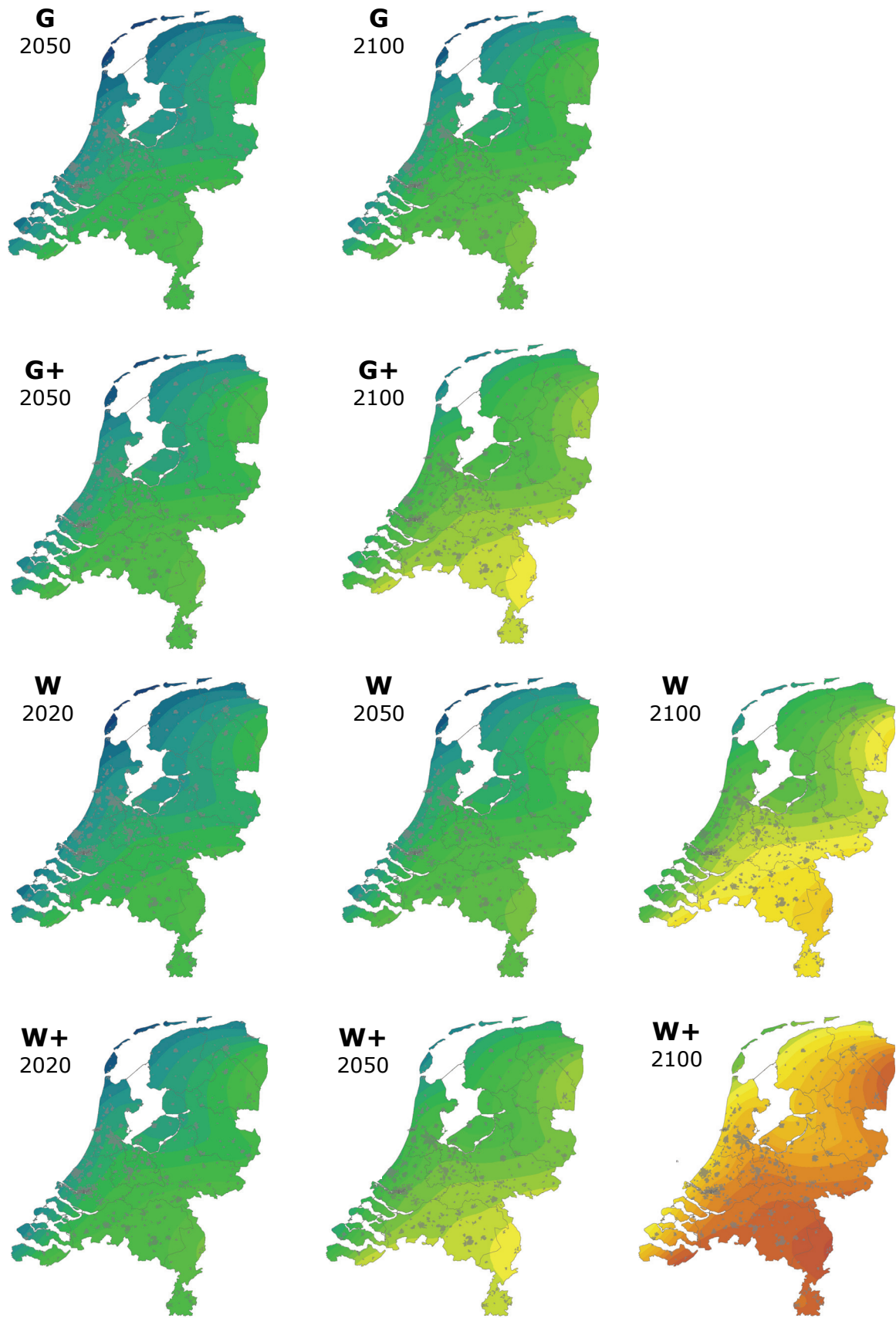


Figuur 3.2 Het gemiddeld aantal tropische dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

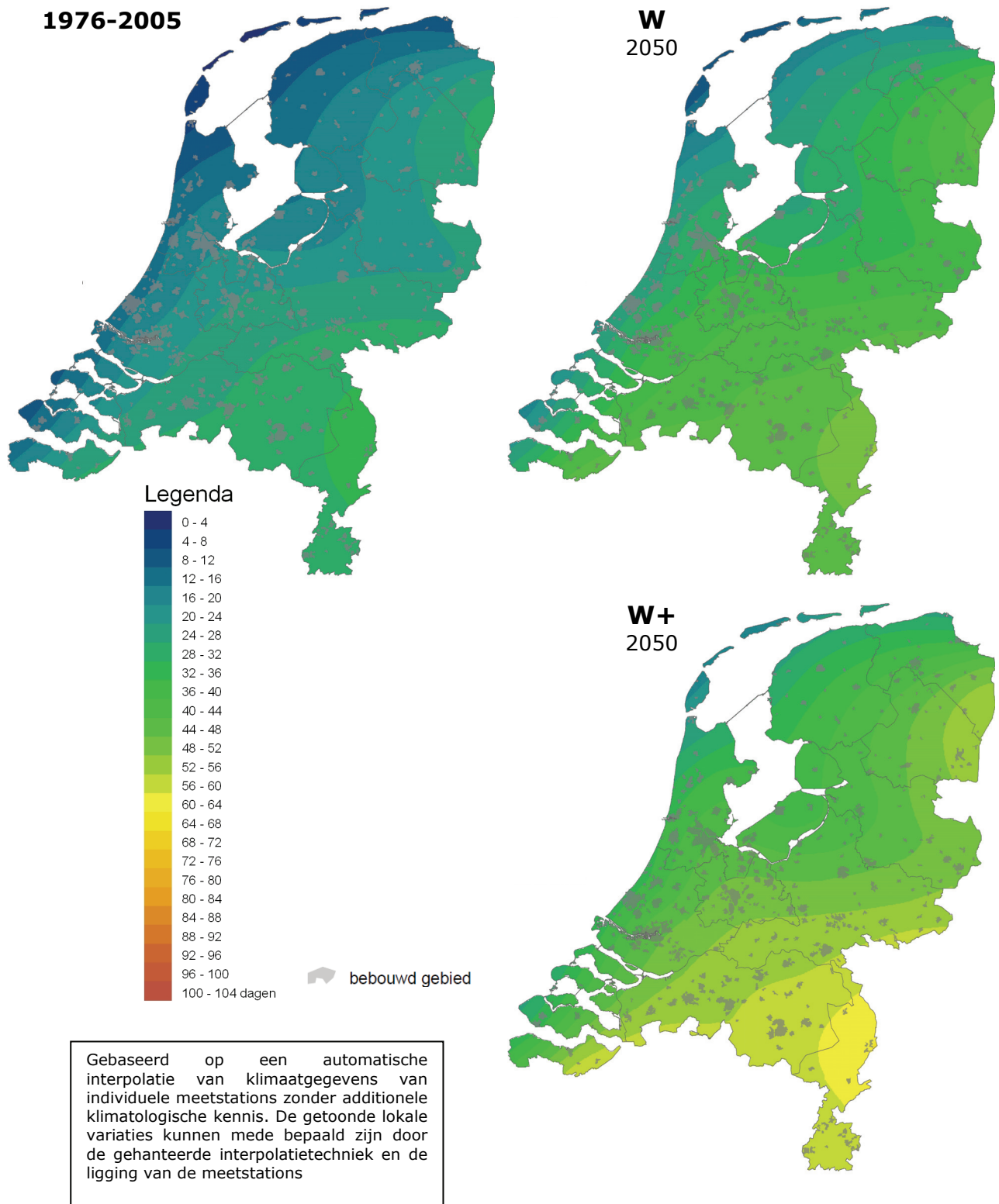


Gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

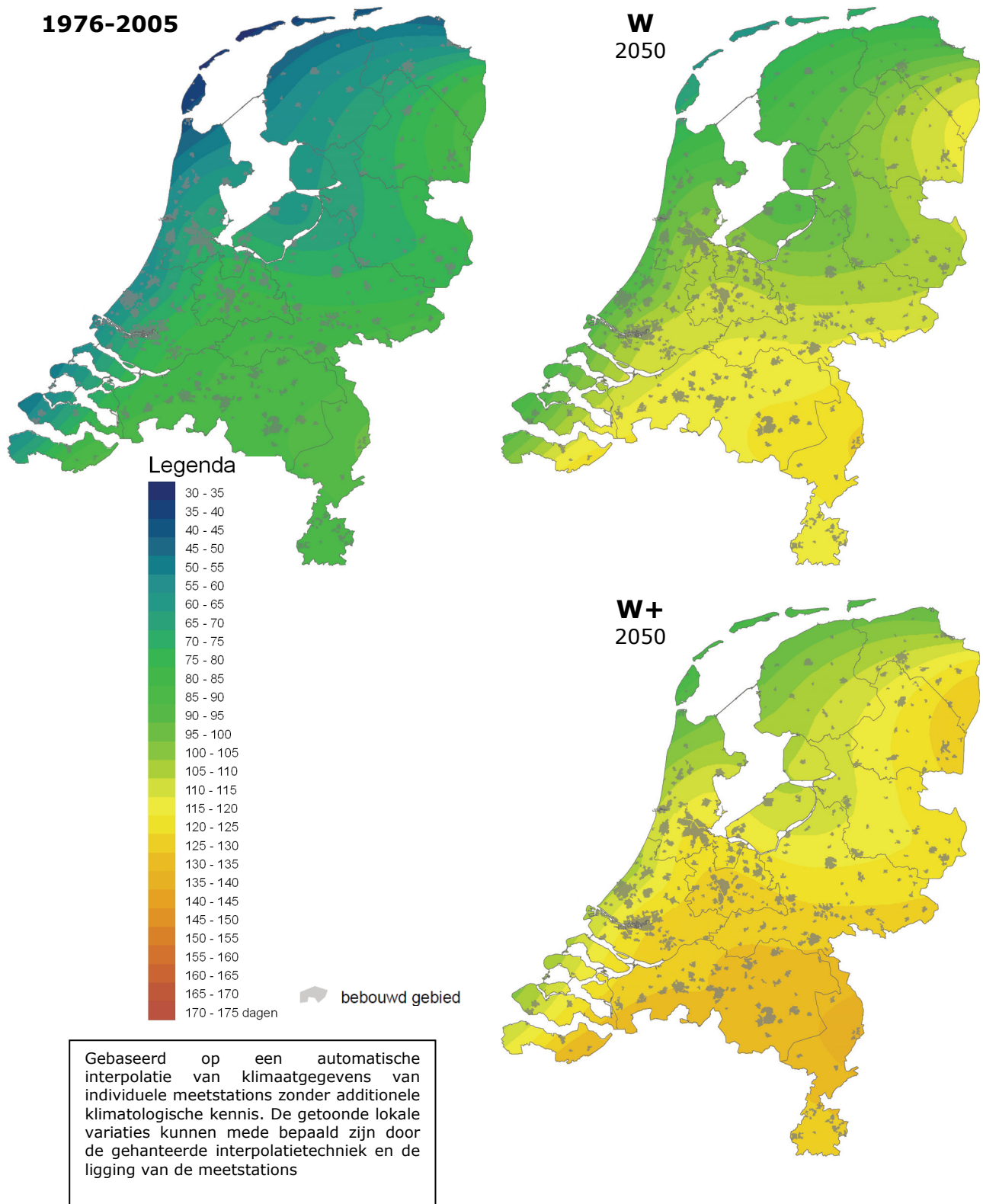
Figuur 3.3. Verloop in de tijd van de verandering in het gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), rond 2020, rond 2050 en rond 2100 voor de 4 KNMI'06 scenario's. Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.



Vervolg Figuur 3.3 Verandering in G en G+ 2x zo langzaam als in W en W+.



Figuur 3.4 Het gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

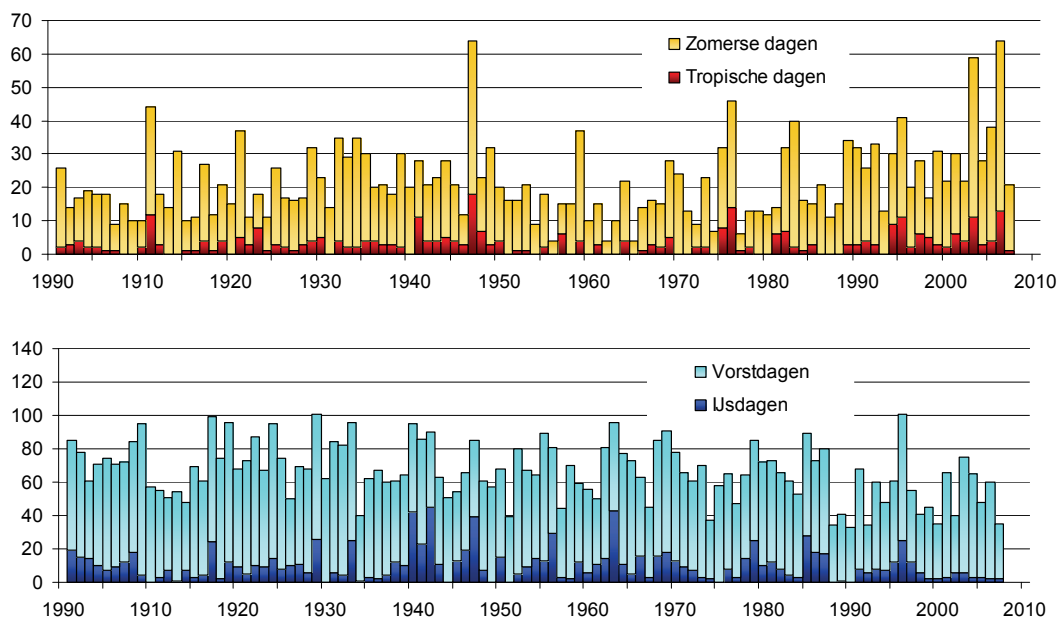


Figuur 3.5 Het gemiddeld aantal warme dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

3.2.2 Temperatuur extremen

Huidige trends

Figuur 3.6 laat het aantal zomerse dagen, tropische dagen, vorstdagen en ijsdagen zien in de afgelopen eeuw. De zomerse en winterse (vorst- en ijs-) dagen laten een geleidelijke stijging cq. daling zien, die significant is (KNMI, 2008).



Figuur 3.6. Aantal zomerse dagen (max. temperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$; oranje-geel), tropische dagen (max. temperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$; rood), vorstdagen (min. temperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$; licht blauw) en ijsdagen (max. temperatuur $< 0^{\circ}\text{C}$; donker blauw) in de afgelopen eeuw in De Bilt (bron, KNMI, 2008).

Toekomstige trends

De vier KNMI'06 scenario's geven een sterkere stijging van de temperatuurextremen te zien dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden met $1,0^{\circ}\text{C}$ tot $2,9^{\circ}\text{C}$, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met $1,0^{\circ}\text{C}$ tot $3,8^{\circ}\text{C}$ ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Voor 2020 zijn de temperatuurstijgingen de helft van deze getallen, voor 2100 twee maal de stijgingen voor 2050. Vooral in de scenario's G+ en W+ stijgen de extremere temperaturen sterker (zie ook bijlage 4 voor aanvullende getallen). In de winter treden in de G+ en W+ scenario's frequenter westenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuuroptename zorgt dit voor een relatief sterkere afname van het aantal vorstdagen en ijsdagen in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W). In de zomer treden in de G+ en W+ scenario's juist frequenter oostenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuuroptename zorgt dit voor een relatief sterkere toename van het aantal tropische dagen, zomerse dagen en warme dagen in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

Figuren 3.3 en 3.7 geven het verloop van het gemiddeld aantal zomerse dagen en vorstdagen tot 2100 voor alle vier de scenario's. In de figuur is te zien dat bijv. het aantal zomerse dagen en vorstdagen rond 2100 in G+ gelijk is aan het aantal rond 2050 in W+. De veranderingen in de W en W+ scenario's gaan twee maal zo snel als in de G en G+ scenario's.

Ruimtelijke patronen binnen Nederland

In het huidige klimaat is het tropische dagen (figuur 3.2), zomerse dagen (figuur 3.4) en het aantal warme dagen (figuur 3.5) aan de kust kleiner dan meer in het binnenland.

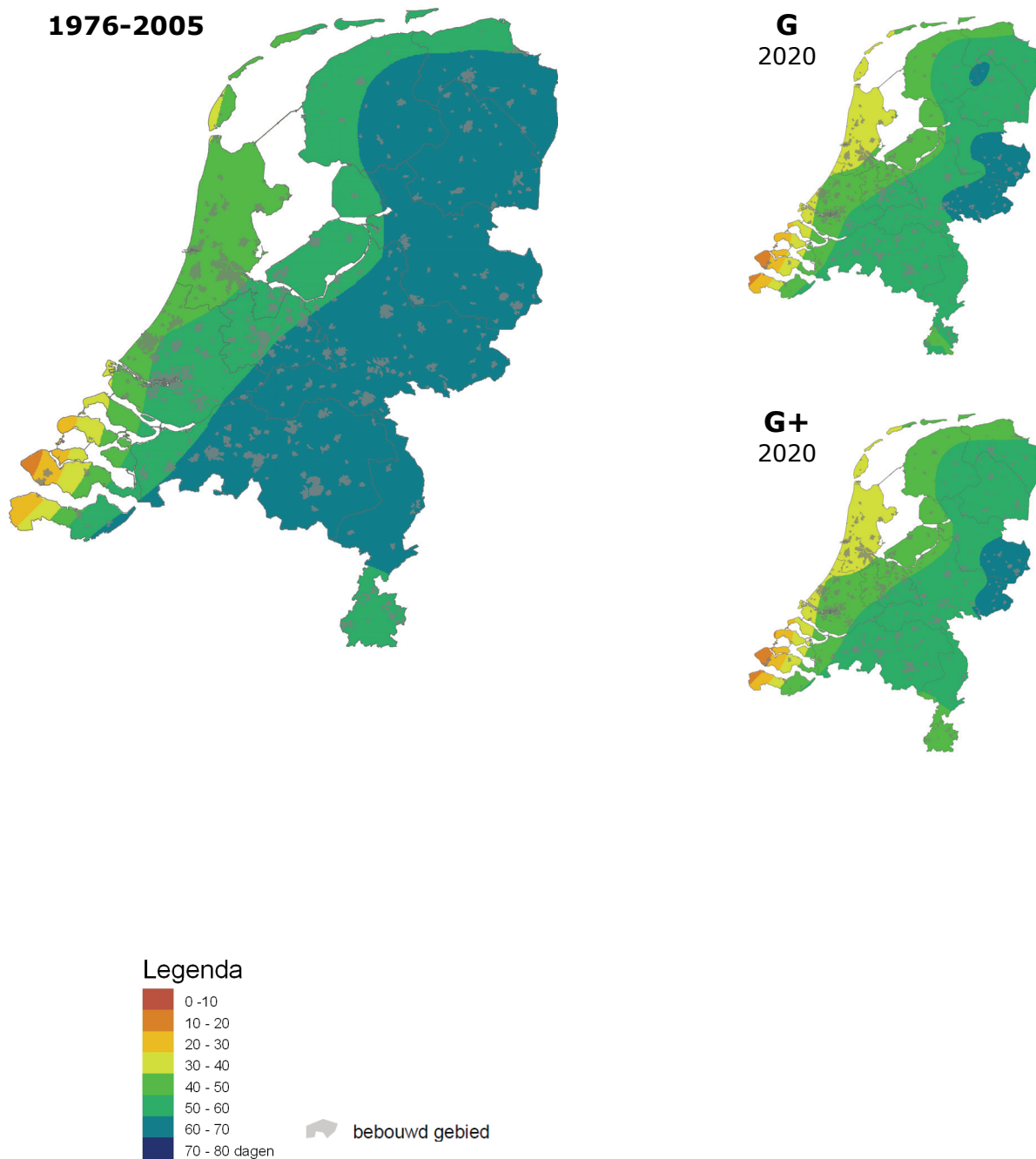
Hetzelfde geldt voor aantal vorstdagen (figuur 3.8) en ijsdagen (figuur 3.9). In het zuidoosten is het aantal warme, zomerse en tropische dagen het hoogst. Als gevolg van de overheersende zuidwestenwind in Nederland is de temperatuur langs de kust in de winter wat hoger dan meer landinwaarts, en in de zomer wat lager dan landinwaarts. Als gevolg hiervan is het aantal warme, zomerse en tropische dagen langs de kust lager dan landinwaarts, en het aantal vorstdagen is daardoor langs de kust lager dan meer landinwaarts. Ijsdagen, waarbij het de hele dag vriest, treden vooral op bij noorden- tot oostenwinden, waardoor het land-zee-effect minder duidelijk is. Deze ruimtelijke patronen zullen in de toekomst blijven bestaan.

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- U kunt vaker zonder jas naar buiten (het aantal zomerse dagen, met een maximum temperatuur van ≥ 25 °C stijgt);
- U zult vaker last hebben van hittestress (het aantal tropische dagen met een maximum temperatuur van ≥ 30 °C stijgt);
- Het gras van uw gazon moet vaker gemaaid worden (door de hogere temperatuur begint het gras in het voorjaar eerder te groeien, en groeit het in het najaar langer door);
- Uw kosten voor verwarming in huis gaan omlaag, maar de behoefte aan koeling gaat omhoog;
- De kans op Elfstedentochten neemt af (het aantal ijsdagen, waarop het de hele dag vriest, neemt af).

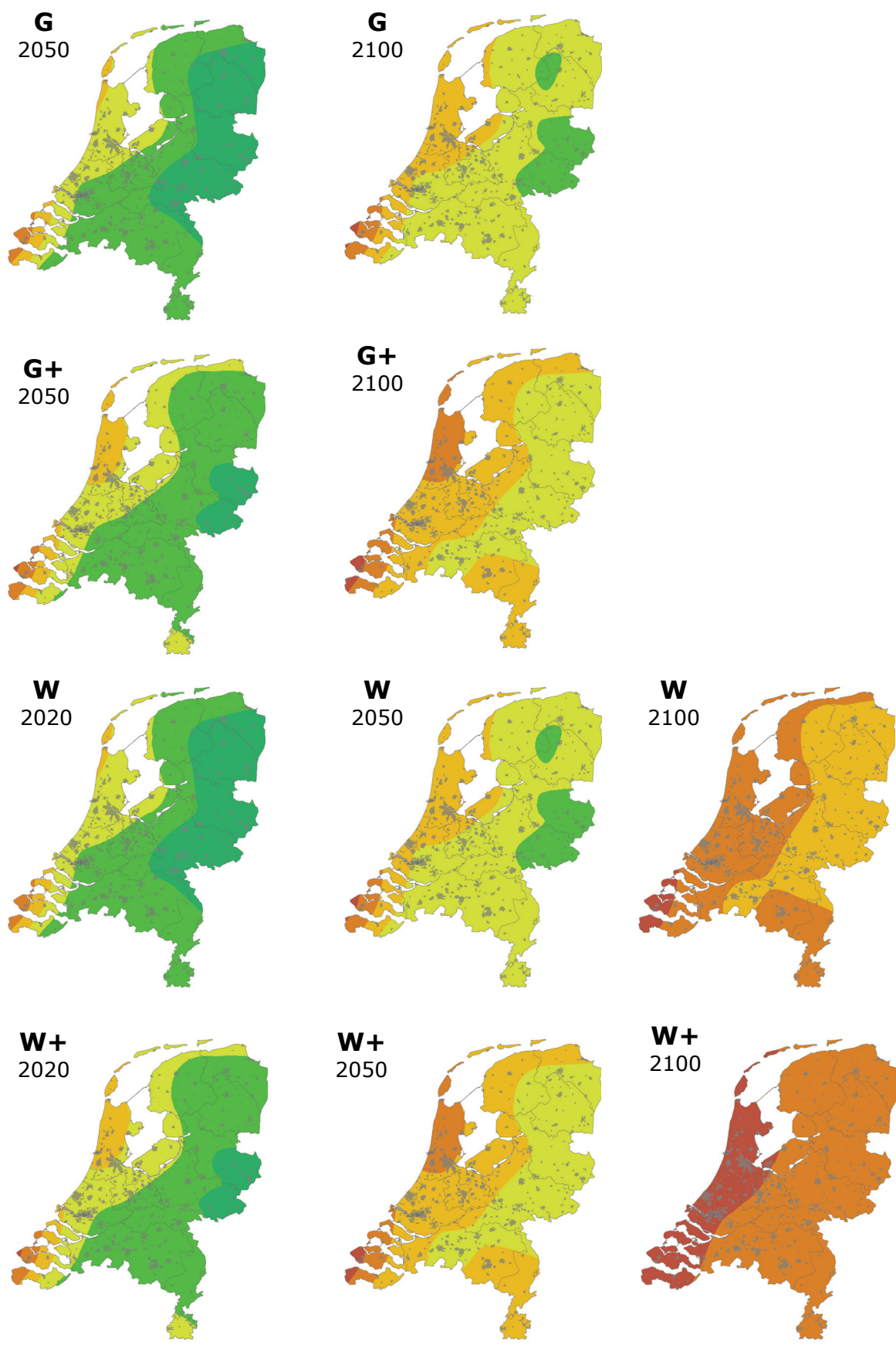


Bloembollen in West Nederland: verandering van groeiseizoen?

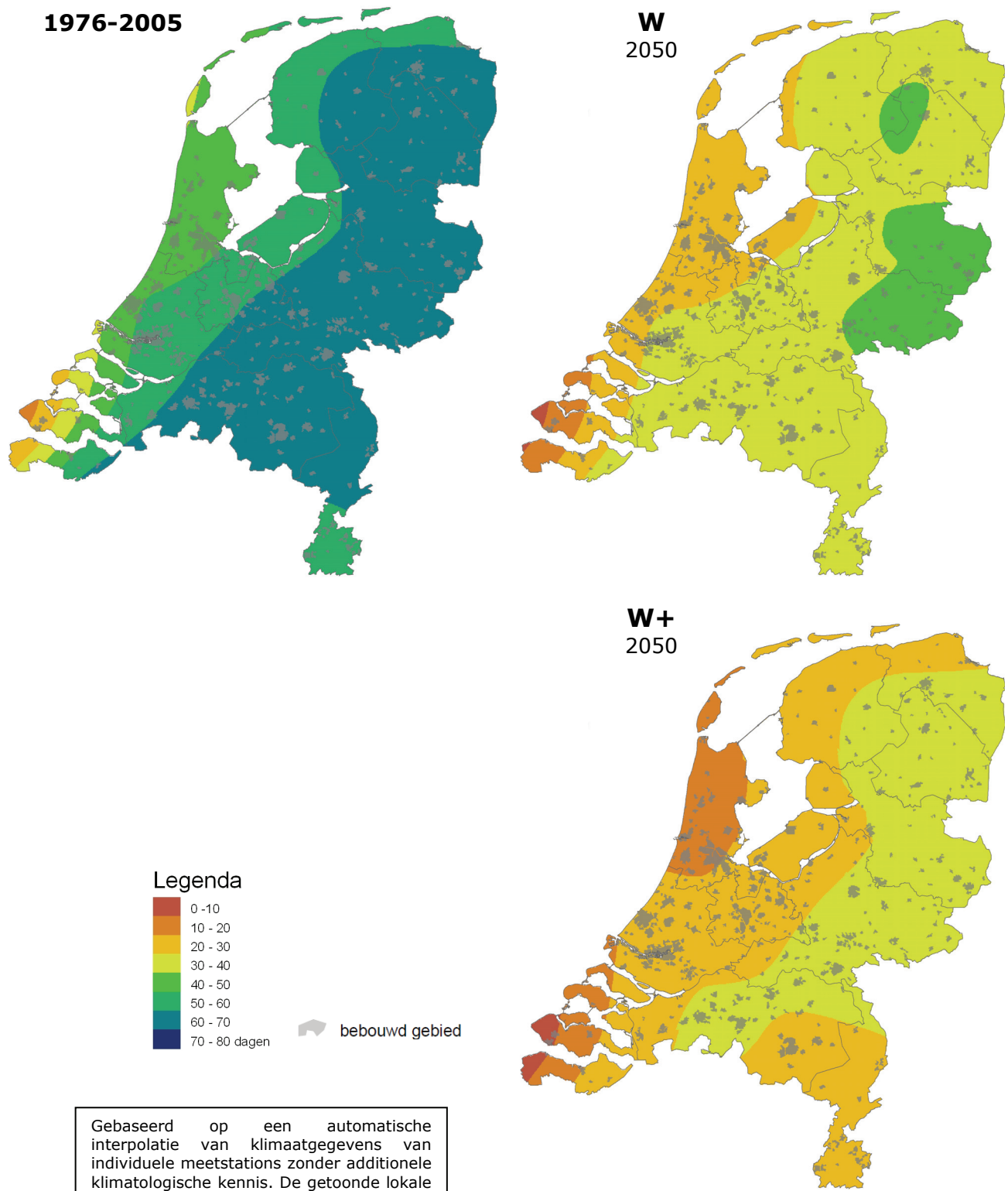


Gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 3.7. Verloop in de tijd van de verandering in het gemiddeld aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), rond 2020, rond 2050 en rond 2100 voor de 4 KNMI'06 scenario's. 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.

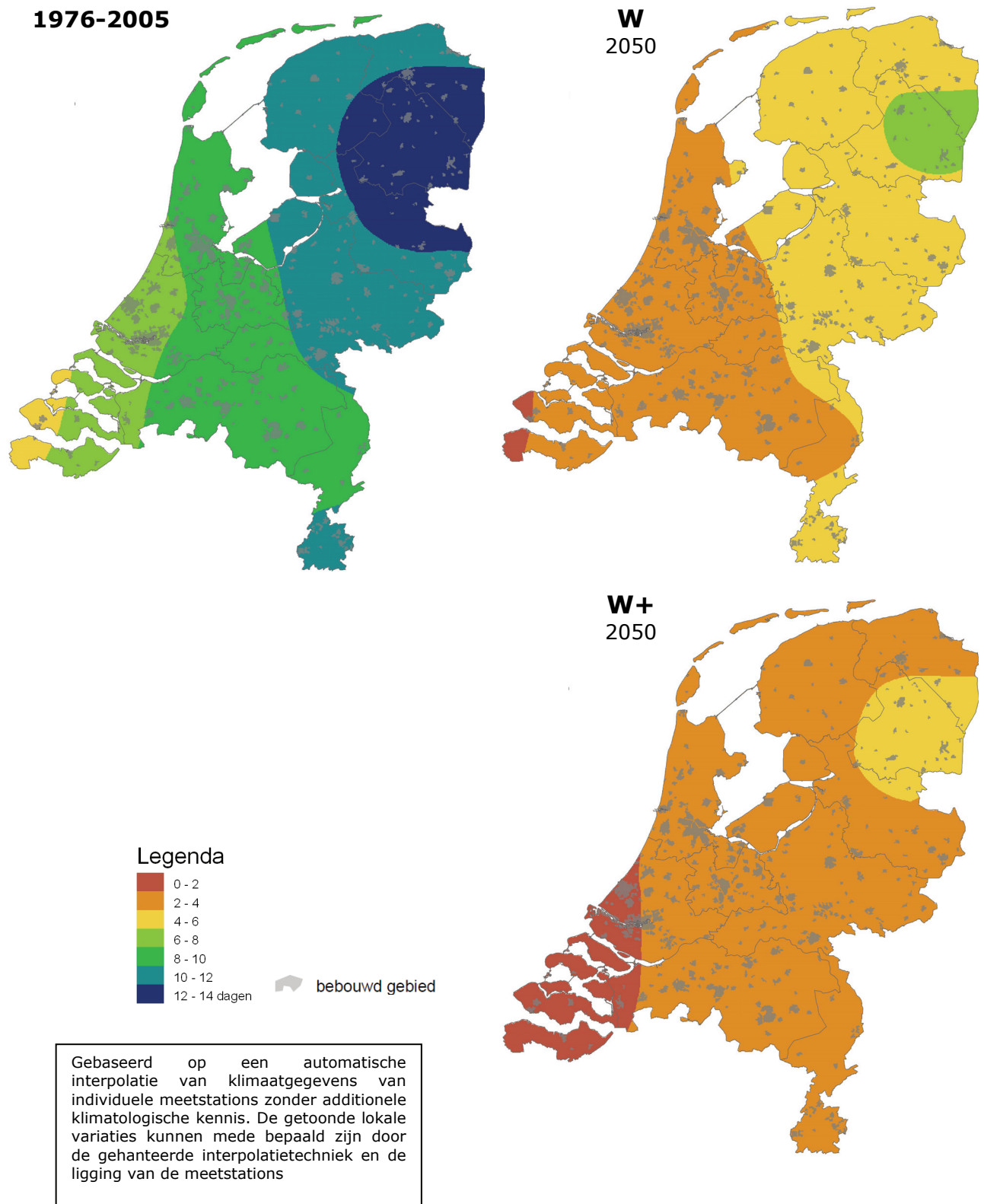


Vervolg Figuur 3.7. Verandering in G en G+ 2x zo langzaam als in W en W+.



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



Figuur 3.9 Het gemiddeld aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de zomer van 2003 normaal rond 2050?

Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Op alle KNMI-metstations in Tabel 3.2 viel de gemiddelde maximumtemperatuur in de zomermaanden juni t/m augustus in 2003 buiten de 80% range (8 van de 10 keer valt de temperatuur binnen deze grenzen). In 2003 was de gemiddelde maximumtemperatuur 2-3 °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. M.a.w. de zomer van 2003 zou rond 2050 vrij normaal kunnen zijn. De zomer van 2006 was gemiddeld bijna even warm. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.

Tabel 3.2. Gemiddelde maximum temperaturen in de zomermaanden juni t/m augustus in 2003 en 2006 voor verschillende plaatsen in Nederland.

Plaats	Gem. max. temperatuur zomer 2003	Gem. max. temperatuur zomer 2006	Gem. max. temperatuur zomer 1976-2005	80% range voor het huidige klimaat*
De Kooy (NH)	21,8	21,2	19,4	18,0-20,8
De Bilt	24,6	23,7	21,7	20,0-23,7
Leeuwarden	22,8	22,0	19,9	18,5-21,6
Deelen	24,9	23,9	21,7	20,0-23,9
Eelde	24,1	23,6	21,1	19,5-23,0
Twenthe	24,6	24,2	21,5	19,4-23,7
Vlissingen	23,0	22,4	20,5	18,9-22,1
Rotterdam	23,8	23,2	21,1	19,5-23,0
Eindhoven	25,4	24,2	22,2	20,4-24,2
Maastricht	25,3	24,0	22,1	20,2-24,2
Lelystad	23,7	23,1	20,6	18,6-22,6

* 8 van de 10 keer ligt de gemiddelde temperatuur voor de zomermaanden binnen deze range, gebaseerd op de periode 1976-2005.



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

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. Op alle KNMI-metstations in Tabel 3.3 viel de gemiddelde maximumtemperatuur in de herfstmaanden september t/m november in 2006 en in de wintermaanden december 2006 t/m februari 2007 buiten de 80% range (8 van de 10 keer valt de temperatuur binnen deze grenzen). In de herfst van 2006 en de winter van 2006/2007 lag de gemiddelde maximumtemperatuur rond de 3 °C boven normaal. Het

verschil tussen de temperaturen in die maanden en de gemiddelde temperaturen in de periode 1976-2005 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. Ook in het rapport "Toestand van het klimaat" (KNMI, 2008) wordt aangegeven dat de temperaturen in de herfst/winter van 2006/2007 zeer uitzonderlijk waren.

Tabel 3.3. Gemiddelde maximumtemperaturen in de herfstmaanden september t/m november in 2006 en de wintermaanden december t/m februari 2006/2007 voor verschillende plaatsen in Nederland.

Plaats	herfst 2006	herfst 1976- 2005	80% range herfst*	winter 2006/ 2007	winter 1976- 2005	80% range winter*
De Kooy (NH)	16,8	13,8	12,8-14,8	9,1	5,7	3,5-7,6
De Bilt	17,5	14,3	13,2-15,4	9,2	5,9	3,7-8,1
Leeuwarden	16,7	13,5	12,5-14,4	8,6	5,1	3,0-7,1
Deelen	17,1	13,9	12,6-15,1	8,5	5,3	2,9-7,3
Eelde	17,0	13,6	12,5-14,7	8,5	4,9	2,6-7,1
Twenthe	17,2	13,7	12,5-15,1	8,6	5,1	2,6-7,2
Vlissingen	17,1	14,3	13,3-15,2	9,1	6,2	3,9-8,0
Rotterdam	17,4	14,3	13,4-15,4	9,4	6,2	4,0-8,4
Eindhoven	17,8	14,5	13,3-15,6	8,9	6,0	3,9-8,1
Maastricht	17,7	14,2	12,9-15,2	8,8	5,6	3,2-7,7
Lelystad	17,1	13,7	12,6-14,9	8,8	5,2	2,9-7,2

* 8 van de 10 keer ligt de gemiddelde temperatuur voor de zomermaanden binnen deze range, gebaseerd op de periode 1976-2005.



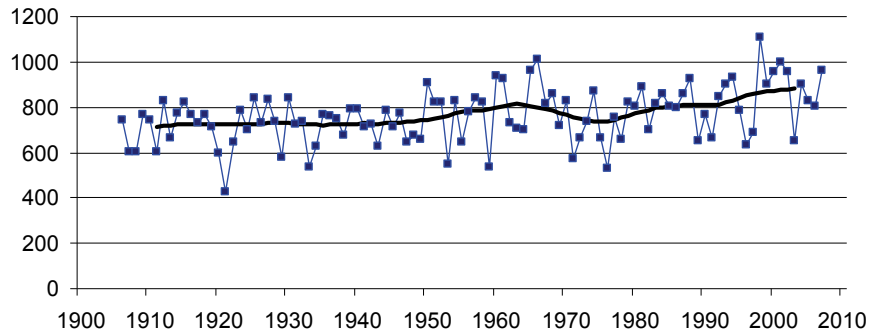
Hoe groen is de herfst? Straatbeeld in de provincie Utrecht.

3.3 Neerslag

3.3.1 Gemiddelde neerslag

Huidige trends

De jaarlijkse hoeveelheid neerslag (figuur 3.10) is in Nederland de afgelopen eeuw toegenomen met 18 %, maar de neerslagsom kent een grote variabiliteit van jaar tot jaar.



Figuur 3.10. Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 stations) tussen 1906 en 2007. De rode lijn toont het voortschrijdende gemiddelde van 10 jaar (Bron: KNMI, 2008).

Vanaf 1950 is het verschil in zomerneerslag tussen de kustregio en het binnenland verschoven: in de kustregio is het natter geworden (zie hieronder bij "ruimtelijke patronen").

Toekomstige trends

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

Dit komt tot uiting in de KNMI'06 scenario's. In de G en W scenario's (waarbij ervan uit wordt gegaan dat de stromingspatronen niet veranderen) neemt de neerslag in Nederland zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In de G+ en W+ scenario's (met verandering in stromingspatronen) neemt de neerslag extra toe in de winter (circa +7% per graad) en juist af in de zomer (circa -10% per graad). Figuren 3.12 en 3.13 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 3.15). 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.

Figuur 3.13 geeft het verloop van de gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar tot 2100 voor alle vier de scenario's. In de figuur is te zien dat bijv. de gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar rond 2100 in G+ gelijk is aan de gemiddelde neerslag in het zomerhalfjaar rond 2050 in W+. De veranderingen in de W en W+ scenario's gaan twee maal zo snel als in de G en G+ scenario's¹.

Ruimtelijke patronen

In Figuur 3.11 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen Nederland. Dezelfde patronen zijn min of meer terug te vinden in de neerslag per zomerhalfjaar en per winterhalfjaar (figuren 3.14 en 3.12). De kaarten vertonen een aantal lokale maxima. De maxima boven het zuidoostelijk deel van de Veluwe, in de omgeving van Vaals en boven de Hondsrug in Drenthe worden onder ander veroorzaakt door de hogere ligging van deze gebieden. Door de overwegende zuidwestelijke wind valt er aan de oostzijde dan relatief weinig neerslag ("regenschaduw"). Verder zijn er maxima te zien bij de grote steden Rotterdam, Den Haag en Amsterdam. Hier speelt de stedelijke invloed een rol (o.a. warmere lucht die opstijgt, afkoelt en tot meer neerslag leidt; zie ook bijlage 3).

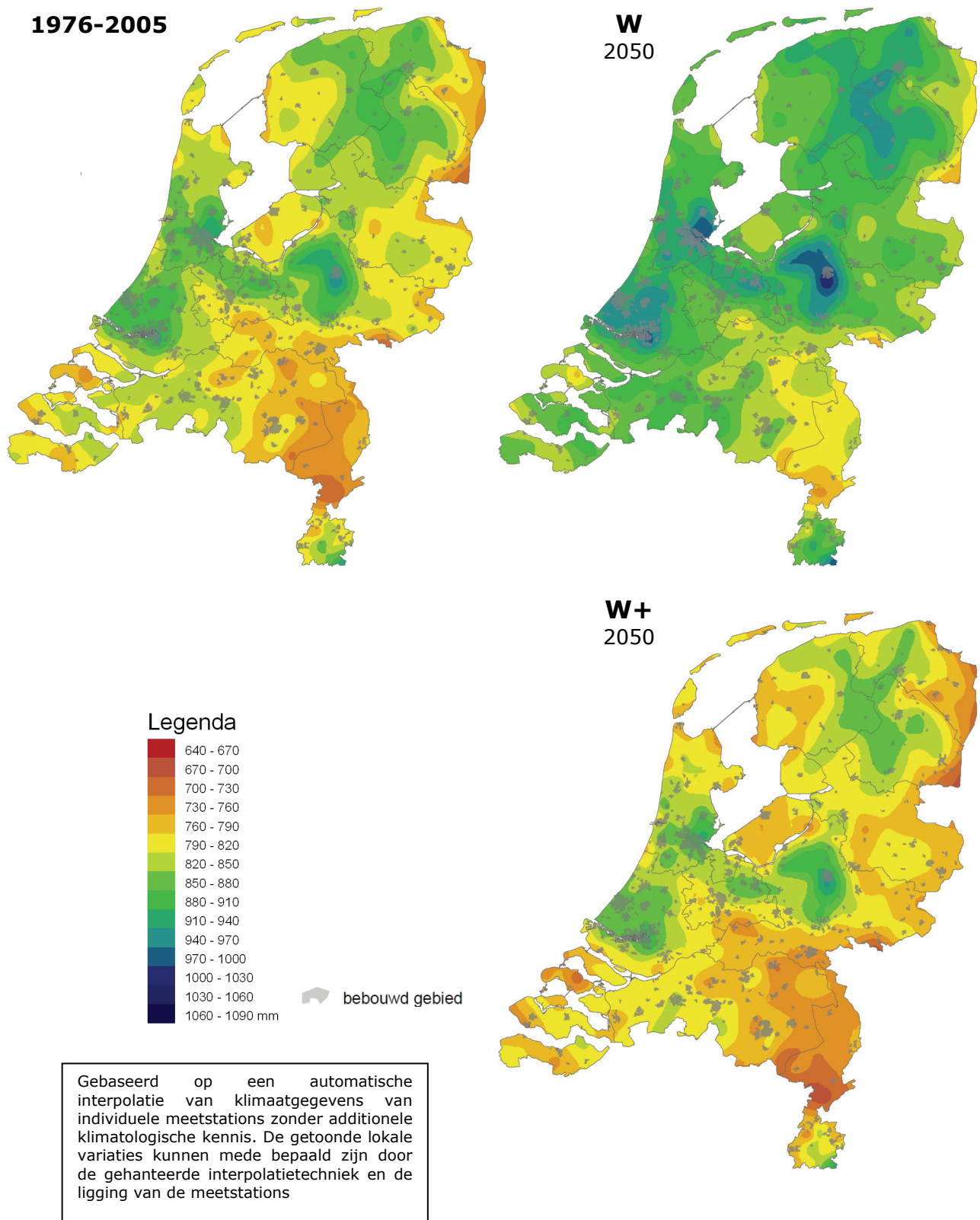
Aan het eind van de lente en het begin van de zomer (april-juni) is de gemiddelde neerslag langs de kust geringer dan landinwaarts (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000', KNMI, 2002). In die tijd is het zeewater relatief koud. De lucht boven zee is dan stabielere dan boven land, waardoor er dan boven zee minder vaak buien voorkomen. Aan het eind van de zomer en in de herfst is het patroon net omgekeerd. Dan is het zeewater relatief warm, waardoor in die maanden de grootste instabiliteit boven zee voorkomt en er zich daar meer buien ontwikkelen. Vanaf 1950 is het verschil in zomerneerslag tussen de kustregio en het binnenland verschoven: de omslag van droger naar natter in de kustregio ten opzichte van het binnenland treed nu eerder in de zomer op. Het ligt voor de hand deze verandering toe te schrijven aan de oplopende temperatuur van de Noordzee, maar een hard bewijs hiervoor ontbreekt nog (KNMI, 2008).

Hoewel er geen 1-op-1 relatie bestaat tussen de gemiddelde neerslag en het aantal dagen met ≥ 1 mm (voldoende regen om nat te worden; figuur 3.15), lijken de gebieden met een hogere gemiddelde neerslag ook iets meer dagen met ≥ 1 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen waarschijnlijk blijven bestaan.

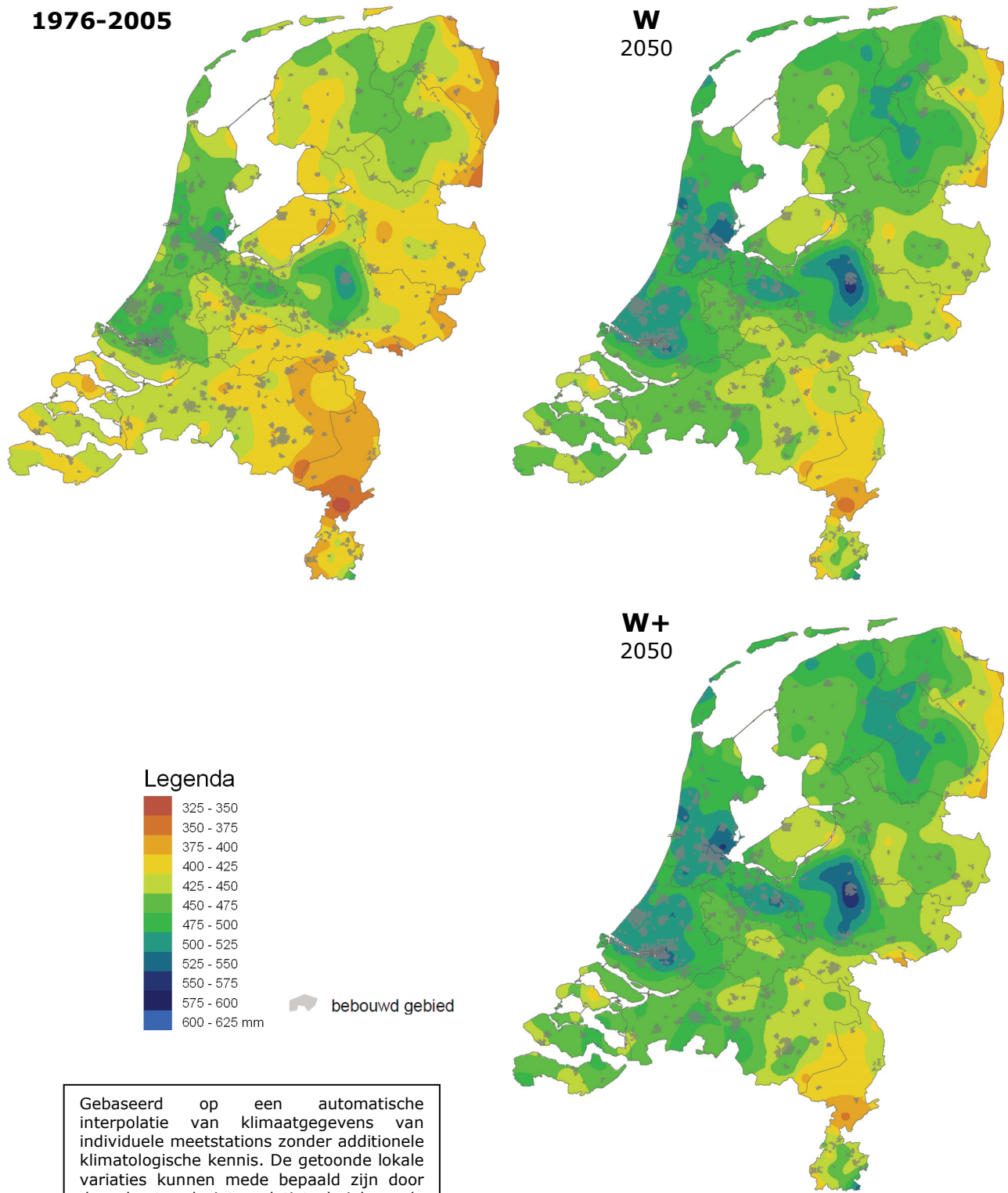


Water op straat: overlast?

¹ In het Geoportaal Klimateffectschetsboeken zijn voor alle klimaatvariabelen kaarten voor 2100 opgenomen.

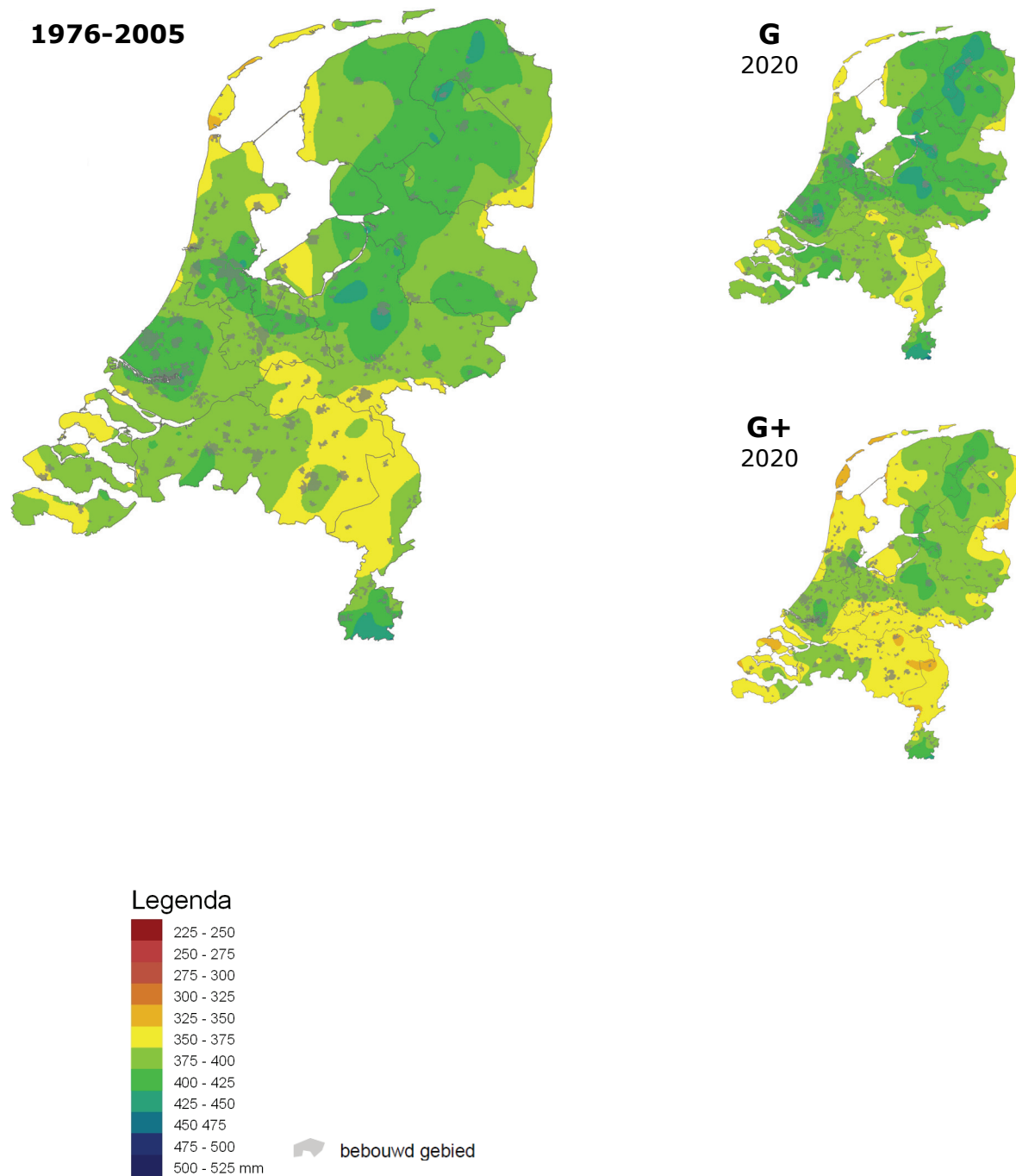


Figuur 3.11. De gemiddelde neerslag per jaar (in mm) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.



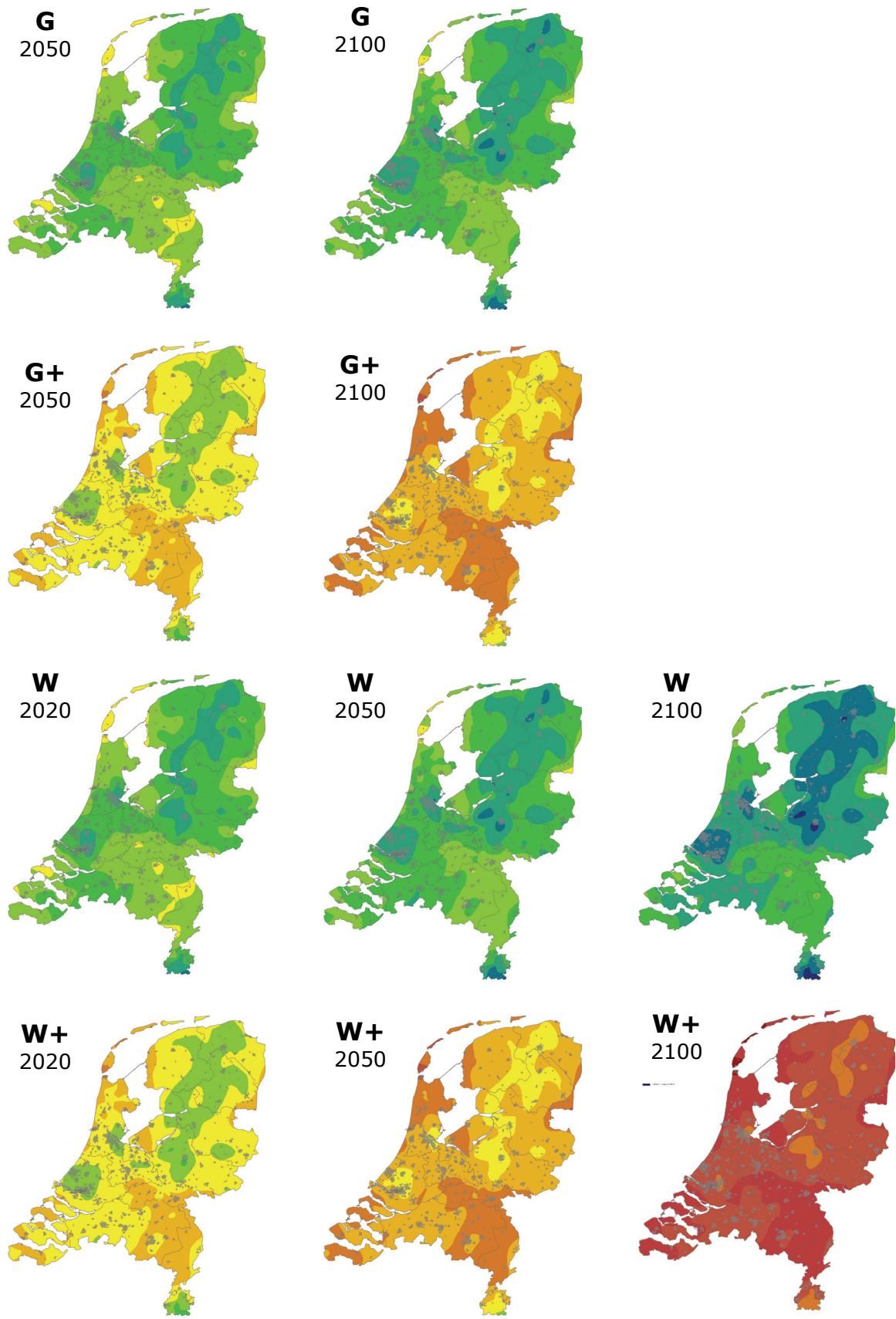
Gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

Figuur 3.12. De gemiddelde winterneerslag (oktober-maart; in mm) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

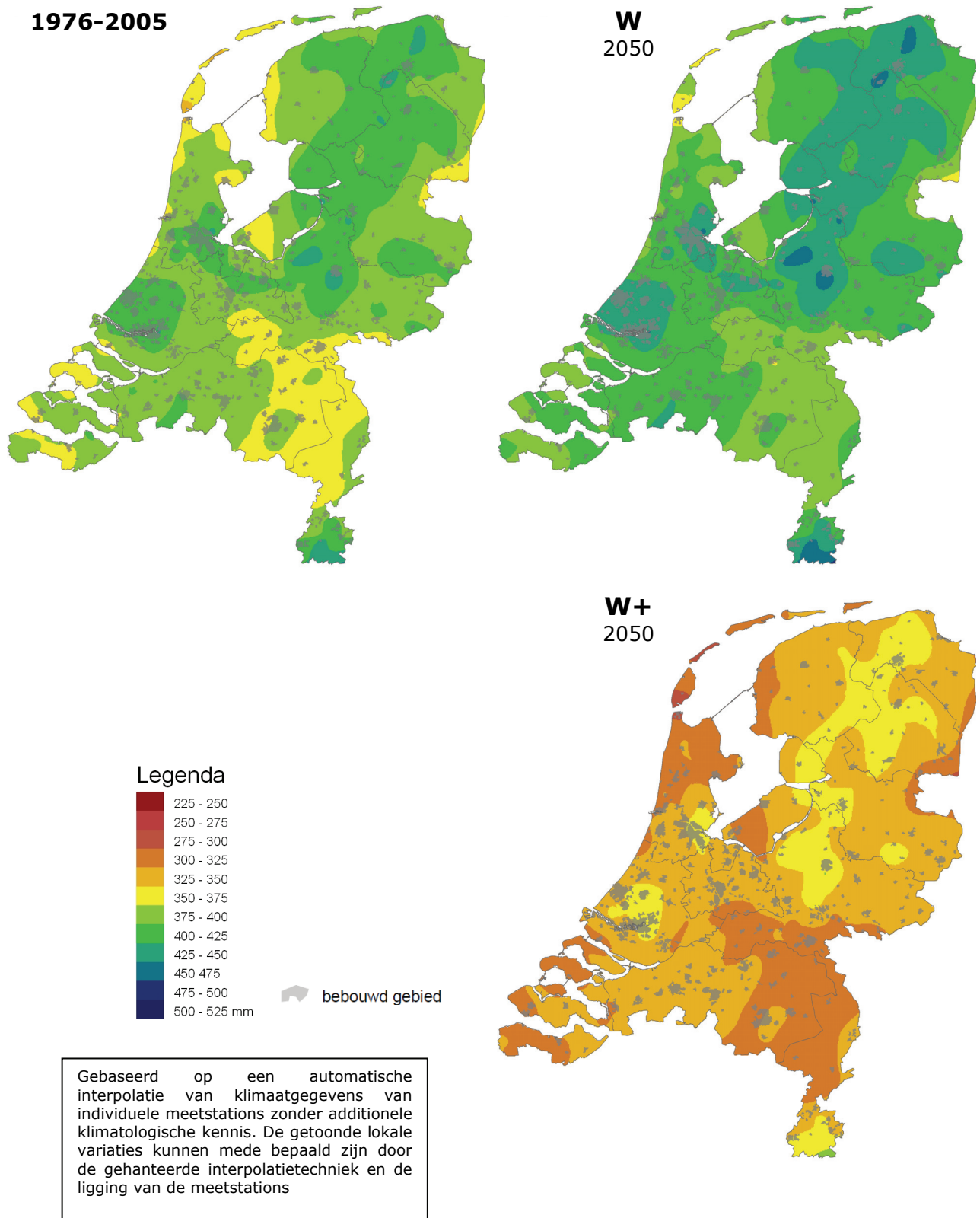


Gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

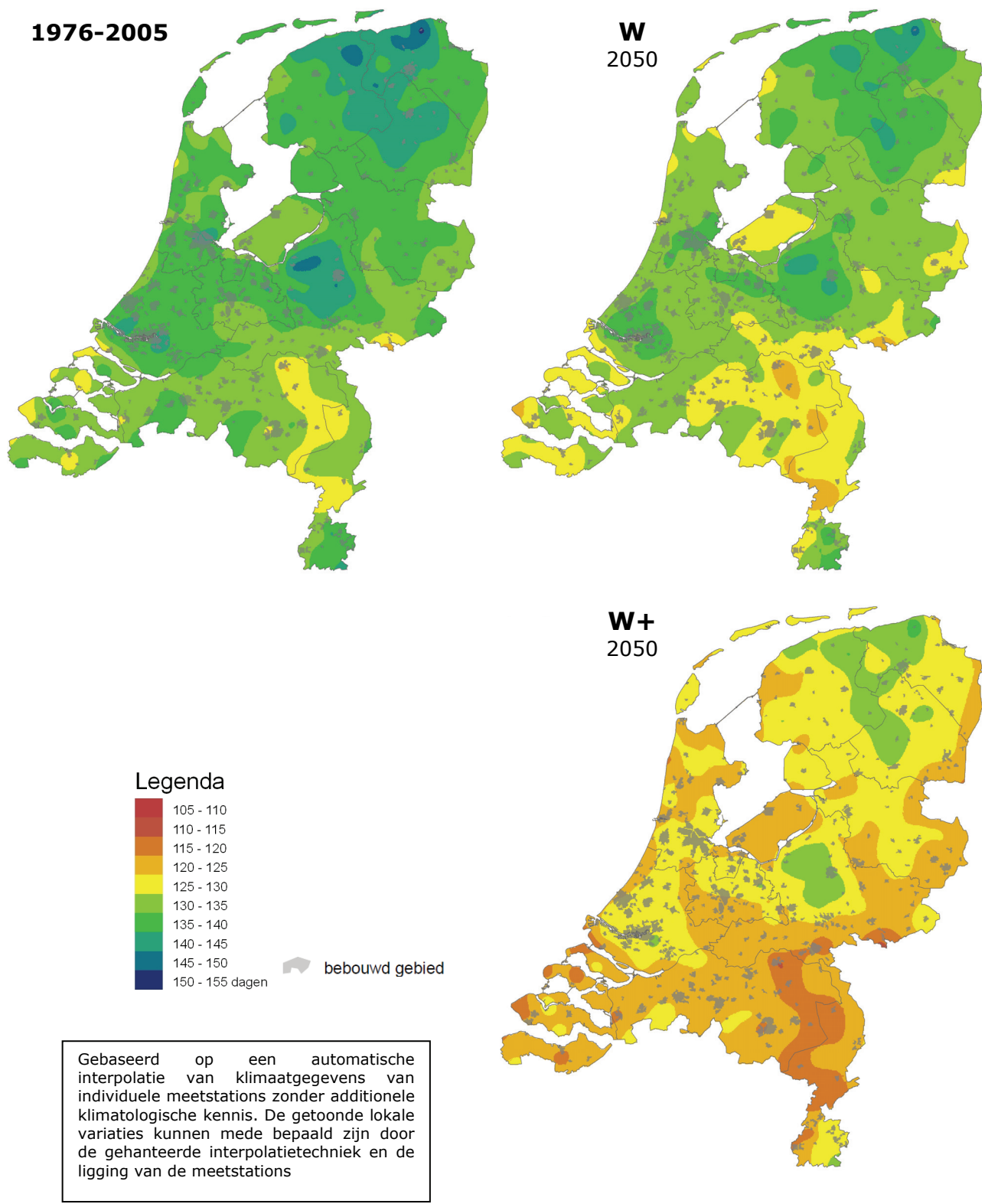
Figuur 3.13. Verloop in de tijd van de verandering in de gemiddelde zomerneerslag (april-september; in mm) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), rond 2020, rond 2050 en rond 2100 voor de 4 KNMI'06 scenario's. Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.



Vervolg Figuur 3.13. Verandering in G en G+ 2x zo langzaam als in W en W+.



Figuur 3.14. De gemiddelde zomerneerslag (april-september; in mm) in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

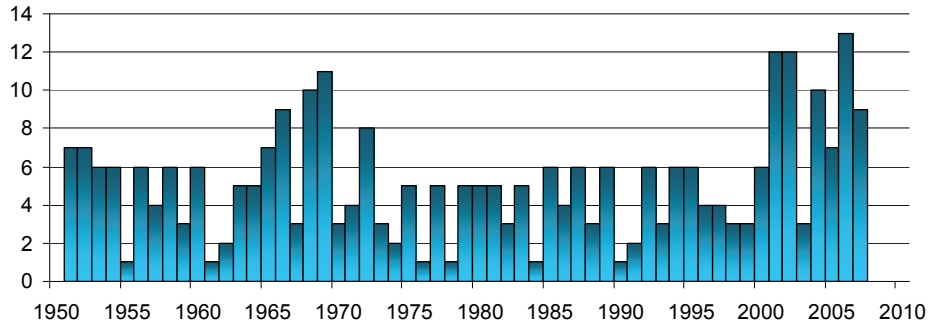


Figuur 3.15. Het gemiddelde aantal dagen per jaar met 1 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

3.3.1 Extreme neerslag

Huidige trends

De laatste jaren is er sprake van een groot aantal dagen met zware neerslag (figuur 3.16). De verschillen tussen jaren zijn echter zo groot dat (nog) niet kan worden gesproken van een significante verandering.



Figuur 3.16. Aantal dagen met zware neerslag (≥ 50 mm op minstens 1 KNMI-station) in de zomer in Nederland.

Uit analyses van extreme dagneerslag en extreme urneerslag blijkt dat de extreme urneerslag sneller toeneemt met een stijging van de gemiddelde of maximumtemperatuur dan de extreme dagneerslag (Lenderink et al., 2008).

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. Het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag (Figuur 3.18) neemt in alle scenario's toe. In de G+ en W+ scenario's 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.

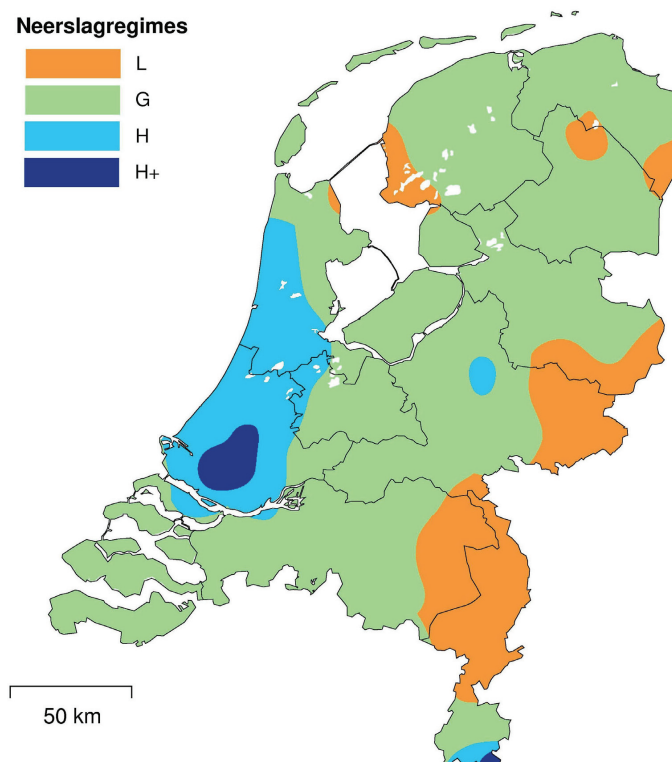
Figuur 3.19 geeft het verloop van het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag tot 2100 voor alle vier de scenario's. In de figuur is te zien dat bijv. het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag rond 2100 in G+ gelijk is aan het aantal dagen 2050 in W+. De veranderingen in de W en W+ scenario's gaan twee maal zo snel als in de G en G+ scenario's.

Ruimtelijke patronen

Hoewel er geen 1-op-1 relatie is tussen de gemiddelde neerslag en het aantal dagen met ≥ 15 mm (figuur 3.18), lijken de gebieden met een hogere gemiddelde neerslag ook iets meer dagen met ≥ 15 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen waarschijnlijk 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). Onderzoek van Buishand et al. (2009) heeft laten zien dat er binnen Nederland zones zijn te onderscheiden met verschillende neerslagextremenstatistiek (Figuur 3.17). Met name in Zuid-Holland zijn de neerslagsommen die eens in de 10 jaar optreden het hoogst.



Figuur 3.17. Vier te onderscheiden neerslagregimes met elk een eigen extreme waarden statistiek voor het huidige klimaat. De neerslagstatistiek voor deze regimes staat vermeld in tabel 18 in Buishand et al. (2009).

Tabel 3.4 geeft voor de vier neerslagregimes een schatting 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 en 2100.

Tabel 3.4. Schatting van de neerslaghoeveelheid (mm) in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het huidige klimaat (1906-2003), rond 2050, en rond 2100 voor de vier neerslagregimes (voor neerslag regime zie figuur 3.17).

Neerslag Regime	1906-2003	2050				2100			
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
L	50	57	53	64	55	64	55	77	60
G	54	61	57	69	59	69	59	83	65
H	58	66	61	74	64	74	64	89	70
H+	62	70	65	79	68	79	68	95	74

De KNMI'06 scenario's bevatten geen ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering tussen de kustregio's en de regio's landinwaarts. Nader onderzoek naar aanleiding van de extreme neerslag in augustus 2006 en de rol van het warme Noordzee water, geven aan dat de gebruikte temperatuurafhankelijkheden voor extreme zomerneerslag in de G+ en W+ scenario's waarschijnlijk te laag zijn voor de kustregio's (tot ong. 30 km landinwaarts). Daardoor lijkt de kans op wateroverlast in de kustregio's onder de G+ en W+ scenario's onderschat. De waarden voor de G en W scenario's geven een aannemelijke bovenlimiet voor de veranderingen in de G+ en W+ scenario's (Bessembinder et al., 2008).

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

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).



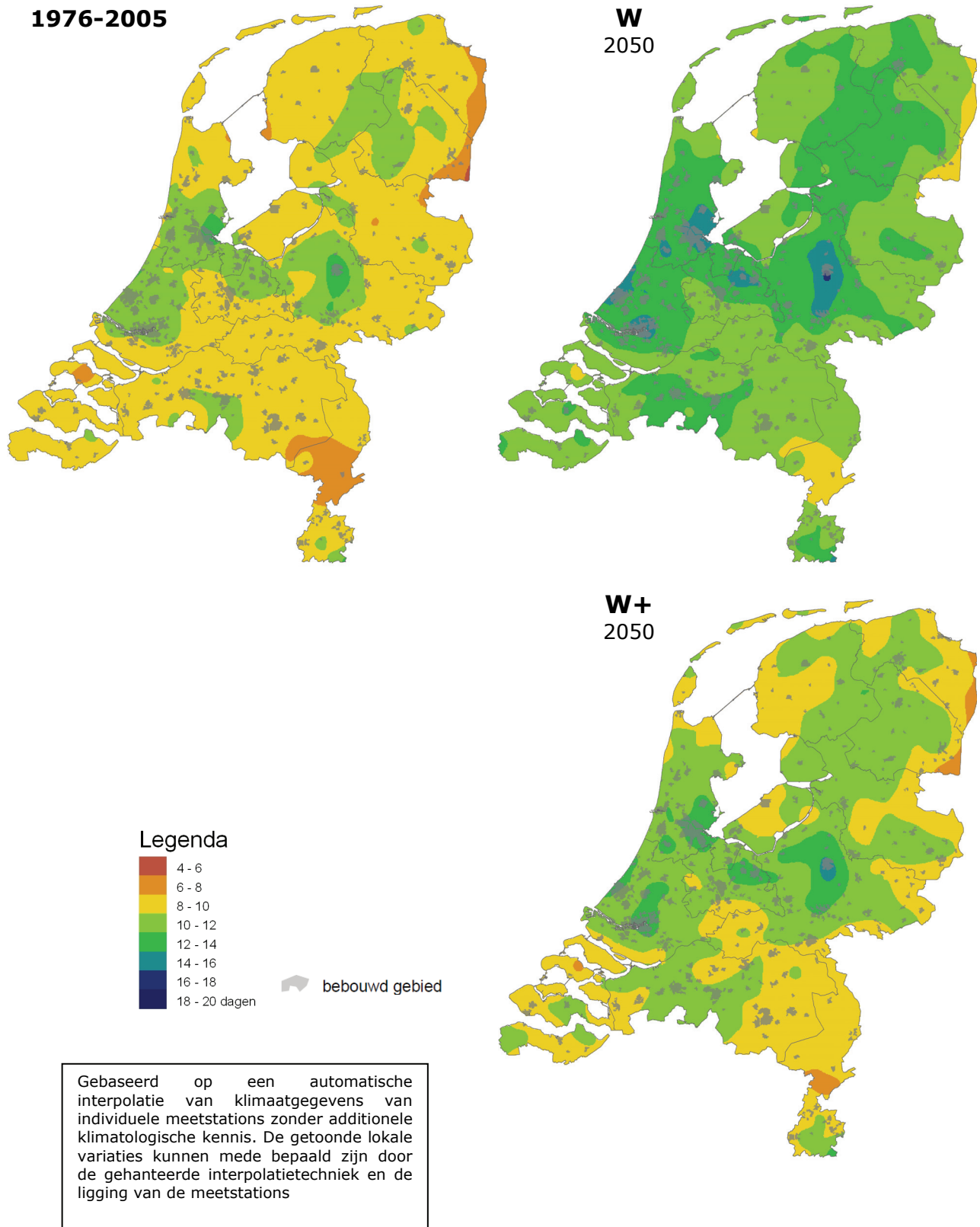
Wateroverlast in Egmond aan Zee, augustus 2006 (foto: Peter de Graaff)

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.

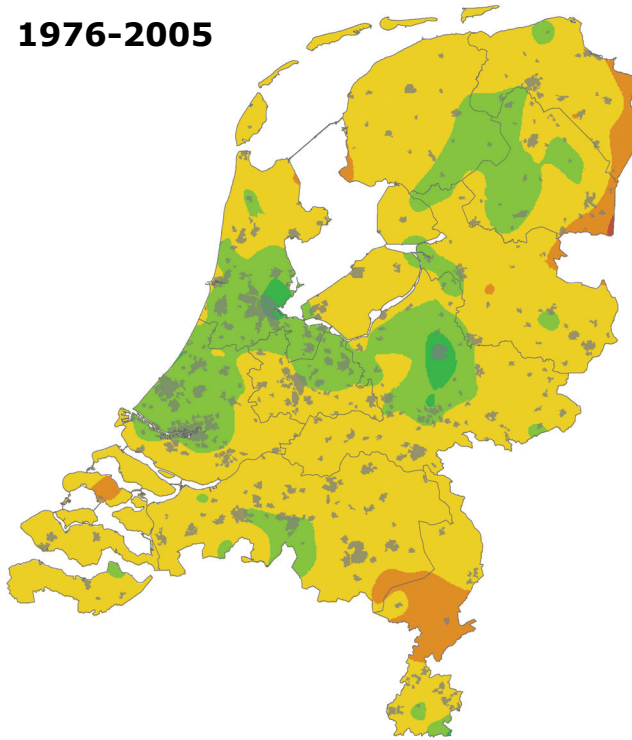
De gemiddelde neerslag in augustus in Nederland in de periode 1971-2000 is 62 mm. In augustus 2006 viel er gemiddeld over het land 184 mm. Op diverse stations werd die maand de 300 mm overschreden (KNMI, 2008). Er waren grote regionale verschillen in neerslag, maar dat is normaal voor de zomermaanden. 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 viel op 2 augustus zelfs 93 mm.

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!

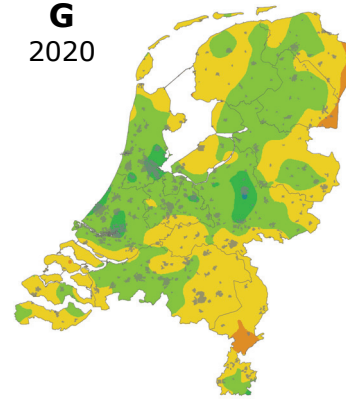


Figuur 3.18 Het gemiddelde aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (links; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-neerslagstations, zonder additionele klimatologische kennis.

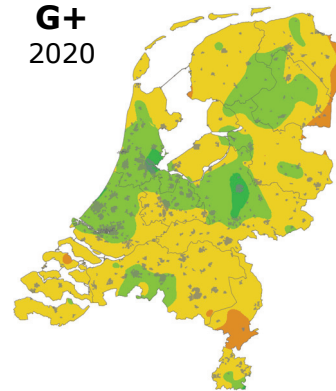
1976-2005



G
2020



G+
2020

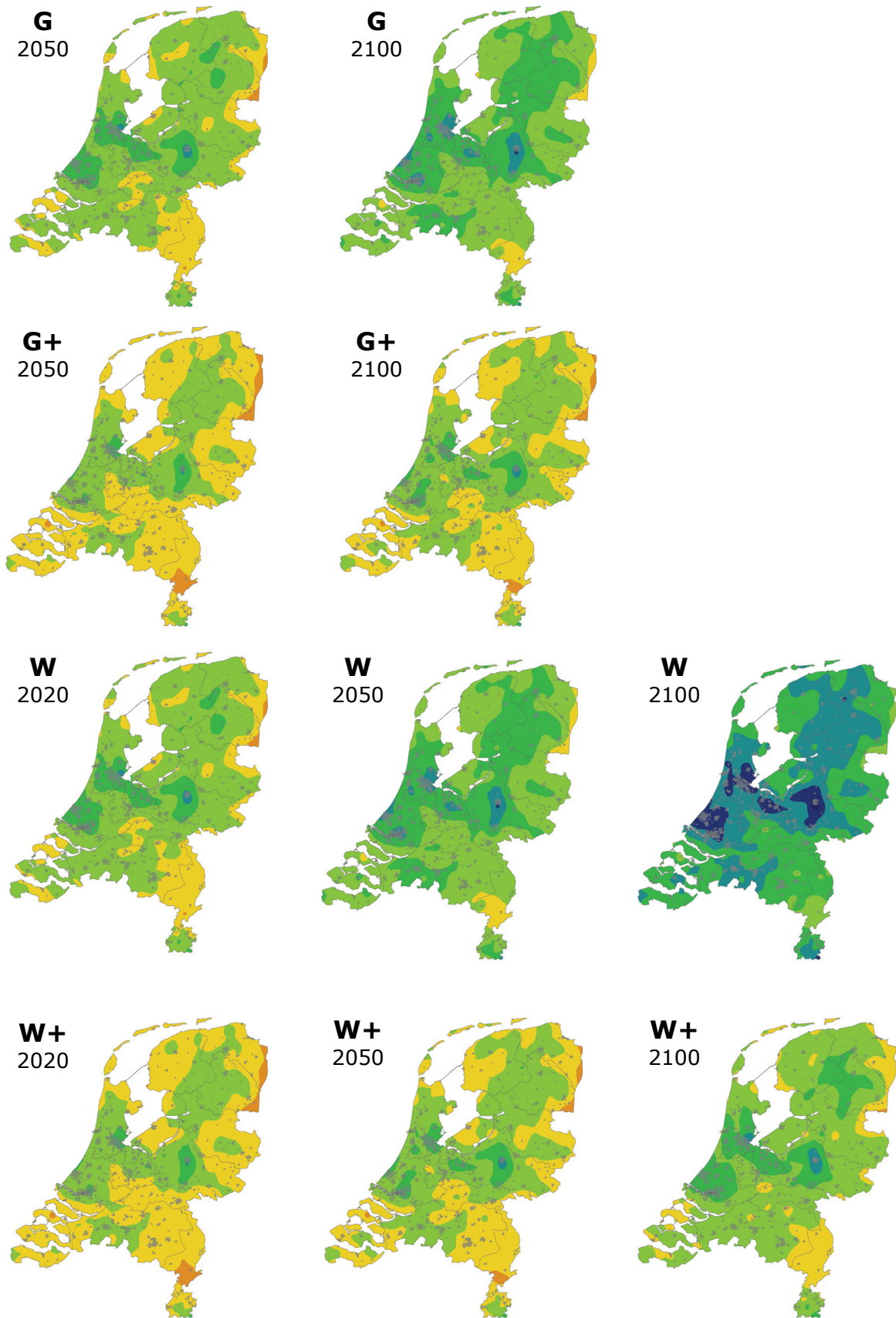


Legenda



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 3.19 Verloop in de tijd van de verandering in het gemiddelde aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (links; 1976-2005), rond 2020, rond 2050 en rond 2100 voor de 4 KNMI'06 scenario's. 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.



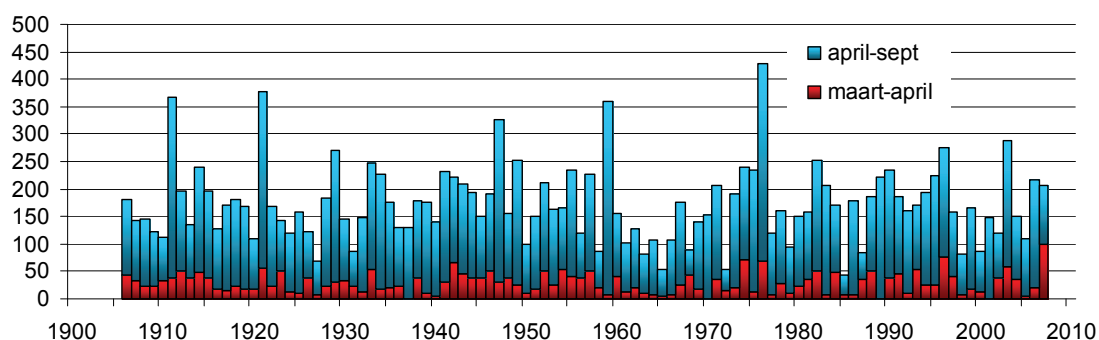
Vervolg Figuur 3.19. Verandering in G en G+ 2x zo langzaam als in W en W+.

3.4 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 planten². Bij een groot neerslagtekort wordt de groei van planten beperkt door watertekort (als er niet berekend wordt of er water via het grondwater beschikbaar is). 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 230 mm gemiddeld over Nederland), maar 1976 was nog veel droger in termen van neerslagtekort (360 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.

Huidige trends

Figuur 3.20 geeft het maximale neerslagtekort gedurende het zomerhalfjaar. Er is tussen 1906 en 2007 geen trend in het maximale neerslagtekort waarneembaar. Het maximale neerslagtekort in 1976, van 360 millimeter gemiddeld in Nederland, komt ongeveer eens per negentig jaar voor, en een maximaal neerslagtekort van 230 millimeter, zoals in 2003, gemiddeld ongeveer eens per tien jaar.



Figuur 3.20. Het maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar (april t/m september in blauw) en in het voorjaar (maart en april in rood) vanaf 1906 (bron: KNMI, 2008).

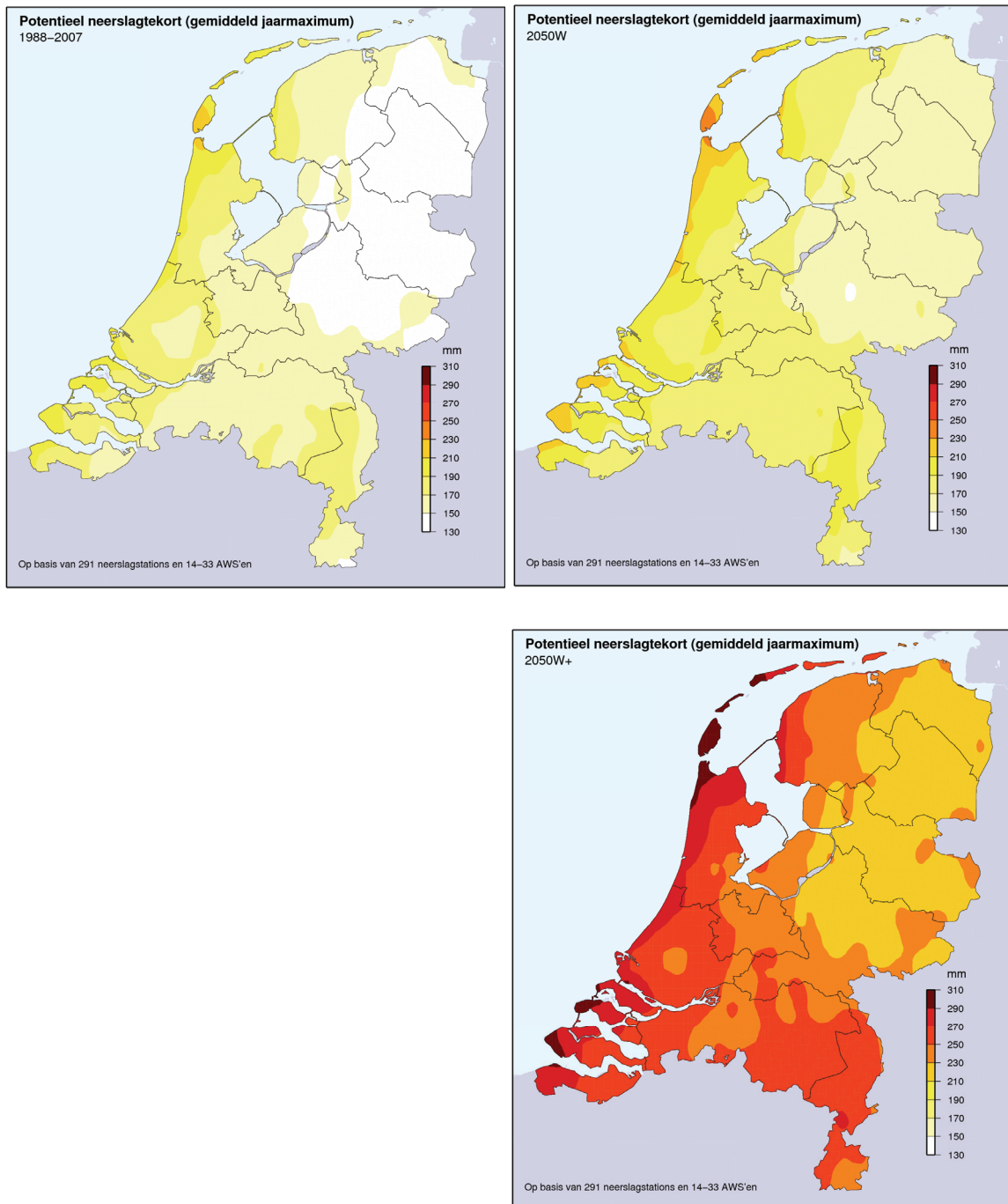
Toekomstige trends

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 G+ en W+ 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 G+ en W+ scenario's ook het sterkst af.

Tabel 3.5. Gemiddeld neerslagtekort in de huidige situatie en in de vier KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (vanaf 1 april).

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

² Als het groeiseizoen veel eerder gaat starten als gevolg van klimaatverandering moet mogelijk op termijn het neerslagtekort ook vanaf een eerder tijdstip in het jaar berekend worden. Figuur 3.20 geeft ook het maximale neerslagtekort in de maanden maart-april.



Figuur 3.21. Het gemiddelde maximale neerslagtekort (ofwel potentieel neerslagtekort; april-september) per jaar in het huidige klimaat (links; 1988-2007), en rond 2050 voor het W-scenario (rechtsboven) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

In de bovenstaande tabel 3.5 is te zien dat het gemiddelde maximale neerslagtekort in de G+ en W+ scenario's duidelijk toeneemt, met andere woorden het wordt droger in deze scenario's in de zomer. In de G en W scenario's verandert het gemiddelde maximale neerslagtekort weinig. Figuur 3.21 laat het gemiddelde maximale neerslagtekort zien in het huidige klimaat en rond 2050. Net als in tabel 3.5 is in de figuur te zien dat het maximale neerslagtekort in het W-scenario niet veel toeneemt, maar in het W+-scenario wel. Daarbij moet ook bedacht worden dat planten het beschikbare water bij hogere CO₂ concentraties in de lucht, zoals we verwachten voor 2050, efficiënter kunnen gebruiken.

Dit effect wordt niet meegenomen in de formule van Makkink voor potentiële verdamping. De getallen in Tabel 3.5 en figuur 3.21 overschatten dus mogelijk enigszins het gemiddelde maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar in de toekomst.

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.

Doordat er binnen Nederland regionale verschillen zijn in neerslag en verdamping bestaan er ook regionale verschillen in het maximale neerslagtekort en het moment in het jaar waarop dat wordt behaald. In de vroege zomer hebben de kustregio's vaak iets minder bewolking dan meer landinwaarts gelegen regio's. Het gevolg is dat er aan de kust dan vaak iets minder neerslag valt en dat de zonneshijnduur en dus de verdamping er iets groter zijn. Beide effecten leiden tot een groter neerslagtekort.

In tabel 3.6 is Nederland opgedeeld in zes regio's en wordt voor elk van deze regio's zowel voor 1976 als voor 2003 het maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar met de bijbehorende herhalingsstijd gegeven.

Tabel 3.6. Maximaal neerslagtekort (mm) in het zomerhalfjaar in 1976 en 2003 voor zes verschillende regio's en voor Nederland als geheel met de bijbehorende herhalingsstijden in jaren tussen haakjes.

Jaar	Kustregio's			Landregio's			NL
	Noord-west	Midden-west	Zeeland	Noord-oost	Midden-oost	Maas-gebied	
1976	410 (85)	390 (90)	445 (190)	335 (60)	310 (45)	380 (95)	360 (90)
2003	290 (13)	260 (12)	265 (8)	180 (5)	185 (7)	190 (4)	230 ³ (10)



Landschap in De Peel: geen last van droogte?

³ Het neerslagtekort wordt soms op verschillende manieren berekend, waardoor er verschillende getallen voor het neerslagtekort voor 2003 in omloop zijn. Zie bijlage 4 voor meer informatie.

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 als het grondwater niet kunstmatig op peil wordt gehouden).

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 3.5; Beersma et al., 2004). Ook de jaren 1995 en 1996 waren vrij droog met een neerslagtekort van bijna 200 mm (herhalingstijd eens in de 6-7 jaar). 1976 was het droogste jaar in de afgelopen eeuw met een neerslagtekort gemiddeld in Nederland van 361 mm (herhalingstijd eens in de ong. 90 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.

3.5 Zonneschijn

Huidige trends

Sinds de vroege jaren zeventig wordt de hoeveelheid zonnestraling die direct en indirect de grond bereikt goed gemeten in Nederland. Zowel de hoeveelheid wolken als de helderheid van de lucht beïnvloeden deze metingen. Tot ongeveer 1985 was er in de lente en zomer een lichte afname van de hoeveelheid zonneschijn en daarna een sterke toename. De luchtvervuiling met stofdeeltjes (aërosolen) in de jaren zeventig en tachtig zorgde ervoor dat minder zonnestraling de grond bereikte. De afgelopen twintig jaar is de lucht weer schoner geworden, waardoor de zonnestraling aan de grond is toegenomen. Er is echter een tweede effect zichtbaar in de metingen van de zonnestraling: een gestage toename over de hele meetperiode, zowel in de lente als in de zomer, voornamelijk bij oosten- en zuidenwind. Deze stijging wordt op alle stations waargenomen bovenop de verandering door luchtvervuiling met stofdeeltjes. De toename in de gemeten zonnestraling aan de grond is waarschijnlijk een gevolg van een afname van de bewolking, vooral bij zuidelijke wind, als droge en warme lucht uit het snel opwarmende Zuid-Europa wordt aangevoerd (KNMI, 2008).

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 tweemaal zoveel in 2100). Daarom verwachten we een toename van het aantal uren zonneschijn.

Ruimtelijke patronen

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde jaarlijkse zonneschijnduur. Op maandbasis is het gemiddeld aantal zonneschijnuren aan de kust meestal ook hoger dan landinwaarts, maar dit verschil is sterker in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000'; KNMI, 2002).

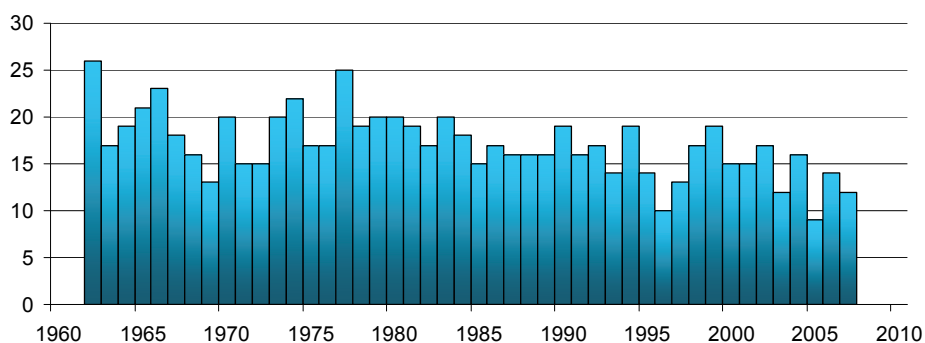


Winterzon in Rhenen, Utrecht

3.6 Wind

Huidige trends

Ondanks de grote jaar-op-jaar variabiliteit van de wind in Nederland is er sprake van een lichte daling van de gemiddelde windsterkte. Nederland is te klein en de meetreeksen zijn te kort om veranderingen in het aantal zware stormen bij ons vast te kunnen stellen. Daarvoor komen ze te weinig voor. Maar volgens metingen op KNMI-stations sinds 1962 neemt het aantal periodes met sterke wind (vanaf windkracht 6 in het binnenland en vanaf windkracht 7 aan de kust) in Nederland af daling de afgelopen jaren. De storm van 18 januari 2007 was de enige zware storm in de periode 2003-2007.



Figuur 3.22. Aantal periodes met sterke wind (vanaf windkracht 6 in het binnenland en vanaf windkracht 7 aan de kust) volgens metingen op KNMI-stations (bron KNMI, 2008).

Extreme stormen, waarvan de sterkte en herhalingstijd niet kunnen worden afgeleid op basis van een extrapolatie van waargenomen minder extreme stormen, worden ook wel superstormen genoemd. Op dit moment zijn er geen aanwijzingen dat er in het huidige klimaat in het gebied rond Nederland superstormen kunnen voorkomen (Bessembinder et al., 2008).

Toekomstige trends

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

Volgens de KNMI'06 klimaat scenario's, die gebaseerd zijn op dezelfde modellen als gebruikt voor het 4^e Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze 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).

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

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 4). In de winter (december-februari) is de gemiddelde windsnelheid het hoogst, en in de zomer (juni-augustus) het laagst. Dit patroon zal in de toekomst blijven bestaan. Gemiddeld over het jaar blijft de overwegende windrichting zuidwestelijk, ook voor de G+ en W+ scenario's.



Windturbines in Noord Groningen

3.7 Zeespiegel

Huidige trends

De wereldgemiddelde zeespiegelstijging over de 20^{ste} eeuw was 17 cm. In de periode 1993-2003 was de zeespiegelstijging 3,1 mm per jaar. Langs de Nederlandse kust is zo'n versnelling niet waargenomen in de laatste tientallen jaren (data Rijkswaterstaat). Hier is de zeespiegel met een geleidelijke snelheid van 2,5 mm/jaar ($\pm 0,6$ mm/jaar) gestegen in de afgelopen eeuw. In de periode 1990-2006 is de zeespiegel voor onze kust dus met bijna 4 cm gestegen (Katsman et al, 2008).

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. In de KNMI'06 scenario's wordt het gravitatie-effect niet meegenomen. Als dit wel wordt gedaan komen Katsman et al. (2008) op een absolute zeespiegelstijging van 30-50 cm voor de G en G+ scenario's in 2100, en van 40-80 cm voor de W en W+ scenario's in 2100. Voor een vergelijking tussen de KNMI'06 scenario's en de IPCC scenario's wordt verwezen naar Bijlage 4.

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

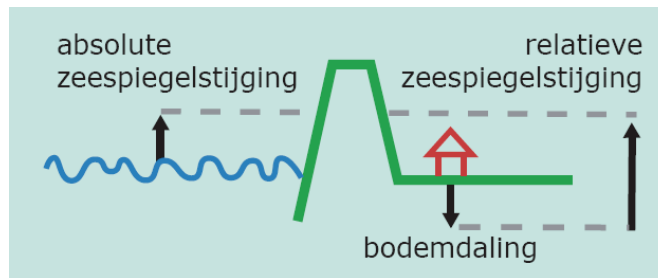
De Groenlandse ijskap zal in het warmere klimaat blijven slinken en dus bijdragen aan zeespiegelstijging. Modelstudies suggereren dat bij een gematigde stijging van de temperatuur de ijskap vrijwel geheel zal verdwijnen in enkele duizenden jaren. De Antarctische ijskap blijft zó koud dat het oppervlak 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.

Het mogelijk versneld afsmelten en/of afkalven van grote ijskappen kan leiden tot een snellere zeespiegelstijging dan vermeld in de KNMI'06 scenario's. De KNMI'06 scenario's geven voor de tweede helft van de 21^{ste} eeuw een bovengrens van 50 cm zeespiegelstijging in 50 jaar (ofwel een snelheid van 1 m per eeuw). Verkenningen van de zeespiegelstijging in de 22^{ste} eeuw geven aan dat het tempo in die periode nog kan versnellen tot een bovengrens van ongeveer 1,5 m per eeuw. Schattingen voor deze zichttermijn zijn echter zeer onzeker vanwege het grote gebrek aan kennis over het gedrag van ijskappen op Groenland en Antarctica (Bessembinder et al., 2008).

Ruimtelijke patronen

De absolute zeespiegelstijging is overal langs de Nederlandse kust gelijk. De wateropzet als gevolg van wind en stormen (vorige paragraaf) 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 3.23). 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 3.23. 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 kan verder landinwaarts dringen via rivieren.



Duinen op Terschelling

4 REFERENTIES

- Beersma, J., T.A. Buishand, & H. Buiteveld, 2004. Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA bijdrage aan de tweedefase van de droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II.
- Beersma, J.J. & T.A. Buishand, 2007. Drought in the Netherlands - Regional frequency analysis versus time series simulation. *J. Hydrol.* 347, pp. 332-346, [doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.042](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.042).
- Bessembinder, J. (ed.) et al., 2008. Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland. KNMI-publicatie 221. 35 pp.
- Brandsma, T., G.P. Können & H.R.A. Wessels, 2003. Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (The Netherlands). *Int. J. Climatology* 23, 829-845.
- Brandsma, T. & J.P. van der Meulen, 2008. Thermometer Screen Intercomparison in De Bilt (the Netherlands), Part II: Description and modeling of mean temperature differences and extremes *Int. J. Climatology*, 1, 28, 3, 389-400, [doi:DOI: 10.1002/joc.1524](https://doi.org/10.1002/joc.1524).
- Buishand, A. & J. Wijngaard, 2008. Statistiek van de extreme neerslag voor het stedelijk waterbeheer. *H₂O* 8, pp. 28-30.
- Buishand, A., R. Jilderda & J. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in Extreme Neerslag. KNMI, KNMI-publicatie: WR-2009-01, pp. 47.
- Conrads, L.A., 1975. Observations of meteorological urban effects. The heat island of Utrecht. PhD thesis University Utrecht. 84 pp.
- Deltacommissie, 2008. Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie 2008. 134 pp.
- Diermanse, F., Ogink, H., van Dansik, J., Gloudemans, E., 2005. Neerslagstatistiek, extreem gevoelig? *H₂O*, jaargang 38, nummer 17, 25-27, Rijswijk.
- Goosen, H., L. Stuyt, M. de Groot, M. den Braber, J. Bessembinder, E. Steingröver, S. van Rooij, F. Witte, & G. Blom-Zandstra, 2009. Klimaateffect Atlas 1.0. Eindrapportage fase 2: Van Schetsboek naar klimaateffectatlas.
- 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.
- Hurk, B.J.J.M. van den, A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout, 2007. New climate change scenarios for the Netherlands. *Water Science and Technology* 56, 4, pp. 27-33, [doi:10.2166/wst.2007.533](https://doi.org/10.2166/wst.2007.533).
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
- Katsman, C.A., W. Hazeleger, S.S. Drijfhout, G.J. van Oldenborgh & G.J.H. Burgers, 2008. Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic Change*.
- KNMI, 2002. Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000. KNMI, De Bilt. KNMI-publicatie: PUBL-199-II.
- KNMI, 2006. Klimaat in de 21^{ste} eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Brochure. KNMI, De Bilt.
- KNMI, 2008. De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI, 47 pp.
- KNMI, 2009. Aanvullingen op de KNMI'06 klimaatscenario's voor Nederland. Brochure KNMI.
- Können, G.P., 2001. Climate Scenarios For Impact Studies In The Netherlands; see www.knmi.nl/klimaatscenarios/vorig/
- Können, G.P. & H.W. Van den Brink, 2008. Extreme stormen en superstormen. *Zenit*, januari 2008, p. 26-31.

- Kors, A., F.A.M. Claessen & J.W. Wesseling, 1999. Scenario's extreme krachten t.b.v. WB21. RIZA en WL|Delft Hydraulics, Nederland.
- Lenderink, G., E. van Meijgaard & F. Selten, 2008. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. *Clim. Dyn.* (accepted)
- Lenderink, G. & E. van Meijgaard, 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 1, 8, pp. 511-514, [doi:10.1038/ngeo262](https://doi.org/10.1038/ngeo262).
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters; *J. Int. Water Eng.* 11, 277-288.
- Raupach, M.R., et al., 2007: Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *PNAS*, 104, 10288-10293
- RWS-Waterdienst/Deltares, 2008. De klimaatbestendigheid van Nederland Waterland; Beleidssamenvatting fase 1. Verkenning van omslagpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. Deltares/Rijkswaterstaat, september 2008
- STOWA, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26. STOWA, 95 pp.
- Van Vuren, S. & J. Kwadijk, 2007. Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en – beleid. WL | delft hydraulics.
- Vellinga, P., C.A. Katsman, A. Sterl en J.J. Beersma (eds), 2008. Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland: een internationale wetenschappelijke beoordeling. KNMI-publicatie: Dit rapport is een publicatie van KNMI en Wageningen UR (Alterra, Earth System Science and Climate Change Group), pp. 178.

BIJLAGE 1 KNMI'06 KLIMAATSCENARIO'S

In deze bijlage vindt u de getallen voor de KNMI'06 klimaatscenario's voor rond 2050 en 2100. Aanvullende gegevens zijn te vinden in KNMI (2009). Tevens wordt een overzicht gegeven van de overeenkomsten en verschillen met de vorige generatie klimaatscenario's, de klimaatscenario's voor de commissie WaterBeheer 21^{ste} eeuw (WB21 scenario's).

Tabel B1.1. Klimaatverandering in Nederland rond **2050** ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005. Onder "winter" wordt hier verstaan december, januari en februari, "zomer" staat gelijk aan juni, juli en augustus.

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

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

Overeenkomsten

- De IPCC 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" 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" scenario gebruikt als in de nieuwe W en W+ scenario's;
- Als basisjaar wordt 1990 gebruikt (de gebruikte referentie periode om het klimaat in 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 waarschijnlijke range uit het IPCC rapport uit 2001. 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 (vergelijk voor de winter de "10-daagse som (winterhalfjaar)" met "10-daagse som, eens in de 10 jaar overschreden (DJF)"; vergelijk voor de zomer de "intensiteit in buien" met "dagsom, eens in 10 jaar overschreden (JJA)");
- In de WB21 scenario's werd nog de relatieve zeespiegelstijging (inclusief bodemdaling) gegeven. De waargenomen bodemdaling in de 20^{ste} eeuw varieerde echter zo sterk per locatie (0-40 cm), dat het weinig relevant lijkt een gemiddelde bodemdaling voor Nederland te gebruiken.

Tabel B1.2. Klimaatverandering in Nederland rond **2100** ten opzichte van het basisjaar 1990 volgens de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005. Onder "winter" wordt hier verstaan december, januari en februari, "zomer" staat gelijk aan juni, juli en augustus.

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

* In Katsman et al. (2008) worden de volgende getallen genoemd 30-50 cm voor de G en G+ scenario's in 2100, en 40-80 cm voor de W en W+ scenario's in 2100. Met name het gravitatie-effect zorgt voor de iets andere getallen. Dit proces is in de KNMI-scenario's uit 2006 niet meegenomen.

Tabel B1.3. Beknopte vergelijking van de WB21 en KNMI'06 scenario's voor 2050.

Variabele	laag WB21	midden WB21	G '06	hoog WB21	W '06	hoog droog*	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

*Data voor het "Hoog en droog scenario" zijn de data gebruikt in de "Droogtestudie" (Beersma et al, 2004).

** De definities voor neerslagextremen in de WB21 en de KNMI'06 scenario's verschillen enigszins. In de WB21 scenario's worden getallen voor het zomer- en winterhalfjaar gegeven in de KNMI'06 voor de zomermaanden (juni-augustus) en de wintermaanden (december-februari), en bij de WB21 scenario's wordt niet expliciet een herhalingstijd genoemd.

** In Katsman et al. (2008) worden de volgende getallen genoemd 30-50 cm voor de G en G+ scenario's in 2100, en tot 40-80 cm voor de W en W+ scenario's in 2100. Met name het gravitatie-effect zorgt voor de iets andere getallen. Dit proces was in de KNMI-scenario's uit 2006 nog niet meegenomen.

BIJLAGE 2 INTERPRETATIE VAN DE KAARTEN

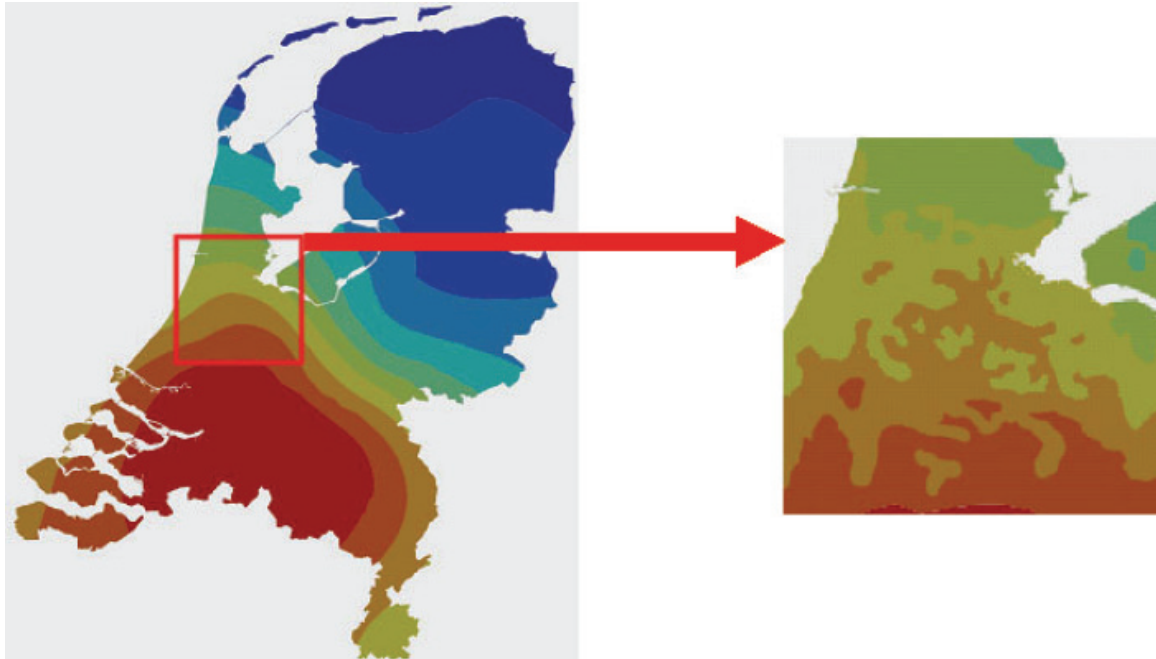
Door klimaatgegevens op kaarten te zetten kan de indruk gewekt worden van een grote geografische nauwkeurigheid. Dit is niet het geval, ook niet voor het huidige klimaat voor de toekomst. De contourlijnen zijn geen exacte scheidingen. Verder is het belangrijk om te beseffen dat er vaak geen één op één 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 dit klimaatschetsboek is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis. Voor dit rapport waren voor temperatuur 20 KNMI-stations beschikbaar (19 gebruikt voor het maken van de kaarten; bijlage 5) en voor neerslag zijn 281 KNMI-neerslagstations gebruikt (en voor neerslagtekort zijn 14-33 stations gebruikt voor het berekenen van de potentiële verdamping). Om voor punten tussen deze stations een waarde te bepalen, is een interpolatieschema gebruikt (zie bijlage 5). 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;
- 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 dit schetsboek zijn geen kaarten opgenomen waarvan de globale ruimtelijke patronen niet goed zijn. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de lokale patronen wordt verwezen naar "Klimaatatlas 1971-2000" (KNMI, 2002);
- Het aantal van 20 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 niet weergegeven in de kaarten in dit schetsboek;
- De kaarten in Hoofdstuk 3 voor neerslagvariabelen zijn gegenereerd op basis van gegevens van ruim 280 KNMI-neerslagstations in Nederland. 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);
- 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.



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

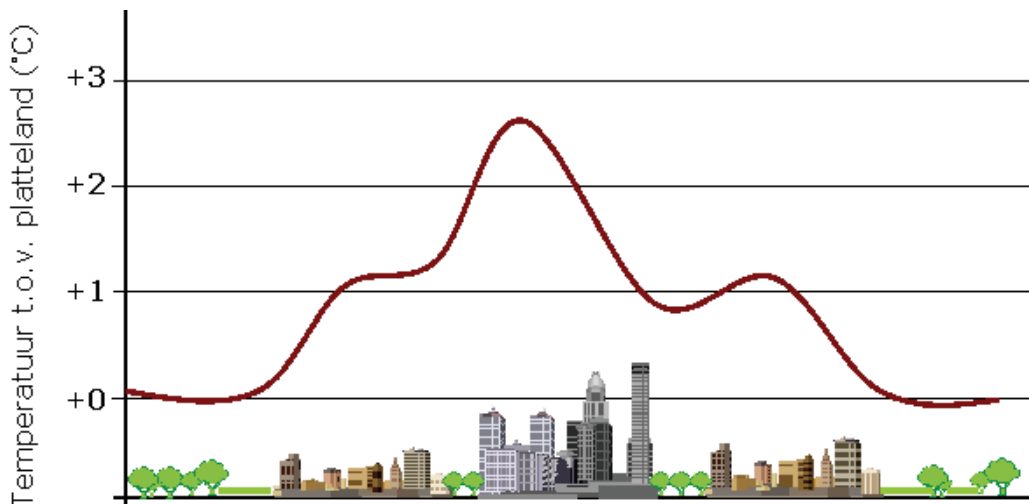
BIJLAGE 3 HET STADSEFFECT

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter niet systematisch metingen in steden ten behoeve van weersvoorspellingen of voor klimatologie⁴. 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 ("Urban Heat Island", UHI), waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen e.d. Deze warmte wordt 's nachts vertraagd weer afgegeven. De grootte van het temperatuurverschil tussen de stad en het omringende platteland is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Voor een stad als Utrecht bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstille, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5°C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld was het centrum van de stad Utrecht ca. 1,1°C warmer dan het omringende platteland rond 1970 (Conrads, 1975). De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag.



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

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

⁴ In 2008 zijn er gedurende langere tijd wel temperatuurprofielen door de stad Utrecht gemeten door het KNMI. In een Kennis voor Klimaat project wordt er bovendien door KNMI en WUR gewerkt aan een eerste schatting van het UHI-effect in Zuid-Holland in 2009-2010 op basis van alternatieve bronnen van temperatuurmetingen.

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.

Binnen het Klimaat voor Ruimte programma worden enkele projecten uitgevoerd met betrekking tot klimaat in de stad (COM22 - Definitiestudie Hitte in de stad; COM23 - Definitiestudie waterrobuust bouwen; COM29 - Klimaat in de stedelijke omgeving; A17 - Dialoogproject Klimaat in de stad). Ook binnen het Kennis voor Klimaat programma wordt er specifiek aandacht besteed aan het UHI-effect en de effecten van Hittestress.

BIJLAGE 4 PRIMAIRE EFFECTEN: ADDITIONELE INFORMATIE

Voor de interpretatie van de kaarten wordt aangeraden eerst paragraaf 3.1 en bijlage 2 te lezen. Voor meer informatie over hoe de kaarten zijn gemaakt wordt verwezen naar Bijlage 5 (Methodieken klimatologische kaarten). De KNMI'06 scenario's gaan uit van dezelfde verandering in temperatuur, neerslag, en wind voor heel Nederland. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Nederland te rechtvaardigen⁵. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de 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. De mogelijke veranderingen in luchtstromingspatronen (in de G+ en W+ klimaatscenario's) zullen deze ruimtelijke patronen niet of nauwelijks veranderen.

B4.1 Temperatuur

Huidige klimaat

Alle jaren van 2003 tot 2008 zijn ruim warmer geweest dan het langjarige gemiddelde van 9,8 °C. Drie ervan staan hoog in de lijst van warmste jaren sinds het begin van de regelmatige metingen in 1706 (tabel B4.1).

Tabel B4.1. Hoogste jaartemperatuur vanaf 1706 in De Bilt. De jaartemperatuur in De Bilt is representatief voor Nederland. Van 1706 tot 1900 zijn de gegevens herleid uit metingen in Zwanenburg en Utrecht.

Jaar	Temperatuur (°C)
2007, 2006	11,2
2000, 1999, 1990	10,9
2002	10,8
2005, 1989, 1779	10,7
1994, 2008	10,6
2001, 1998, 1995	10,4

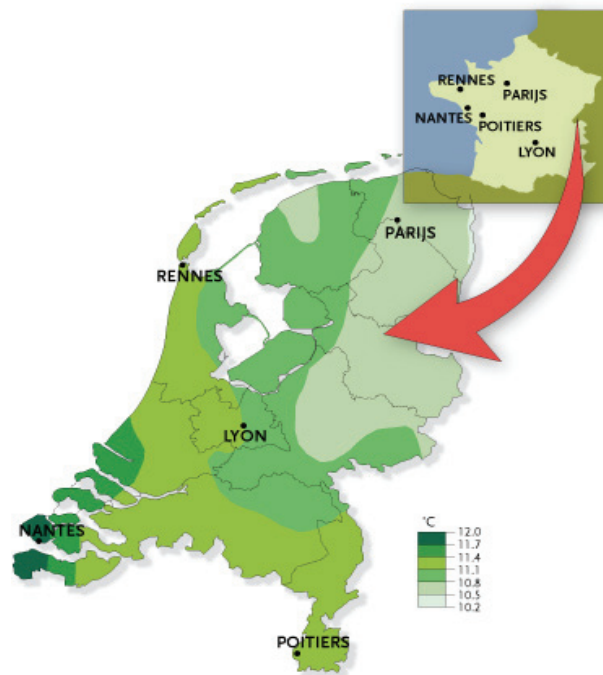
Als we de recente warmte in perspectief zetten (zie figuur B4.1), dan blijkt dat de gemiddelde temperaturen in Nederland in 2006 en 2007 vergelijkbaar waren met langjarige gemiddelde temperaturen in midden-Frankrijk tegen het eind van de vorige eeuw (1961-1990). Dat gebied ligt ongeveer 600-800 kilometer zuidelijk van ons land.

Rond 2050 zou de maximum temperatuur in de zomer in De Bilt, volgens de W en W+ scenario's, vergelijkbaar zijn met de huidige maximum temperatuur rond Parijs (station Parc Montsouris; 1976-2005) in de zomer (<http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/faq/>).

Trend in gemiddelde temperaturen

Figuren B4.2 en B4.3 geven een vertaling van de klimaatscenario's naar gemiddelde minimum- en maximumtemperaturen in de winter en zomer voor het G en W+ scenario. Deze gegevens zijn gegenereerd met behulp van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. De G en W+ scenario's geven respectievelijk de kleinste en grootste veranderingen in de KNMI'06 scenario's weer voor temperatuur. Rond 2100 ligt de gemiddelde waarde voor het W+ scenario buiten de 80% range voor het G-scenario (m.a.w. dan is er sprake van duidelijke verschillen tussen deze scenario's).

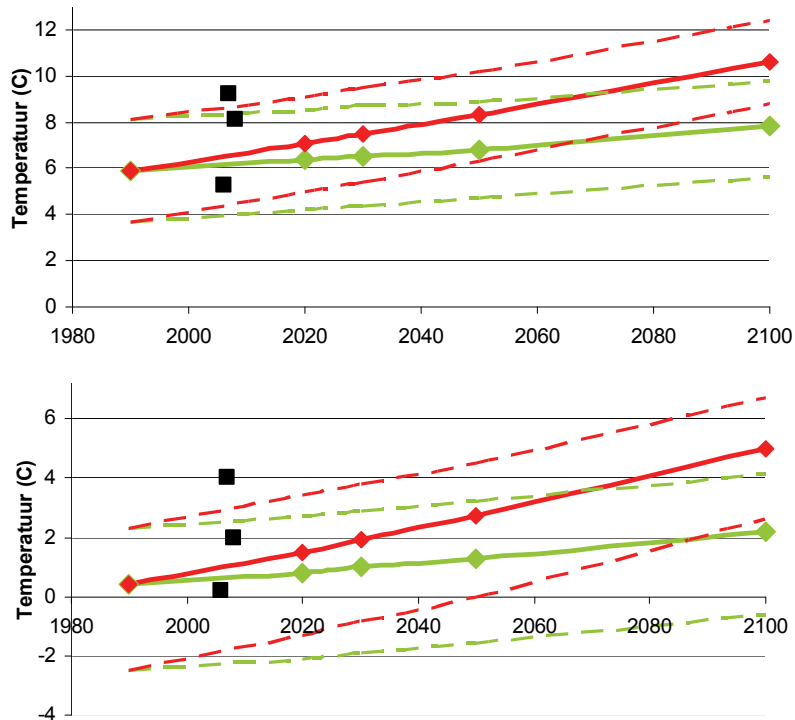
⁵ Alleen voor neerslag kan inmiddels iets gezegd worden over regionale verschillen in klimaatverandering (zie KNMI, 2009).



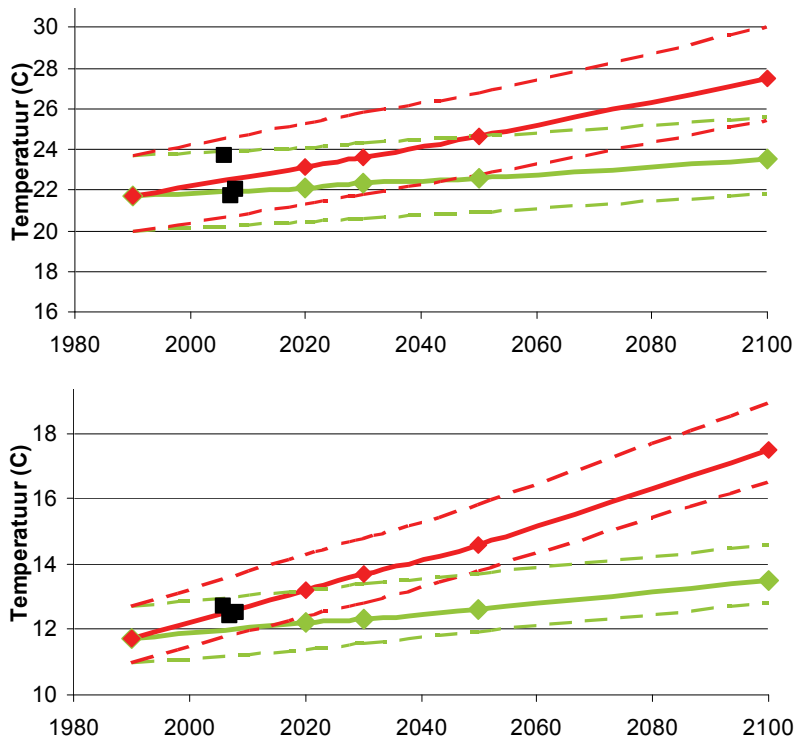
Figuur B4.1. De jaargemiddelde temperatuur zoals die op Nederlandse stations in 2006 en 2007 werd geregistreerd was gelijk aan het langjarig gemiddelde (1961-1990) van de temperatuur bij steden in Frankrijk, op een afstand van 600 tot 800 km zuidelijk van ons land.

Dagelijkse gang van de temperatuur

Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur 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 waarschijnlijke afname van de bewolking daarbij 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).



Figuur B4.2. Verloop in de tijd van de gemiddelde minimumtemperaturen (beneden) en maximumtemperaturen (boven) in de winter (december-februari) in De Bilt volgens het G-scenario (groen) en het W+-scenario (rood). De stippellijnen geven de range aan waarbinnen de gemiddelde temperaturen in 8 van de 10 jaar vallen. De zwarte stippen geven de gemeten waarden voor de winters 2005/2006, 2006/2007 en 2007/2008.



Figuur B4.3. Verloop in de tijd van de gemiddelde minimumtemperaturen (beneden) en maximumtemperaturen (boven) in de zomer (juni-augustus) in De Bilt volgens het G-scenario (groen) en het W+-scenario (rood). De stippellijnen geven de range aan waarbinnen de gemiddelde temperaturen in 8 van de 10 jaar vallen. De zwarte stippen geven de gemeten waarden voor de zomers 2006, 2007 en 2008.

Temperatuur extremen

Tabel B4.2. en Tabel B4.3 geven voor een aantal stations in Nederland aanvullende informatie over de hoogste maximumtemperatuur per jaar en de laagste minimumtemperatuur per jaar voor verschillende tijdshorizonten en voor de vier KNMI'06 klimaatscenario's.

Tabel B4.2. Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur in verschillende plaatsen in Nederland in het huidige klimaat (1976-2005), rond 2050*, en rond 2100 voor de verschillende KNMI'06 scenario's (gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/).

Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur									
Station	1976-2005	2050				2100			
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
De Kooy (NH)	29,3	30,4	31,4	31,5	33,5	31,5	33,5	33,8	37,8
De Bilt	31,8	32,9	33,9	34,0	36,0	34,0	36,0	36,2	40,2
Leeuwarden	30,3	31,5	32,5	32,6	34,6	32,6	34,6	34,9	38,9
Deelen	32,1	33,2	34,1	34,3	36,2	34,3	36,2	36,4	40,3
Eelde	31,9	33,0	33,9	34,1	35,9	34,1	35,9	36,3	40,0
Twenthe	31,7	32,8	33,7	33,9	35,8	33,9	35,8	36,0	39,9
Vlissingen	30,2	31,3	32,3	32,4	34,3	32,4	34,3	34,6	38,6
Rotterdam	31,0	32,1	33,1	33,2	35,2	33,2	35,2	35,4	39,5
Eindhoven	32,6	33,7	34,7	34,8	36,7	34,8	36,7	37,0	40,9
Maastricht	32,7	33,8	34,8	34,9	36,9	34,9	36,9	37,1	41,1
Lelystad	30,9	32,0	32,9	33,1	35,0	33,1	35,0	35,3	39,1

* De verandering in 2020 en 2030 worden gegeven in een bijgevoegde Excel sheet.

Tabel B4.3. Gemiddelde jaarlijkse laagste minimumtemperatuur in verschillende plaatsen in Nederland in het huidige klimaat (1976-2005), rond 2050*, en rond 2100 voor de verschillende KNMI'06 scenario's (gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/).

Gemiddelde jaarlijkse laagste minimumtemperatuur									
Station	1976-2005	2050				2100			
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
De Kooy (NH)	-9,0	-8,0	-7,5	-6,9	-6,0	-6,9	-6,0	-4,9	-3,0
De Bilt	-10,9	-9,9	-9,4	-8,8	-7,9	-8,8	-7,9	-6,7	-4,8
Leeuwarden	-11,8	-10,8	-10,3	-9,7	-8,8	-9,7	-8,8	-7,6	-5,8
Deelen	-12,5	-11,4	-10,9	-10,4	-9,4	-10,4	-9,4	-8,2	-6,3
Eelde	-12,5	-11,4	-10,9	-10,4	-9,4	-10,4	-9,4	-8,2	-6,3
Twenthe	-12,8	-11,7	-11,2	-10,7	-9,7	-10,7	-9,7	-8,5	-6,6
Vlissingen	-6,1	-5,0	-4,5	-4,0	-3,1	-4,0	-3,1	-1,9	0,0
Rotterdam	-10,2	-9,2	-8,7	-8,1	-7,2	-8,1	-7,2	-6,0	-4,2
Eindhoven	-11,0	-10,0	-9,5	-8,9	-7,9	-8,9	-7,9	-6,8	-4,8
Maastricht	-10,8	-9,8	-9,3	-8,7	-7,8	-8,7	-7,8	-6,6	-4,7
Lelystad	-12,0	-11,0	-10,6	-10,0	-9,1	-10,0	-9,1	-8,0	-6,1

* De verandering in 2020 en 2030 worden gegeven in een bijgevoegde Excel sheet.

Andere beschikbare gegevens

Gegevens voor andere stations in Nederland (20 stations, of gecombineerde stations), voor andere seizoenen, andere tijdshorizonten en klimaatvariabelen zijn te vinden in de bijgevoegde Excel sheet. Beschikbare gegevens:

- gemiddelde maximumtemperatuur per jaar, voor de winter, de lente, de zomer, de herfst; gemiddelde minimumtemperatuur per jaar, voor de winter, de lente, de zomer, de herfst;
- aantal warme, zomerse en tropische dagen;
- aantal vorstdagen en ijsdagen;
- gemiddelde hoogste jaarlijkse maximumtemperatuur;
- gemiddelde laagste jaarlijkse minimumtemperatuur.

Voor de bovenstaande gegevens is zowel de gemiddelde waarde gegeven, als de waarde die eens in de 10 jaar wordt overschreden (90% percentiel) en de waarde die eens in de 10 jaar wordt "onderschreden" (10% percentiel).

De GIS-bestanden voor de klimaatvariabelen die in dit schetsboek worden gepresenteerd zijn ook geleverd aan de provincies voor het huidige klimaat (1976-2005) en alle vier de KNMI'06 klimaatscenario's voor de tijdshorizonten 2020, 2030, 2050 en 2100.

Wijzigingen ten opzichte van de provinciale klimaateffetschetsboeken

De kaarten in dit klimaatschetsboek en de onderliggende database met gegevens per station verschillen op enkele punten van de kaarten en data in de provinciale klimaateffetschetsboeken. Er zijn enkele verbeteringen doorgevoerd. Voor een verdere toelichting wordt verwezen naar bijlage 5.

B4.2 Neerslag

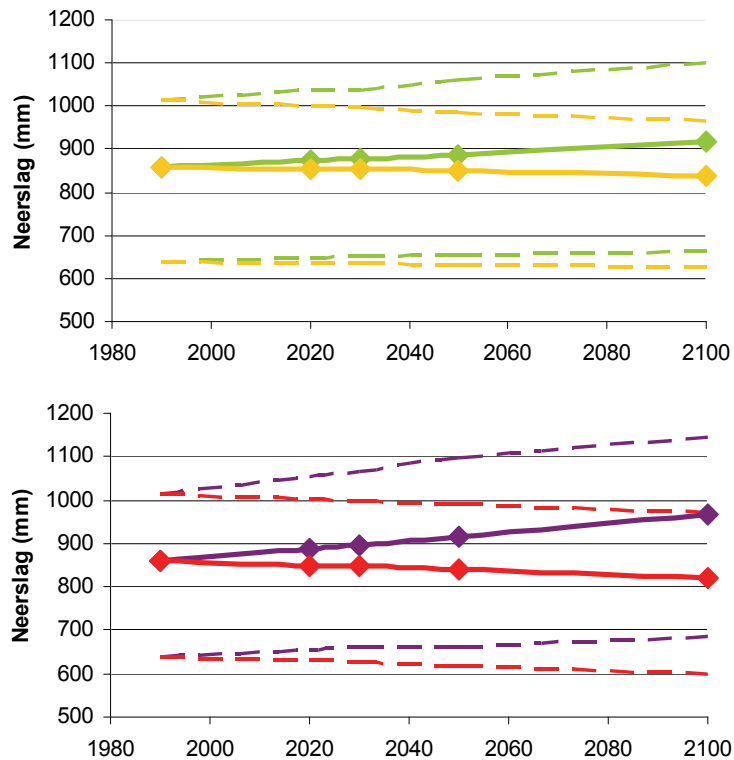
Trend in gemiddelde neerslag

Figuur B4.4 geeft een vertaling van de klimaatscenario's naar de gemiddelde jaarneerslag in De Bilt. Deze gegevens zijn gegenereerd met behulp van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. De gemiddelde jaarneerslag neemt in de scenario's G/W toe en in de scenario's G+/W+ af. Merk op dat de veranderingen in de verdeling van de neerslag over het jaar duidelijk verschillen tussen de G/W en G+/W+ scenario's.

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 G+ en W+ scenario's 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).

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). Alleen voor De Bilt was een dergelijke lange tijdreeks beschikbaar. Er kan 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. 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). Nader onderzoek heeft uitgewezen dat deze schaling weliswaar goed werkt voor een groot deel van Nederland, maar ook dat er gebieden zijn waar dit leidt tot onder- of overschatting (Buishand et al., 2009). Figuur 3.17 geeft een indruk van de regionale verschillen: voor het groene gebied kan de neerslagstatistiek van De Bilt worden gebruikt, voor het oranje gebied zijn de extremen lager, en voor het blauwe gebied hoger.



Figuur B4.4. Verloop in de tijd van de gemiddelde jaarneerslag in De Bilt volgens het G-scenario (groen), het G+-scenario (geel), het W-scenario (paars) en het W+-scenario (rood). De stippellijnen geven de range aan waarbinnen de jaargemiddelde neerslag in 8 van de 10 jaar valt.

Tabel 4.4 geeft voor de vier neerslagregimes een schatting 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 en 2100. Daarbij is de verandering in de zomermaanden gebruikt, omdat jaarmaxima meestal in deze maanden vallen (zie figuur 3B in STOWA-rapport, 2004).

Tabel B4.4. Schatting van de neerslaghoeveelheid (mm) in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het huidige klimaat (1906-2003), rond 2050, en rond 2100 voor de vier neerslagregimes.

Neerslag Regime	1906-2003	2050				2100			
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
L	50	57	53	64	55	64	55	77	60
G	54	61	57	69	59	69	59	83	65
H	58	66	61	74	64	74	64	89	70
H+	62	70	65	79	68	79	68	95	74

Tabel B4.5. geeft een overzicht van het aantal dagen met minimaal 15 mm voor verschillende stations in Nederland voor het huidige klimaat en voor de toekomst onder de verschillende scenario's. Uit de tabel is af te leiden dat het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag in alle scenario's toeneemt. In de G+ en W+ scenario's 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.

Tabel B4.5. Gemiddeld aantal dagen met ≥ 15 mm per jaar voor het huidige klimaat (1976-2005), rond 2050*, en rond 2100 voor de verschillende KNMI'06 scenario's in verschillende plaatsen in Nederland (gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/).

Gemiddeld aantal dagen met ≥ 15 mm per jaar									
Station	1976-2005	2050				2100			
		G	G+	W	W+	G	G+	W	W+
De Kooy (NH)	9	10	9	11	10	11	10	12	10
De Bilt	10	12	11	14	12	14	12	16	13
Leeuwarden	10	12	10	12	11	12	11	15	12
Deelen	12	13	12	14	13	14	12	16	13
Eelde	9	10	9	11	10	11	10	13	10
Twenthe	9	11	10	12	10	12	10	14	11
Westkapelle	9	10	9	11	9	11	9	13	10
R'dam Waalhaven	11	13	12	14	12	14	12	16	13
Eindhoven	9	10	10	11	10	11	10	13	11
Beek (L)	8	10	9	11	9	11	9	13	10
Harderwijk	9	10	9	12	10	12	10	14	11
Hoogeveen	10	12	11	13	11	13	11	15	12

* De verandering in 2020 en 2030 worden gegeven in een bijgevoegde Excel sheet.

Andere beschikbare gegevens

Neerslaggegevens voor andere stations in Nederland (ruim 280 stations), voor andere seizoenen, andere tijdshorizonten en klimaatvariabelen zijn te vinden in de bijgevoegde Excel sheet. Beschikbare gegevens:

- gemiddelde neerslag per jaar, voor de winter, de lente, de zomer, de herfst, het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar;
- gemiddelde hoogste dagneerslagsom per jaar, per winter, per zomer, per winterhalfjaar, per zomerhalfjaar;
- gemiddelde hoogste 10 daagse neerslagsom per jaar, per winter, per zomer, per winterhalfjaar, per zomerhalfjaar;
- aantal regendagen (≥ 1 mm) per jaar, voor de winter, de lente, de zomer, de herfst, het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar;
- aantal dagen ≥ 15 mm per jaar.

Voor de bovenstaande gegevens is zowel de gemiddelde waarde gegeven, als de waarde die eens in de 10 jaar wordt overschreden (90% percentiel) en de waarde die eens in de 10 jaar wordt "onderschreden" (10% percentiel). Deze percentielen in het bijgeleverde Excel sheet vertonen soms een wat grillig verloop, met name bij de +-scenario's en de tijdshorizonten die niet al te ver weg liggen. Door de gebruikte procedure in het neerslagtransformatieprogramma is de verandering in het aantal natte dagen, de gemiddelde neerslag en de extreme neerslag niet in elk jaar in de toekomst hetzelfde. Hierdoor neemt de jaar-op-jaar variatie toe (Experts verwachten wel dit wel, maar het is nog niet voldoende onderzocht).

De GIS-bestanden voor de klimaatvariabelen die in dit schetsboek worden gepresenteerd zijn opgenomen in het Geoportaal Klimaateffectatlas voor het huidige klimaat (1976-2005) en alle vier de KNMI'06 klimaatscenario's voor de tijdshorizonten 2020, 2030, 2050 en 2100.

Wijzigingen ten opzichte van de provinciale klimaateffectedschetsboeken

De kaarten in dit klimaatschetsboek en de onderliggende database met gegevens per station verschillen op enkele punten van de kaarten en data in de provinciale klimaateffectedschetsboeken. Er zijn enkele verbeteringen doorgevoerd. Voor een verdere toelichting wordt verwezen naar bijlage 5.

B4.3 Neerslagtekort

Berekening neerslagtekort

Het potentiële neerslagtekort wordt berekend aan de hand van neerslag en potentiële verdamping. De potentiële verdamping min de hoeveelheid neerslag die valt geeft een goede indicatie van de uitdroging van de bodem. Als het neerslagtekort negatief wordt (de neerslag overschrijdt de verdamping), dan blijft het neerslagtekort op nul. Er wordt dus geen 'natte buffer' opgebouwd in deze berekening.

De potentiële verdamping wordt bepaald met behulp van de Makkink-verdamping, die gebruik maakt van temperatuur en straling. Lange tijd werd op slechts 5 locaties in Nederland de straling gemeten. Dit is erg weinig om een goed landsdekkend beeld te krijgen. Grootschaliger metingen zijn beschikbaar vanaf 1988 met 14 locaties, inmiddels uitgebreid tot 34 locaties in 2008. Daarom is het gemiddelde maximum neerslagtekort berekend over de periode 1988-2007 (20 jaar). Voor het kaartmateriaal van neerslagtekort in dit klimaatschetsboek is gebruik gemaakt van een op dagbasis geïnterpoleerd stralingsveld, gecombineerd met de aftappingen op 291 KNMI neerslagstations. Hoewel bij voorkeur een periode van 30 jaar wordt gebruikt voor het beschrijven van klimatologische variabelen, geven deze kaarten gebaseerd op 20 jaar gegevens ook al een redelijk beeld van het gemiddelde maximale neerslagtekort per jaar.

Voor het maken van de kaarten voor de toekomst zijn de neerslaggegevens getransformeerd met het transformatieprogramma (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/) en voor potentiële verdamping zijn per maand de veranderingen toegepast zoals vermeldt in een bijlage bij het transformatieprogramma (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/PotET.pdf).

Voor het maximale neerslagtekort in 2003 zijn verschillende getallen in omloop. Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de gebruikte basisdata voor de berekening. Bij "217 mm" zijn voor de verdamping alleen zonneshijnduur-gegevens van De Bilt gebruikt voor het berekenen van de potentiële verdamping en is voor de neerslag gebruikgemaakt van decadewaarden (neerslag per 10 dagen). Bij "230 mm" zijn voor de verdamping stralingsdata van meerdere stations gebruikt voor het berekenen van de potentiële verdamping en is voor de neerslag gebruikgemaakt van dagwaarden. In beide gevallen is voor het landelijk gemiddelde gebruik gemaakt van 13 neerslagstations.

Trend potentiële verdamping

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 temperatuuroename: 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. In 2100 is de range aan toename van de potentiële verdamping in de zomermaanden 7% (G-scenario) tot 30% (W+ scenario).

Ruimtelijke patronen

Door de temporele en ruimtelijke verschillen in neerslag, temperatuur en straling 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.

De kaarten voor maximaal neerslagtekort zijn niet in GIS-format meegeleverd, aangezien hier nog verder onderzoek naar verricht wordt. Wel geven de kaarten het globale ruimtelijke patroon goed weer.

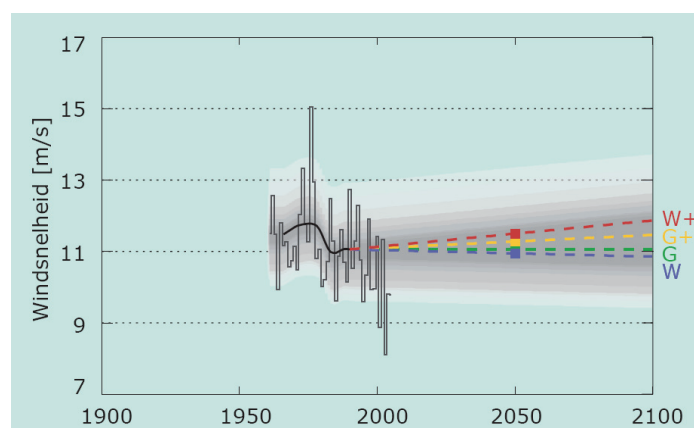
B4.4 Wind

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 B4.5 geeft de veranderingen tot 2100 voor de vier KNMI'06 scenario's in de maximale daggemiddelde windsnelheid. In geen van de scenario's zet de waargenomen dalende trend van het totale aantal stormen in Nederland in dezelfde mate door.

Voor overstromingsgevaar is niet alleen de sterkte van de stormen, maar ook de windrichting van belang. Bij wind uit noordelijke richting is de opstuwing van zeewater aan de Nederlandse kust het grootst. Er zijn echter geen aanwijzingen voor meer of sterkere winden uit noordelijke richting. Dat betekent dat de hoogte van extreme wateropstuwing in de toekomst niet groter zal zijn dan nu. Er lijkt wel een tendens naar vaker optredende (zuid-)westen winden te zijn.



Figuur B4.5. 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). In de onderstaande tabel

staan voor een aantal stations de gemiddelde windsnelheden in de periode 1971-2000. In de tabel is te zien dat de gemiddelde windsnelheid voor de kuststations hoger is dan voor stations meer landinwaarts.

Tabel B4.6. Gemiddelde windsnelheden over het jaar en aantal dagen met een bepaalde windkracht voor de periode 1971-2000 voor verschillende plaatsen in Nederland.

Plaats	Provincie*	Gem. Windsnelheid (m/s)	Aantal dagen met ≥ 5 Bft	Aantal dagen met ≥ 7 Bft
De Bilt	Utrecht	3,4	43	0
Deelen	Gelderland	4,4	108	4
De Kooy	Noord-Holland	6,0	192	34
Eelde	Groningen/Drenthe	4,5	115	11
Eindhoven	Noord-Brabant	4,2	93	5
Gilze-Rijen	Noord-Brabant	4,1	81	4
Leeuwarden	Friesland	5,0	141	13
Maastricht	Limburg	4,4	102	6
Rotterdam	Zuid-Holland	4,9	140	14
Schiphol	Noord-Holland	5,1	148	17
Twente	Overijssel	3,5	43	0
Valkenburg (ZH)	Zuid-Holland	5,2	161	19
Vlissingen	Zeeland	6,4	210	47
Volkel	Noord-Brabant	3,9	79	4

* Geen gegevens voor Flevoland vermeld in de Klimaatatlas 1971-2000.

B4.5 Zeespiegel

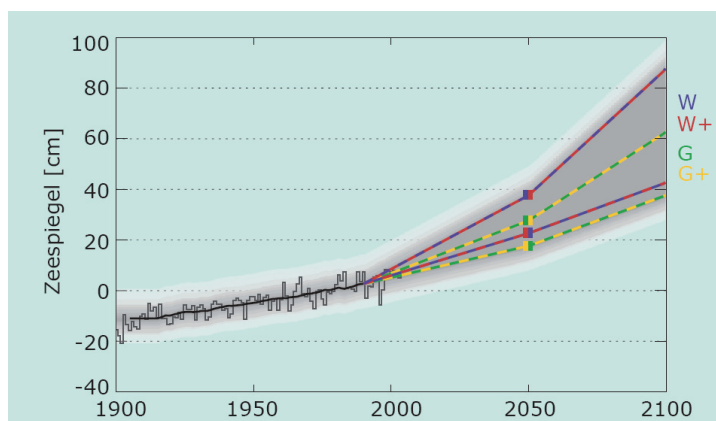
Toekomstige trends

Uit waarnemingen blijkt dat de afkalving van ijs aan de randen van de Groenlandse en de West-Antarctische ijskap de laatste jaren is toegenomen. Lokaal treden echter sterke fluctuaties op. Gezien de snelle ontwikkelingen in dit vakgebied moeten de lange termijn bijdragen van de Groenlandse en de Antarctische ijskap aan de zeespiegelstijging in de KNMI'06 scenario's in de toekomst mogelijk worden bijgesteld. Een indicatie van de grootte van een bijstelling valt nu nog niet te geven.

In Katsman et al. (2008) worden de volgende getallen genoemd 30-50 cm voor de G en G+ scenario's in 2100, en tot 40-80 cm voor de W en W+ scenario's in 2100. Met name het gravitatie-effect zorgt voor de iets andere getallen. Dit proces was in de KNMI-scenario's uit 2006 niet meegenomen. Er bestaat echter nog veel onduidelijkheid over de bijdrage van het gravitatie-effect, vandaar dat de getallen in de brochure met aanvullingen op de KNMI'06 scenario's (KNMI, 2009) niet zijn veranderd. De range blijft dus 35 tot 85 cm in 2100 t.o.v. 1990 voor de absolute zeespiegelstijging. In de volgende generatie KNMI scenario's zal het effect wel worden meegenomen, maar volgens de huidige inzichten zal dat weinig veranderen aan de netto bijdrage van ijskappen aan de zeespiegelstijging voor de kust van Nederland.

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 voor de KNMI'06 scenario's uit op een grotere bandbreedte: 35 tot 85 centimeter zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van 1990 (KNMI, 2006). Dit verschil van ruim 25 centimeter voor de bovengrens is het gevolg van een iets andere aanpak.



Figuur B4.6. 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.

Extreme zeespiegelstijging

In het rapport "Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland" (Bessembinder et al., 2008) wordt het volgende vermeld over extreme zeespiegelstijging. Het mogelijk versneld afsmelten en/of afkalven van grote ijskappen kan leiden tot een snellere zeespiegelstijging dan vermeld in de KNMI'06 scenario's. Reconstructies van het zeeniveau in een historisch tijdperk rond ca 120.000 jaar geleden, het Eemian (wat betreft wereldgemiddelde temperatuur vergelijkbaar met het huidige klimaat), laten zien dat de maximale stijging van de zeespiegel ongeveer 1 tot 1,5 m per eeuw bedroeg. Het plausibele bovengrensscenario voor de Deltacommissie geeft een zeespiegelstijging van 1,2 m in 2100 (Vellinga et al., 2008).

Voor de toekomst kunnen de grote ijskappen op Groenland en West-Antarctica mogelijk een grotere bijdrage leveren aan de wereldgemiddelde zeespiegelstijging dan de thermische uitzetting van water bij hogere temperaturen. Smeltwater verdeelt zich niet gelijkmatig over de aarde als gevolg van het gravitatie-effect. Door de zwaartekracht wordt zeewater aangetrokken door een op het land liggende ijsmassa. Als deze ijsmassa

smelt wordt de aantrekkingskracht geringer. Wat Groenland betreft ligt Nederland in het gebied waar de lokale zeespiegelstijging door het afsmelten van die ijskap minder zal zijn dan de zeespiegelstijging die bij een gelijkmatige verdeling van smeltwater over de aarde zou plaatsvinden. Voor de Antarctische ijskap geldt het omgekeerde. Wanneer de bijdragen van de verschillende ijsmassa's worden opgeteld en er rekening wordt gehouden met het gravitatie-effect bedraagt de schatting voor de gemiddelde lokale zeespiegelstijging in onze regio in het jaar 3000 gemiddeld 5,5 meter ten opzichte van 2000, met een bandbreedte tussen de ruim 2 en bijna 9 meter. Voor de maximale zeespiegelstijging geeft dit ruwweg dezelfde ordegrrootte als de 1 tot 1,5 m per eeuw die op basis van reconstructies met paleo-proxy data was gevonden. Vanwege het gravitatie-effect geeft afkalving van West-Antarctica potentieel de grootste bijdrage aan de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust.

De KNMI'06 scenario's geven voor de tweede helft van de 21^{ste} eeuw een bovengrens van 50 cm zeespiegelstijging in 50 jaar (ofwel een snelheid van 1 m per eeuw). Verkenningen van de zeespiegelstijging in de 22^{ste} eeuw geven aan dat het tempo in die periode nog kan versnellen tot een bovengrens van ongeveer 1,5 m per eeuw. Schattingen voor deze zichttermijn zijn echter zeer onzeker vanwege het grote gebrek aan kennis over het gedrag van ijskappen op Groenland en Antarctica.

BIJLAGE 5 METHODIEKEN KLIMATOLOGISCHE KAARTEN

Klimaatatlas

Elke 10 jaar maakt het KNMI een klimaatatlas met een beschrijving van het huidige klimaat in Nederland. De laatst verschenen atlas beschrijft de periode 1971-2000. Gegevens uit deze atlas worden bijvoorbeeld tijdens het journaal gebruikt bij "het weer" als "de normale temperaturen" voor een bepaalde tijd in het jaar. De volgende klimaatatlas zal de periode 1981-2010 beschrijven, en naar verwachting in 2011 verschijnen.

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 die gemaakt zijn 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 voor temperatuur), waar een grote verscheidenheid aan gegevens wordt verzameld, en neerslagstations (281), waar alleen de neerslag per dag wordt gemeten (zie voor locaties website KNMI, onder Klimatologie/verleden weer). De historische periode waarover gemeten waarden aanwezig zijn verschilt per station.

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 Nieuw Beerta) heeft slechts data vanaf 1990 en we willen het aantal zomerse dagen bepalen:

- bepaal het gemiddeld aantal zomerse dagen op basis van de beschikbare 16 jaar voor Nieuw Beerta;
- bepaal het aantal zomerse dagen voor enkele stations dicht bij Nieuw Beerta met minimaal 30 jaar gegevens op basis van 30 jaar en op basis van dezelfde 16 jaar als beschikbaar voor Nieuw Beerta;
- bepaal de verhouding tussen het aantal zomerse dagen op basis van 16 jaar en 30 jaar;
- gebruik deze verhouding op het aantal zomerse dagen voor Nieuw Beerta op basis van 16 jaar gegevens aan te passen tot een schatting van het aantal dagen op basis van een langere (30 jaar) reeks voor Nieuw Beerta.

Voor enkele stations met een te korte tijdreeks kan deze reeks gecombineerd worden met een nabijgelegen station. Dit is bijvoorbeeld gebeurd voor Lelystad (met Houtrib), Westdorpe (met Kapellebrug), Arcen (met Venlo) en Berkhout (met Hoorn). Voor dit klimaatschetsboek waren 20 stations beschikbaar met minimaal 30 jaar of waarvoor de bovenstaande methoden gebruikt konden worden. Dit leverde een goed beeld op van de landelijke ruimtelijke patronen. Alleen voor noord Nederland bleek deze methode niet afdoende. Ten noorden van de stad Groningen is er geen station dichtbij de kust beschikbaar, ook niet met een reeks korter dan 30 jaar. Met behulp van de klimaatatlas 1971-2000 is gekeken welk station in noord Nederland representatief zou kunnen zijn voor het klimaat ten noorden van de stad Groningen. Leeuwarden kwam hiervoor in aanmerking en daarom is het station Leeuwarden twee keer gekopieerd naar een locatie in de buurt van Warffum en de Eems, zodat het kusteffect beter wordt weergegeven.

Het neerslagtekort wordt gedefinieerd als de neerslag – potentiële verdamping. Voor het berekenen van de potentiële verdamping volgens de formule van Makkink zijn gegevens over temperatuur en straling nodig. Voor straling bestaan er echter maar een zeer beperkt aantal stations met tijdreeksen van 30 jaar of langer. Vanaf eind jaren 80 is er een groter aantal stations met stralingsdata beschikbaar (14-33 stations). Voor de kaarten voor

maximaal neerslagtekort is als referentieperiode 1988-2007 gebruikt (voor de andere klimaatvariabelen 1976-2005), en zijn er stralingsgegevens van 14-33 stations gebruikt, en neerslagdata van 291 neerslagstations; zie bijlage 4).

Klimaatgegevens voor de toekomst

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

Op basis van de getransformeerde tijdreeksen voor het klimaat rond 2050 zijn de verschillende klimaatvariabelen voor de toekomst berekend. Voor temperatuur waren er 15 stations met voldoende lange tijdreeksen. Voor neerslag waren er ongeveer 280 stations met voldoende lange tijdreeksen.

Het transformatieprogramma voor neerslag is in de loop van 2008 enigszins aangepast (procedure voor het droog maken van dagen is aangepast; zie http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/ onder toelichting voor meer uitleg). De provinciale klimaateffetschetsboeken zijn met de oude versie gemaakt. Voor dit rapport is de nieuwe versie gebruikt. Als gevolg van de veranderde methode kunnen er hele kleine verschillen optreden in het aantal natte dagen of het aantal dagen met ≥ 15 mm, maar niet in de gemiddelde neerslag. De nieuwe methode maakt het mogelijk om het maximale neerslagtekort beter te bepalen.

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.



Figuur B5.1. Schematische voorstelling van het principe van RBF-interpolatie.

Zoals in de bovenstaande figuur te zien is, kan dit betekenen dat de resultaten lokaal hoger (zie bijvoorbeeld tussen waarneming 3 en 4 vanaf de linkerkant 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. De grootste oneffenheden in de kaarten door de gebruikte interpolatietechniek zijn met de hand weggewerkt.

Wijzigingen ten opzichte van de provinciale klimaateffetschetsboeken

De kaarten en ruimtelijke patronen in dit klimaatschetsboek wijken op enkele punten iets af van de kaarten in de provinciale klimaateffetschetsboeken. Hieronder wordt uitgelegd waardoor dit komt.

Temperatuur:

- De methode voor het transformeren van de historische tijdreeksen in tijdreeksen voor de toekomst is iets aangepast. In de eerste fase (provinciale klimaateffectschetsboeken zijn de tijdreeksen voor minimum- en maximumtemperatuur direct omgezet met behulp van het transformatieprogramma. Voor deze klimaatschetsboeken is een indirecte methode gebruikt: eerst wordt de gemiddelde temperatuur getransformeerd. Vervolgens wordt de verandering (toekomst - verleden) in gemiddelde temperatuur voor een bepaalde dag opgeteld bij de minimum- en/of maximumtemperatuur van hetzelfde etmaal in het verleden. Dit betekent dat het verschil tussen de minimum-, maximum- en gemiddelde etmaaltemperatuur in het verleden exact gelijk blijft in de getransformeerde tijdreeksen. Deze methode verdient de voorkeur, omdat het hierbij niet mogelijk is dat de minimumtemperatuur op een bepaalde dag hoger wordt dan de gemiddelde temperatuur op die zelfde dag in de getransformeerde reeksen.
- In de eerste provinciale klimaateffectschetsboeken is station Soesterberg wel meegenomen, maar in latere niet. Bovenstaande heeft o.a. effect op de vlek voor vorstdagen tussen Utrecht en Gelderland (wel bij Utrecht, niet bij Gelderland). Deze vlek wordt veroorzaakt door de toevallige ligging van het station (zandgrond), en geeft bij de interpolatie een onrealistisch beeld.

Neerslag

- De gebruikte stations zijn enigszins aangepast. Alle stations zijn meegenomen die vanaf begin 1976 dagelijkse gegevens hebben en waarin maximaal 2 jaren waren waarin minimaal 1 dag met ontbrekende gegevens. In de eerste fase zijn alleen de stations meegenomen die in de klimaatatlas 1971-2000 zijn gebruikt. Dat leverde de volgende verschuivingen op: wel in fase 1, maar niet in dit klimaatschetsboek: station nr. 441 (Amsterdam), station nr. 733 (Vlissingen/Ritthem) en station nr. (977 Beesel/Reuver); niet in fase 1, maar wel in dit klimaatschetsboek: station nr. 361 (Tubbergen), station nr. 474 (Valkenburg ZH), station nr. 567 (Kootwijk Radio) en station nr. 705 (Breskens). Als gevolg hiervan is bijv. het neerslagpatroon in Zuid-Holland iets veranderd, omdat nu wel station Valkenburg is meegenomen. Het zelfde geldt voor het neerslagpatroon op de Veluwe, doordat nu station Kootwijk radio is meegenomen, en het neerslagpatroon bij Amsterdam, doordat station Amsterdam is weggelaten.
- De procedure voor het transformeren van de neerslag is iets aangepast (alleen dagen droog gemaakt aan het begin of einde van een regenperiode; zie ook http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/transtoeilichting.shtml). Dit levert soms iets andere waarden op (m.n. bij aantal dagen met 15 mm of meer), en soms iets ander patronen. Deze aangepaste methode is beter voor het bepalen van het maximale neerslagtekort dan de methode die is gebruikt in de eerste fase.

Colofon

Project: COM27, deelproject 1, onderdeel van Klimaat voor Ruimte

Redactie:

Janette Bessembinder

Bijdragen:

KNMI: Alexander Bakker, Jules Beersma, Adri Buishand, Arnout Feijt, Arie Kattenberg, Albert Klein Tank, Robert Leander, Henk van Oel, Rob Sluijter, Nander Wever

Alterra: Rini Schuiling en Herman Gijsbertse (productie van de kaarten), Hasse Goosen,

DHV: Marjan den Braber

En bijdragen aan de review door verschillende provincie medewerkers (via IPO).

Aan deze publicatie kan worden gerefereerd:

KNMI, 2009. Klimaatschetsboek Nederland: het huidige en toekomstige klimaat. KNMI, De Bilt. Publicatie nr. 223.

Voor meer informatie over klimaatscenario's voor Nederland kunt u terecht op de speciale website: www.knmi.nl/klimaatscenarios/. Voor de digitale versie van dit document kunt u terecht op www.knmi.nl/klimaatmaatwerk/RO/.

Voor vragen naar aanleiding van deze publicatie kunt u contact opnemen met de klimaatdesk van het KNMI: klimaatdesk@knmi.nl, telefoon 030-2206850

Foto's:

J. Kuiper (p. 37)

G. Hazeu (rest)

Druk:

Studio KNMI

Dit is een uitgave van

KNMI

in samenwerking met



en medegefinancierd door



Ruimte voor **Geo-Informatie**

