



Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
*Ministerie van Verkeer en Waterstaat*

# Klimaatverandering in Nederland

Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's



# Inhoud

## Samenvatting

### 1 Introductie

- 1.1 Doel en inhoud
- 1.2 KNMI'06 klimaatscenario's  
*Voorspelbaarheid op middellange termijn (10 tot 20 jaar)*
- 1.3 Relatie met IPCC emissiescenario's
- 1.4 Onzekerheden en kansen  
*Extreme scenario's*
- 1.5 Relatie met Deltacommissie scenario's

### 2 Wetenschappelijke ontwikkelingen

- 2.1 Emissies en concentraties van broeikasgassen  
*Nieuwe emissiescenario's*
- 2.2 Mondiale temperatuur  
*Modellering van het mondiale klimaat*
- 2.3 Ijskappen op Groenland en Antarctica  
*Waarnemingen*
- 2.4 Zelf-gravitatie en zeespiegelstijging
- 2.5 Stormen en stormvloed  
*Ensembles van klimaatsimulaties*
- 2.6 Waargenomen snelle opwarming in Nederland  
*Kans op extremen in een veranderend klimaat*
- 2.7 Extreme winterneerslag in het Rijnstroomgebied
- 2.8 Uitdroging van de bodem
- 2.9 Zomerse buienintensiteit  
*Hoge resolutie klimaatmodellering voor Nederland*
- 2.10 Kustneerslag in zomer en herfst



- 3 Betekenis voor KNMI'06 klimaatscenario's**
- 4 Aanvullende KNMI'06 scenariogetallen**
  - 4.1 Overgangsseizoenen
  - 4.2 Tijdreeksen van dagwaarden
  - 4.3 Neerslagextremen
- 5 Vooruitblik op toekomstige generatie KNMI klimaatscenario's**
  - 5.1 Tijdpad en (inter)nationale afstemming
  - 5.2 Keuzes
    - Scenario's voor luchtkwaliteit*
    - Scenario's voor verdamping*

# Samenvatting

De algemene scenario's voor toekomstige klimaatverandering in Nederland die het KNMI in 2006 heeft uitgegeven zijn niet achterhaald door recente wetenschappelijke ontwikkelingen. Ook volgens de huidige inzichten beschrijven de vier KNMI'06 scenario's samen de meest waarschijnlijke veranderingen in Nederland met bijbehorende onzekerheden. Dat blijkt uit een evaluatie van onderzoek uit de afgelopen jaren waarbij specifiek is gelet op de betekenis voor klimaatverandering in onze omgeving.

Belangrijke recente wetenschappelijke ontwikkelingen zijn: de waargenomen snelle opwarming in Nederland en West-Europa, de waargenomen snelle afkalving van grote ijskappen op West-Antarctica en Groenland, en nieuw onderzoek naar neerslagpatronen op lokale en regionale schaal. Dit onderzoek vormt geen aanleiding om de KNMI'06 scenario's nu aan te passen. Onze inschatting is dat de veranderingen, voor zover die op dit moment zijn vast te stellen, grotendeels binnen de vier KNMI'06 scenario's vallen.

De onderzoeksresultaten brengen wel meer tekening in welke scenario's meer waarschijnlijk zijn. Met de snelle opwarming in Nederland en West-Europa wordt het beste rekening gehouden in de W/W+ scenario's. De toename van de intensiteit van zware buien is goed weergegeven in de G/W scenario's. Naast mogelijke langdurige periodes met droogte zoals in de G+/W+ scenario's zullen vooral in de kustzone waarschijnlijk periodes met natter weer, zoals in de G/W scenario's, vaker voorkomen.

Recent onderzoek maakt ook de bestaande onzekerheden meer transparant. Zo zijn er aanwijzingen dat klimaatverandering extremer kan verlopen dan voorzien. Extreme scenario's (soms aangeduid als 'worst case' scenario's) kunnen hun nut hebben wanneer de risico's groot zijn, bijvoorbeeld wanneer het gaat om de veiligheid van de kust zoals bij de Deltacommissie. Voor dergelijke extreme scenario's bestaat echter relatief weinig wetenschappelijke onderbouwing. Onduidelijk is bijvoorbeeld of de Groenlandse en West-Antarctische ijskappen versneld blijven slinken (en zo ja hoeveel). De KNMI'06 scenario's beschrijven de meest waarschijnlijke zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust. Er bestaat geen aanleiding om die op dit moment bij te stellen.

De recente resultaten geven richting aan het vervolgonderzoek dat omstreeks 2013 moet leiden tot een volgende generatie klimaatscenario's voor Nederland, aansluitend op het dan te verschijnen vijfde IPCC rapport. Het is duidelijker geworden welke aspecten van klimaatmodellen bruikbaar zijn voor het voorspellen van lokale klimaatveranderingen in de toekomst, waar verbeteringen mogelijk en noodzakelijk zijn, en welke keuzes daarbij moeten worden gemaakt.

Als laatste geeft deze publicatie, in aanvulling op de eerder gepubliceerde KNMI'06 cijfers, ook scenario-gegevens voor de overgangsperiodes (lente en herfst) en voor de afzonderlijke maanden, evenals kansen waarmee extreme buien voorkomen, zowel onder huidige als toekomstige klimaatcondities. Bovendien is een hulpmiddel beschikbaar gekomen dat complete tijdreeksen van klimaatvariabelen maakt die passen bij de vier KNMI'06 toekomstbeelden.

## Veranderingen in het klimaat van Nederland volgens de KNMI'06 scenario's

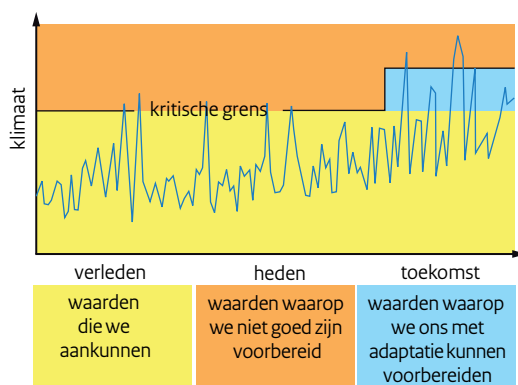
- de opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;
- de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
- de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
- de veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
- de zeespiegel blijft stijgen.

# 1 Introductie

## 1.1 Doel en inhoud

De KNMI'06 klimaatscenario's zijn inmiddels drie jaar oud en worden veelvuldig gebruikt voor studies naar de effecten van klimaatverandering in Nederland en adaptatie aan die verandering (figuur 1). Ze geven richting aan het beleid van lokale, provinciale en rijksoverheden op het gebied van bijvoorbeeld ruimtelijke ordening, nationale veiligheid en waterbeheer. De scenario's maken onderdeel uit van het Nationaal Bestuursakkoord Water Actueel (NBW-Actueel), het klimaatakkoord tussen de provincies en het Rijk, het advies van de Deltacommissie, en het Ontwerp Nationaal Waterplan.

**figuur 1.** Schema voor adaptatie aan klimaatverandering. Adaptatie is het aanpassen van natuurlijke systemen en maatschappelijke sectoren aan de effecten van klimaatverandering. Het schema geeft weer hoe door adaptatiemaatregelen de kritische grens opschuift naar boven. Hierdoor is de samenleving beter voorbereid op het omgaan met hogere waarden van bijvoorbeeld de neerslaghoeveelheid. Bron: Willows and Connell, UKCIP, 2003.



De ontwikkeling van de kennis over het klimaatstelsel en de veranderingen daarin staat echter niet stil. In internationaal verband participeert het KNMI in onderzoek naar klimaatverandering met behulp

van modellen en waarnemingen. Het KNMI heeft recentelijk het mondiale klimaatmodel EC-Earth ontwikkeld, meer detail aangebracht in het regionale klimaatmodel RACMO, en het monitoren van het klimaat met stationswaarnemingen en satellieten geïntensiveerd.

## De volgende generatie klimaatscenario's voor Nederland staat gepland voor omstreeks 2013.

De volgende generatie klimaatscenario's voor Nederland is gepland voor omstreeks 2013. Deze brochure maakt de tussenbalans op door:

- na te gaan wat recente onderzoeksresultaten (op het gebied van waarnemingen en modellen) betekenen voor het gebruik van de KNMI'06 scenario's uit 2006 (hoofdstuk 2 en 3);
- aanvullende gegevens over de toekomstige klimaatverandering in Nederland te presenteren naar aanleiding van vragen uit de maatschappij (hoofdstuk 4), en;
- de koers naar de aangekondigde volgende generatie KNMI klimaatscenario's voor Nederland te schetsen (hoofdstuk 5).

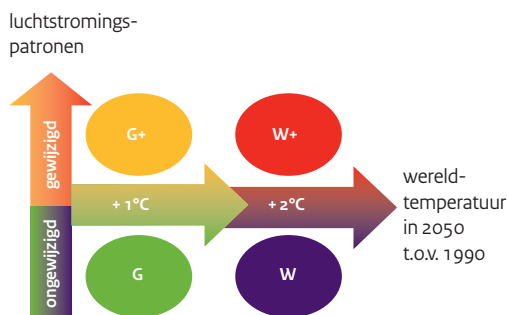
## 1.2 KNMI'06 klimaatscenario's

Klimaatscenario's zijn consistente en plausible beelden van het toekomstige klimaat. Ze zijn bedoeld als hulpmiddel bij klimateffectstudies en adaptatiemaatregelen. De KNMI'06 scenario's geven een beeld van klimaatverandering in Nederland rond 2050 en 2100 (ten opzichte van

*Klimaatscenario's zijn consistente en plausible beelden van het toekomstige klimaat. Ze zijn bedoeld als hulpmiddel bij klimateffectstudies en adaptatiemaatregelen.*

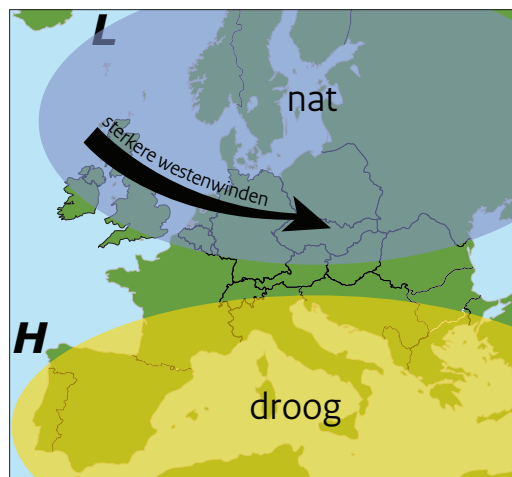
de periode 1976-2005). Samen beschrijven de vier scenario's de meest waarschijnlijke veranderingen met bijbehorende onzekerheden voor belangrijke klimaatvariabelen, zoals temperatuur, neerslag, wind en zeeniveau.

**figuur 2.** Indeling van de vier KNMI'06 klimaatscenario's.



De KNMI'06 scenario's zijn tot stand gekomen door combinatie van informatie uit mondiale en regionale klimaatmodellen uit de gehele wereld. In die modellen is de wetenschappelijke kennis over

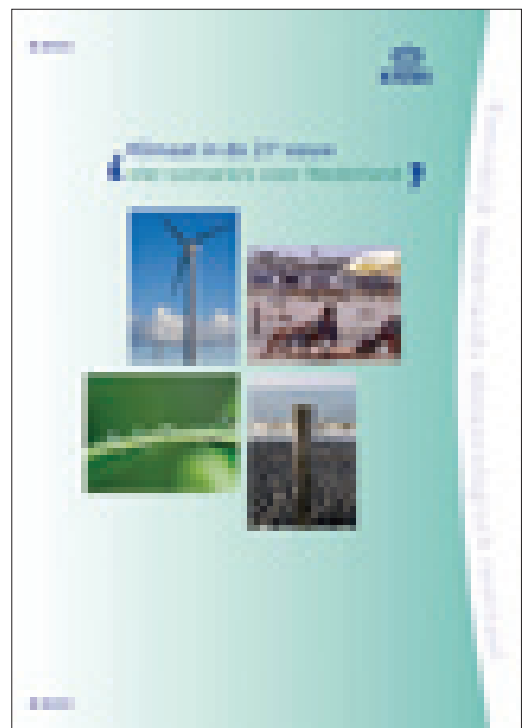
**figuur 3.** Verandering in luchtstromingspatronen voor de winter in de G+/W+ scenario's.



de werking van het klimaatsysteem samengebracht. Waarnemingen zijn gebruikt om te bepalen welke mondiale en regionale klimaatmodellen het klimaat van West-Europa het best beschrijven. Daarnaast zijn waarnemingen gebruikt om de veranderingen in allerlei modelvariabelen te vertalen naar lokale weerkenmerken die interessant zijn voor gebruikers, zoals de warmste zomerdag per jaar of de maximale hoeveelheid neerslag op een dag die gemiddeld eens per 10 jaar valt.

De scenario's verschillen in de mate waarin de mondiale temperatuur stijgt en de mate waarin de luchtstromingspatronen boven Nederland veranderen (figuur 2). De W/W+ scenario's kenmerken zich door een sterke toename van de wereldgemiddelde temperatuur, terwijl die in de G/G+ scenario's gematigd is. Bij de G+/W+ scenario's zorgt een verandering in de luchtstroming boven de Atlantische oceaan en West-Europa voor extra warme en natte winters (figuur 3), terwijl de zomers extra warm en droog zijn. Bij de G/W scenario's is de invloed van veranderingen in de luchtstroming klein.

De KNMI'06 klimaatscenario's schetsen een plausibel en coherent beeld van de klimaatverandering in Nederland. Ze laten zien dat de extreme weersomstandigheden waarschijnlijk anders zullen veranderen dan het gemiddelde weer.



## De KNMI'06 scenario's gaan er van uit dat de regionale verschillen in het klimaat rond 2050 en 2100 vergelijkbaar zijn met de verschillen die al bestaan in het huidige klimaat.

Zo neemt in de scenario's met veranderingen in de luchtstromingspatronen de temperatuur op hittegolfdagen sterker toe dan op een gemiddelde zomerdag. Zomerse neerslag komt in deze scenario's minder vaak voor, maar optredende zware buien worden wel heftiger.

Nederland kent regionale verschillen in het klimaat. In de KNMI'06 scenario's wordt echter geen regionaal onderscheid gemaakt in klimaatverandering. Ofwel: de veranderingen in Groningen zijn volgens de scenario's even groot als die in Limburg of Zeeland. Ook wordt er geen onderscheid gemaakt voor lokale stadseffecten. De veranderingen in de stad zijn even groot als die op het platteland. Mogelijke veranderingen in regionale verschillen en stadseffecten konden niet goed worden bepaald, of ze waren klein ten opzichte van de spreiding tussen de verschillende scenario's. De KNMI'06 scenario's gaan er van uit dat de regionale verschillen en stadseffecten in het klimaat rond 2050 en 2100 vergelijkbaar zijn met de verschillen die al bestaan in het huidige klimaat.

**figuur 4.** Schematisch overzicht van het verschil tussen weersverwachtingen, seizoenverwachtingen, decenniumverwachtingen en klimaatscenario's. De onzekerheid in de verwachting wordt weergegeven met de kleur variërend van groen (zeker), via geel naar rood (onzeker). De verschillen tussen de verwachtingen worden niet alleen veroorzaakt doordat de tijdshorizon anders is, maar ook doordat het type informatie verschilt. Weersverwachtingen zeggen iets over een bepaalde dag, terwijl scenario's schetsen wat gemiddeld over een lange periode mogelijk is. Daartussenin zitten seizoenverwachtingen en decenniumverwachtingen die voor specifieke seizoenen en decennia in de toekomst kansen op gebeurtenissen geven. De tekst in de bollen geeft een voorbeeld van een typische gebruikersvraag.

### Voorspelbaarheid op middellange termijn (10 tot 20 jaar)

Klimaatscenario's hebben meestal een tijdshorizon van 50 tot 100 jaar. Daarin verschillen ze van weersverwachtingen die tot tien dagen vooruit reiken en van seizoenverwachtingen die tot één jaar vooruit reiken. Maar de tijdshorizon is niet het enige verschil, ook het type informatie verschilt. Klimaatscenario's doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum of in een bepaald seizoen, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer op de lange termijn (figuur 4).

Voor de middellange termijn wordt sinds kort gewerkt aan decenniumverwachtingen. Dat zijn verwachtingen van schommelingen in het klimaat voor de komende 10 tot 20 jaar. Deze maken we op basis van langzame natuurlijke klimaatschommelingen, verwachte concentraties van broeikasgassen en stofdeeltjes (aërosolen) en een goede bepaling van de huidige toestand van het klimaat. Het onderzoek naar de kwaliteit van die verwachtingen is nog in volle gang.

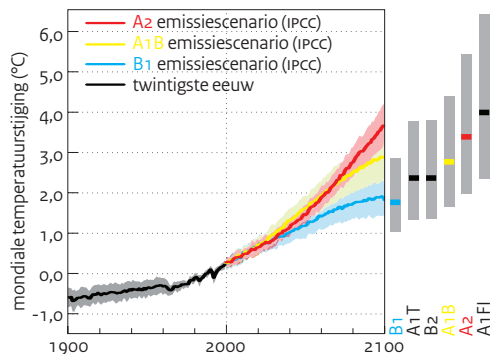
Langzaam variërende componenten in het klimaatsysteem vormen de fysische basis voor decenniumverwachtingen. De oceanen, zeeijs, sneeuw en bodemvocht zorgen voor 'geheugen' in het klimaatsysteem. Als de huidige toestand van die componenten goed vastgesteld kan worden (door waarnemingen), de waarschijnlijke evolutie bekend is, en we eveneens weten hoe ze het weer beïnvloeden, kunnen daaruit zinvolle verwachtingen volgen. Dit geldt vooral voor de toestand van de oceaan rond de tropen en van de Atlantische Oceaan. Waarnemingen met boeien in de oceanen worden gebruikt om decenniumverwachtingen te maken en te verifiëren.

Uiteraard levert ook de gestaag toenemende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer een belangrijke bijdrage aan de voorspelbaarheid op tijdschalen van 10 tot 20 jaar. 'Warmer dan nu' is bijna overal een zinvolle verwachting. Hoeveel warmer, met welke foutmarges, en wat er nog meer verandert zal duidelijker worden wanneer decenniumverwachtingen verder ontwikkeld zijn. Blijvend onbekende factoren zijn de zonneactiviteit en vulkaanuitbarstingen, omdat die niet voorspelbaar zijn.





**figuur 5.** Stijging van de wereldgemiddelde temperatuur (ten opzichte van het gemiddelde in 1980-1999), zoals berekend met een groot aantal mondiale klimaatmodellen onder verschillende IPCC emissiescenario's (A2, A1B, B1). Aan de rechterkant staan de beste schattingen voor 2100 voor alle IPCC emissiescenario's (B1 tot en met A1FI), met de gemiddelde waarde van alle berekeningen weergegeven door het horizontale streepje, en de band van waarschijnlijke (> 66% kans) modeluitkomsten in grijs. Bron: IPCC, 2007<sup>1</sup>.



### 1.3 Relatie met IPCC emissiescenario's

Klimaatmodellen gebruiken prognoses over de uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes (aërosolen) in de toekomst. Daarbij horen toekomstbeelden van de ontwikkeling van de wereldbevolking, economie en techniek. Deze uitstoot- of emissiescenario's kunnen niet één op één aan de KNMI'06 klimaatscenario's worden gekoppeld.

De modelberekeningen in **figuur 5** zijn gedaan voor het in 2007 gepubliceerde rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), het panel van de Verenigde Naties dat periodiek de kennis over het klimaat beoordeelt en samenvat ten behoeve van het beleid. Er bestaan vele klimaatmodellen die allemaal een iets andere reactie van het klimaatstelsel - de klimaatgevoeligheid - op de uitstoot van broeikasgassen laten zien.

Door naar de spreiding van al deze modellen en naar verschillende emissiescenario's te kijken, krijgen we een indruk van de onzekerheid. Rond 2050 zijn de verschillen tussen de wereldgemiddelde temperatuurstijging volgens de verschillende emissiescenario's relatief klein (ongeveer 0,5°C) ten opzichte van de spreiding die de verschillende klimaatmodellen geven voor hetzelfde emissiescenario (ongeveer 1°C). De banden van berekende temperatuurstijgingen per emissiescenario overlappen elkaar grotendeels. Dit betekent dat de grootste onzekerheid in 2050 is te wijten aan de beperkte kennis van het klimaatstelsel, en de daaraan gerelateerde verschillen in modelberekeningen van de klimaatgevoeligheid. Voor 2100 onderscheiden de verschillende emissiescenario's zich duidelijker, maar blijft de spreiding voor elk emissiescenario minstens zo groot als de spreiding door onzekerheid in klimaatgevoeligheid. Omdat het KNMI met de klimaatscenario's een groot deel van de totale onzekerheid wilde opspannen heeft het de mondiale temperatuurstijgingen als uitgangspunt voor de indeling gekozen in plaats van de emissiescenario's.

Via de wereldgemiddelde temperatuur is een indirect verband tussen de KNMI scenario's en de emissiescenario's echter wel te leggen. Elk van de vier KNMI'06 scenario's kan optreden bij ieder IPCC emissiescenario voor 2050. Voor 2100 zijn de G/G+ scenario's (2°C mondiale temperatuurstijging) het meest representatief voor een laag B1 emissiescenario bij een gemiddelde schatting van de klimaatgevoeligheid, terwijl de W/W+ scenario's (4°C stijging) representatief zijn voor een hoog A1FI scenario.

*Elk van de vier KNMI'06 scenario's kan optreden bij ieder IPCC emissiescenario voor 2050.*

### 1.4 Onzekerheden en kansen

Zoals vrijwel elke toekomstverwachting zijn ook verwachtingen voor het toekomstige klimaat in Nederland onzeker. Dit komt onder andere door:

- onzekerheid over sociaal-economische ontwikkelingen, en de daaraan gekoppelde onzekerheid over emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes en over het landgebruik;
- onzekerheid door externe factoren zoals zonneactiviteit en vulkaanuitbarstingen;
- modelonzekerheid door beperkte kennis van het klimaatstelsel en beperkte computerrekening;
- onzekerheid door mogelijk chaotisch (sterk niet-lineair) gedrag van het klimaatstelsel (interne variabiliteit).

*Vanwege de onzekerheden maken we scenario's in plaats van verwachtingen.*

Vanwege deze onzekerheden maken we scenario's in plaats van verwachtingen. De vier KNMI'06 scenario's zijn ontwikkeld als een generieke set voor een brede groep gebruikers. Ze omvatten samen een brede band van mogelijke veranderingen. Op grond van de huidige kennis beschrijven ze de bandbreedte van de meest waarschijnlijke uitkomsten. Meer precieze kansuitspraken over het toekomstige klimaat in Nederland zijn nog niet mogelijk.

<sup>1</sup> Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Figure SPM.5. Cambridge University Press.

### Extreme scenario's

Door verschillende oorzaken kan klimaatverandering uiteindelijk minder extreem uitpakken dan nu voorzien of juist extremer. Dat laatste kan zowel geleidelijk gaan als plotseling (dat wil zeggen binnen enkele decennia). Zo zouden de broeikasgasemissies sneller kunnen stijgen dan volgens het meest extreme IPCC emissiescenario. Ook kan door een grotere klimaatgevoeligheid dan gedacht de wereldwijde temperatuurstijging groter zijn dan de bovengrens die nu wordt verwacht. Grote plotselinge veranderingen kunnen optreden als kritische grenzen (zogenaamde 'tipping points') worden overschreden, bijvoorbeeld door het vrijkomen van methaan uit de oceaانبodem of toendragebieden, door het verdwijnen van ijskappen op Groenland en West-Antarctica of door het smelten van het zeeijs rond de Noordpool in de zomer.

Klimaatscenario's weerspiegelen de wetenschappelijke inzichten van een bepaald moment. Absolute onder- of bovengrenzen, bijvoorbeeld voor temperatuur- of zeespiegelstijging, zijn niet te geven. In het algemeen geldt: hoe extremer het scenario, hoe kleiner de kans dat het scenario realiteit wordt. Maar ook extreme klimaatveranderingen met een kleine kans van voorkomen maar met grote gevolgen kunnen belangrijk zijn. In een risicobenadering (waarbij risico wordt gedefinieerd als kans  $\times$  schade) kunnen, afhankelijk van het type investering en de termijn waarvoor die geldt, aanvullende, extremere scenario's dan de KNMI'06 scenario's gewenst zijn. In een kosten-batenanalyse of een kwetsbaarheidanalyse, bijvoorbeeld gericht op de vraag wanneer bestaand beleid niet langer toereikend is, kan zelfs een heel spectrum van mogelijke klimaatveranderingen gewenst zijn. Voor specifieke gebruikers en toepassingen hebben het KNMI en andere partijen dergelijke aanvullende klimaatscenario's gemaakt.

Door kansuitspraken te introduceren in de volgende generatie KNMI klimaatscenario's is het in principe mogelijk om ook extreme scenario's een plek te geven naast de algemene scenario's. In juni 2009 is in het Verenigd Koninkrijk een nieuwe generatie klimaatscenario's uitgebracht, waarin kansuitspraken worden gedaan voor verschillende klimaatvariabelen op lokale schaal. Die kansuitspraken weerspiegelen echter niet de totale onzekerheid. Veel van bovengenoemde extreme scenario's blijven nog steeds buiten beschouwing, omdat ze niet in de modelsimulaties worden meegenomen. Ook wordt slechts een beperkte set emissiescenario's gebruikt. Bovendien is onduidelijk hoe de kansinformatie van verschillende variabelen moet worden gecombineerd, bijvoorbeeld om de kans op het tegelijkertijd optreden van een temperatuur- en neerslagextreem te bepalen.

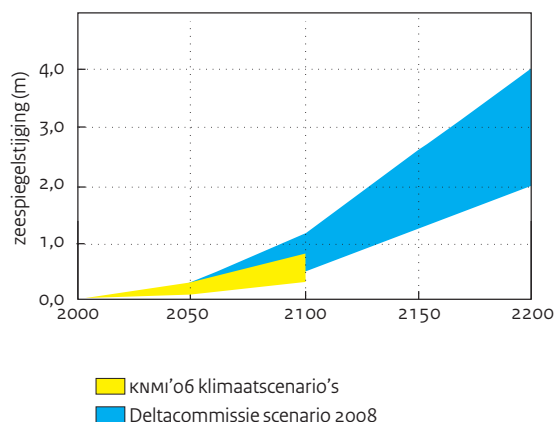
In ongeveer 80% van de modelberekeningen die door het IPCC gebruikt zijn, ligt de wereldgemiddelde opwarming voor de gehanteerde emissiescenario's in 2050 tussen 1°C en 2°C (ten opzichte van 1990). Deze waarden zijn gekozen als uitgangspunt voor respectievelijk de G/G+ en W/W+ scenario's. Het klimaat in Nederland hangt echter niet alleen samen met de wereldwijde opwarming, maar ook met regionale en lokale processen, zoals de veranderingen in luchtstromingspatronen. Deze regionale en lokale processen introduceren extra onzekerheid, die op dit moment slechts in beperkte mate kan worden gekwantificeerd. Vandaar dat niet precies kan worden gezegd hoe groot de bandbreedte die de vier KNMI'06 scenario's samen opspannen is.

Bij het samenstellen van de KNMI'06 scenario's is er echter wel op gelet dat minimaal tweederde van de modelresultaten voor de seizoensgemid-



**figuur 6.** Scenario's voor zeespiegelstijging. De verwachte toename van de zeespiegel voor de Nederlandse kust in 2050, 2100 en 2200 (referentiejaar is 1990, effecten van de bodemdaling zijn in de grafiek niet meegenomen). Bron: Deltacommissie, 2008.

delde temperatuur- en neerslagverandering in onze omgeving binnen de vier scenario's valt. Voor andere variabelen, zoals verdamping, wind en zeeniveau, en voor veranderingen in extremen is een dergelijke kwantitatieve voorwaarde niet gesteld, omdat er onvoldoende modelresultaten beschikbaar waren of omdat de modelresultaten onvoldoende betrouwbaar werden geacht. Voor deze variabelen is de bandbreedte van de veranderingen ingeschat op basis van de modelspreiding en begrip van de veranderingen.



*Het Deltacommissie scenario schetst een 'plausibele bovengrens' en is daarmee een extreem scenario in aanvulling op de KNMI '06 scenario's die de meest waarschijnlijke uitkomsten beschrijven.*

### 1.5 Relatie met Deltacommissie scenario's

Sinds de publicatie van de KNMI '06 scenario's zijn diverse extremere klimaatscenario's verschenen, elk met hun eigen doel. De Deltacommissie heeft in 2008 een klimaatscenario voor lokale zeespiegelstijging uitgebracht dat volgens eigen zeggen bedoeld is 'als referentie voor een langere termijn (2100 en daarna) robuustheidstoets van te nemen maatregelen en investeringen'. Met dit doel voor ogen heeft de Deltacommissie een 'plausibele bovengrens' voor de zeespiegelstijging bepaald. Het KNMI heeft hieraan een belangrijke wetenschappelijke bijdrage geleverd.

Voor 2050 gebruikt de Deltacommissie de KNMI '06 scenario's, maar voor 2100 zijn er verschillen (**figuur 6**). Het belangrijkste verschil is de schatting van de bijdrage van het smelten van de ijskappen op Groenland en Antarctica. De Deltacommissie richt zich nadrukkelijk op de bovengrens van de mogelijke bijdrage en die is aanzienlijk hoger dan de meest waarschijnlijke bijdrage die het KNMI in rekening brengt in de KNMI '06 scenario's.

Daarnaast gaat de Deltacommissie uit van een mondiale opwarming van 2 tot 6°C in 2100, de bandbreedte van de IPCC berekeningen voor A1FI in **figuur 5**, terwijl de KNMI '06 scenario's uitgaan van een meer waarschijnlijke mondiale opwarming van 2 tot 4°C in 2100 (ten opzichte van 1990). Dat zorgt voor extra uitzetting van oceaanwater in het

Deltacommissie scenario en daarmee voor extra zeespiegelstijging.

Het Deltacommissie scenario voor de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust in 2100 schetst een 'plausibele bovengrens' van de mogelijkheden (55 tot 120 cm, exclusief 10 cm bodemdaling) en is daarmee een extreem scenario in aanvulling op de bestaande KNMI '06 scenario's die de meest waarschijnlijke uitkomsten beschrijven (35 tot 85 cm, exclusief bodemdaling).

## 2 Wetenschappelijke ontwikkelingen

### 2.1 Emissies en concentraties van broeikasgassen

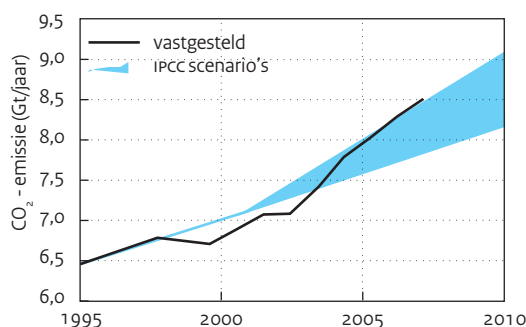
In de periode van 2000-2007 zijn de koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)-emissies wereldwijd viermaal zo snel gestegen als gedurende 1990-2000 (**figuur 7**). Deze groei komt

*In de periode 2000-2007 zijn de koolstofdioxide emissies wereldwijd viermaal zo snel gestegen als gedurende 1990-2000.*

**figuur 7.** Vastgestelde CO<sub>2</sub>-emissies (links) en waargenomen CO<sub>2</sub>-concentraties (rechts) in vergelijking met de IPCC emissiescenario's en concentratieberekeningen. Bron: Global Carbon Project (2008). Carbon budget and trends 2007 ([www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org), 26 September 2008).

uit boven het hoogste lange termijn emissiescenario van het IPCC. Over de matigende invloed van de economische recessie in 2008 en 2009 zijn nog geen cijfers bekend.

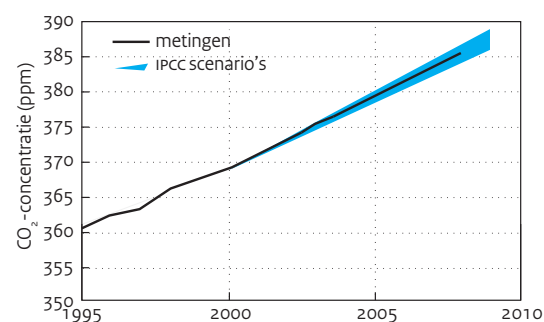
De toename in emissie wordt deels gecompenseerd door een toename in natuurlijke verwijdering van CO<sub>2</sub> door de oceanen en de vegetatie op het land.



De emissietoename domineert echter, waardoor de hoeveelheid CO<sub>2</sub> in de atmosfeer snel door blijft stijgen (**figuur 7**). In de periode 2000-2007 was de CO<sub>2</sub>-toename gemiddeld 33% groter dan gemiddeld over de periode 1990-2000. De huidige concentratie van CO<sub>2</sub> is 385 ppm (deeltjes per miljoen). Dit is ruim 100 ppm hoger dan de pre-industriële concentratie. De ontwikkeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer tot nu toe ligt nog binnen de bandbreedte van de berekeningen met de IPCC emissiescenario's waarop de KNMI'06 scenario's zijn gebaseerd, maar wel aan de bovenkant.

### 2.2 Mondiale temperatuur

De wereldgemiddelde temperatuur over de periode 2000-2008 ligt 0,17 tot 0,22°C boven het gemiddelde over de periode 1990-2000 en 0,7 tot 0,8°C boven de temperatuur aan het eind van de 19e eeuw. Volgens het IPCC is het zeer waarschijnlijk dat het merendeel van de wereldwijde opwarming in de afgelopen



### Nieuwe emissiescenario's

De IPCC emissiescenario's zullen binnenkort voor de korte tot middellange termijn op een aantal belangrijke punten worden verbeterd. Ten eerste wordt de snelle toename van de uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes in snel ontwikkelende economieën zoals China en India beter meegenomen. In de huidige emissiescenario's is die sterk onderschat. Ten tweede komen naar verwachting ook verbeterde schattingen van luchtvaart- en scheepvaart-emissies beschikbaar. Ten derde worden de nieuwe scenario's uitgebreid met broeikasgassen en stofdeeltjes die in de huidige scenario's niet expliciet zijn meegenomen. Het gaat hier onder meer om vervuilende stoffen als ozon, roetdeeltjes en organisch koolstof, die het klimaat op regionale schaal sterk kunnen beïnvloeden.

Voor de volgende generatie KNMI klimaatscenario's (van omstreeks 2013) en voor de volgende rapportage van het IPCC zal een nieuw soort broeikasgasscenario's worden gebruikt. In plaats van scenario's voor de emissies van broeikasgassen wordt dan gewerkt met de ontwikkeling van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer, de zogenaamde representatieve concentratiepaden (RCP's). Uitgangspunt bij het ontwerp van deze scenario's is de sterkte van de totale verstoring van het mondiale klimaat (de stralingsforcering) door de mens.

Een belangrijk voordeel van deze nieuwe scenario's is de aansluiting bij zogenaamde stabilisatiescenario's. Hierbij wordt door een actief klimaatbeleid gestreefd naar een begrenzing van de klimaatverandering. Binnen de EU is afgesproken dat de wereldgemiddelde temperatuur met niet meer dan 2°C mag stijgen ten opzichte van het niveau van voor de industriële revolutie om ernstige, grootschalige en onomkeerbare klimaat effecten te voorkomen. Voor een 50% kans dat de wereldgemiddelde temperatuurstijging beperkt blijft tot twee graden is een stabilisatie van broeikasgassen op een concentratie van 450 ppm CO<sub>2</sub>-equivalenten<sup>1</sup> nodig. Om deze doelstelling te halen is een forse wereldwijde emissiereductie nodig, en moet het emissieniveau in 2040 tussen 25 en 60% beneden het niveau van 1990 liggen.

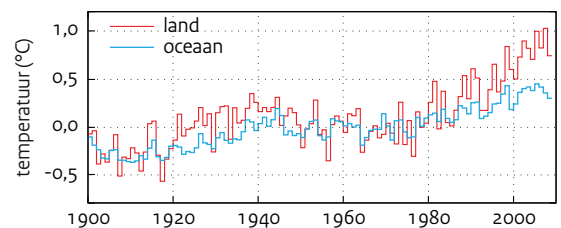
<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>-equivalente concentratie is een maat waarbij de werking van andere broeikasgassen wordt omgerekend naar het equivalent van de werking van CO<sub>2</sub>.

**figuur 8.** Gemiddelde jaartemperatuur op aarde (ten opzichte van het gemiddelde in 1961-1990) op basis van metingen uitgesplitst naar landoppervlak en oceaan. Alternatieve reeksen die in omloop zijn voor de temperatuur op aarde tonen ruwweg hetzelfde verloop. Bron: NASA GISS.

decennia kan worden toegeschreven aan de menselijke invloed op het klimaat. Door natuurlijke schommelingen, die onder andere samenhangen met El Niño en variaties in de zonne-activiteit, zijn niet alle recente jaren even warm. Alle jaren vanaf 2001 behoren wel tot de top 10 van de wereldwijd warmste jaren sinds het begin van de waarnemingen aan het eind van de 19e eeuw.

*Alle jaren vanaf 2001 behoren tot de top 10 van de wereldwijd warmste jaren sinds het begin van de waarnemingen aan het eind van de 19e eeuw.*

De temperatuur lijkt gedurende de laatste jaren minder snel te stijgen dan tijdens de periode 1975-2000. Dit kan door natuurlijke variaties verklaard worden; een systematische verandering in de snelheid van temperatuurstijging is statistisch niet aantoonbaar.



Het verschil komt geheel voor rekening van de oceanen. Landtemperaturen zijn in hetzelfde tempo als daarvoor doorgestegen (figuur 8). De temperatuur van het zeewateroppervlak is gedaald in de zeeën rond Zuidoost-Azië en in delen van de noordelijke Stille Oceaan. In de zeeën rondom de Zuidpool lijkt de watertemperatuur ook te zijn gedaald. Dit laatste is echter erg onzeker door de relatief slechte kwaliteit van de waarnemingen. De afkoeling in de noordelijke Stille Oceaan treedt op in gebieden waar van nature veel variaties tussen opeenvolgende decennia plaatsvinden. De afkoeling rond Zuidoost-Azië valt buiten de bandbreedte van natuurlijke variaties; de oorzaak hiervan is nog onbekend.

## Modellering van het mondiale klimaat

De gevoeligheid van de wereldgemiddelde temperatuur voor de toename van broeikasgassen is nog steeds onzeker (figuur 5). De spreiding die klimaatmodellen aangeven is, ondanks wetenschappelijk onderzoek, gedurende de laatste 10 jaar weinig veranderd: bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie stijgt de temperatuur in het merendeel van de modellen tussen de 2°C en 4,5°C. Een (veel) sterkere of (iets) minder sterke temperatuurrepons is echter niet uitgesloten.

Deze onzekerheid wordt voor een groot gedeelte bepaald door de onzekerheid over de aanpassing van wolken in een toekomstig klimaat. Dit geldt vooral voor de (sub)tropische wolken boven de oceanen. Het modelleren van bewolking is complex omdat vele processen, zoals straling, turbulentie en wolkenmicrofysica, zich op een (zeer) kleine schaal afspelen, en daardoor schematisch moeten worden beschreven in mondiale klimaatmodellen.

Onzekerheden in de polaire gebieden zijn eveneens groot. Het onverwacht snelle afsmelten van zeeijs bij de Noordpool in de afgelopen zomers heeft de beperkingen van de huidige mondiale modellen nog eens benadrukt. Menging en transport van oceaanwater, transport van vocht en warmte via de lucht, bewolking en zeeijsbewegingen spelen een belangrijke rol in de polaire gebieden. Veel van deze processen zijn kleinschalig en moeilijk te beschrijven in klimaatmodellen.

De opwarming van de aarde kan processen in gang zetten die op de lange termijn de opwarming weer versterken. Voorbeelden van dergelijke terugkoppelingen zijn het volledig wegsmelten van het zeeijs op de Noordpool in de zomer, destabilisatie van het landijs op Groenland en West-Antarctica en het op grote schaal veranderen van ecosystemen, zoals het verdwijnen van het Amazonewoud, met aanzienlijke effecten op de koolstofcyclus. Lange termijn terugkoppelingen via de opname en uitstoot van CO<sub>2</sub> door de oceanen en de biosfeer, ontbreken nu nog in de meeste klimaatmodellen. Ook kunnen sterke terugkoppelingen optreden door aanpassing van de vegetatie aan klimaatveranderingen. Deze kunnen leiden tot veranderingen in verdamping, bewolking en neerslag. Het onderzoek naar deze terugkoppelingen geeft nog geen eenduidig beeld, maar de implicaties voor de langere termijn kunnen groot zijn. Uit onderzoek naar klimaatveranderingen over de laatste miljoenen jaren zijn er aanwijzingen dat een uiteindelijke opwarming van 6°C bij een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-concentratie tot de mogelijkheden behoort.

De opwarming is niet op iedere plek op de aarde gelijk. De polen warmen sterker op dan de tropen, en de continenten warmen in het algemeen sterker op dan de oceanen. Hierdoor kunnen ook de luchtstromingspatronen over de aarde veranderen. Door veranderingen in de luchtstromingspatronen in de (sub)tropen kunnen de windregimes naar het noorden opschuiven, waardoor Nederland in de winter meer onder invloed van westenwinden komt te liggen. In de zomer kan door een sterke opwarming van het continent als gevolg van uitdroging de wind in Nederland vaker oostelijk worden. Naast veranderingen in de atmosfeer kunnen ook de stromingen in de oceaan veranderen. De kennis over hoe deze veranderingen in stromingspatronen tot stand komen is de laatste jaren sterk toegenomen, maar hoe ze precies uit zullen pakken is nog wel onzeker.

Hoewel de onzekerheden lang niet overal zijn verkleind (zie bovenstaand voorbeeld van de klimaatgevoeligheid), zijn de afgelopen jaren wel belangrijke vorderingen gemaakt. De fundamentele kennis over de werking en voorspelbaarheid van het klimaatsysteem is gegroeid. Met de toegenomen fijnmazigheid van de mondiale klimaatmodellen wordt het steeds beter mogelijk kleinschalige processen te beschrijven. Ook geven de huidige satellietwaarnemingen meer mogelijkheden om modellen te evalueren en te verbeteren, in het bijzonder met betrekking tot wolkenprocessen. Kortom, de huidige combinatie van hoge resolutie waarnemingen en modellen opent nieuwe mogelijkheden om tot robuustere en betrouwbaardere voorspellingen te komen.



### 2.3 IJskappen op Groenland en Antarctica

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. Er zijn plaatsen waar de snelheid van afkalving recent weer is afgenomen. De kleinschalige, dynamische processen die aanleiding geven tot deze fluctuaties in afkalving worden nog onvoldoende begrepen en zijn nog nauwelijks gemodelleerd. Daarom is het lastig om scenario's voor de toekomstige bijdrage van het slinken van ijskappen aan de zeespiegelstijging te maken.

#### *De fluctuaties in de afkalving aan de randen van de Groenlandse en de West-Antarctische ijskap worden nog onvoldoende begrepen.*

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. Door het beschikbaar komen van meer meetgegevens en intensief onderzoek verwachten we wel dat de onzekerheden de komende jaren aanzienlijk zullen verkleinen.

### 2.4 Zelf-gravitatie en zeespiegelstijging

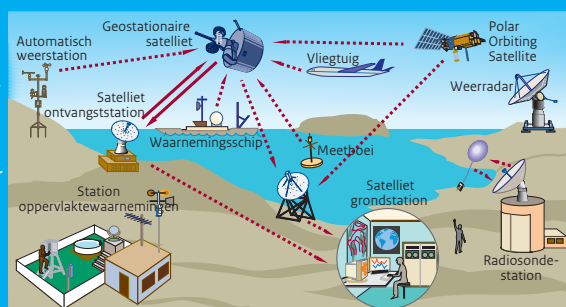
Wanneer een (deel van een) ijsmassa op het land smelt komt het smeltwater in zee terecht. Dit smeltwater verdeelt zich echter niet gelijkmatig over de oceanen als gevolg van het 'zelf-gravitatie effect'. Zeewater wordt door de zwaartekracht naar een op het land liggende ijsmassa toe getrokken. Het zeeniveau is daardoor relatief hoog in de buurt van een ijskap. Wanneer (een deel van) het landijs smelt, stijgt de zeespiegel gemiddeld over de wereld. Tegelijkertijd vermindert de aantrekkingskracht van de ijskap op het zeewater omdat deze massa verliest. Als gevolg van deze verminderde aantrekkingskracht is er een gebied in de buurt van de ijskap (gebied A in **figuur 9**) waar de zeespiegel niet stijgt maar daalt wanneer de ijsmassa slinkt. Verder van de ijskap af (gebied B) stijgt de zeespiegel wel, maar minder dan de stijging bij een gelijkmatige verdeling van het smeltwater over de oceanen. Ver van de ijskap (gebied C) is de zeespiegelstijging juist groter dan bij een gelijkmatige verdeling.

### Waarnemingen

Waarnemingen vormen het fundament van onze kennis over klimaatveranderingen. Via zogenaamde klimaatmonitoring kunnen we nagaan of de veranderingen in de pas lopen met eerder uitgegeven klimaatscenario's. Daarnaast leveren waarnemingen een belangrijke bijdrage aan het begrijpen, en daarmee aan het modelleren, van het klimaatsysteem.

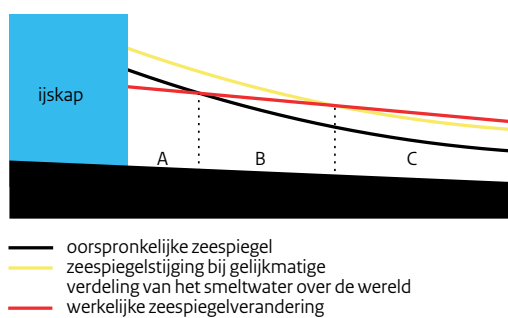
Satellietwaarnemingen worden steeds belangrijker. Behalve de sterk toegenomen technische mogelijkheden van de ruimtevaart krijgen de meetreeksen groeiende waarde omdat ze nu enkele tientallen jaren beslaan. Hierdoor kunnen eventuele langjarige trends beter worden onderscheiden van kortdurende fluctuaties. Met behulp van satellietwaarnemingen zullen we in de nabije toekomst bijvoorbeeld de veranderingen in de ijskappen van Groenland en Antarctica beter kunnen kwantificeren.

Door satellietmetingen te combineren met metingen met peilschalen en boeien in de oceaan volgen we het niveau van de zeespiegel. Deze metingen laten zien dat de zeespiegelstijging geleidelijk gaat. De afgelopen eeuw is de zeespiegel voor onze kust met 20 centimeter gestegen en van een duidelijke lokale versnelling in de afgelopen decennia is geen sprake. Mondiaal gemiddeld bestaan er wel aanwijzingen voor een versnelde zeespiegelstijging.



Gemiddeld over de aarde is er geen netto effect op het zeeniveau door zelf-gravitatie; het zorgt alleen voor een ongelijkmatige verdeling van het smeltwater. De afstand tussen Nederland en Groenland is zodanig dat de zeespiegelstijging als gevolg van het afsmelten van die ijskap voor onze kust slechts enkele tientallen procenten van de wereldgemiddelde stijging bedraagt (Nederland ligt in gebied B). Antarctica ligt ver van ons verwijderd. Wanneer deze ijskap slinkt zorgt het zelf-gravitatie effect er

**figuur 9.** Illustratie van het effect van zelf-gravitatie op de lokale zeespiegel bij afkalving van een ijskap. In gebied A treedt zeespiegeldaling op; in B is de zeespiegelstijging kleiner dan de stijging bij een gelijkmatige verdeling; in C is de zeespiegelstijging groter dan bij een gelijkmatige verdeling.

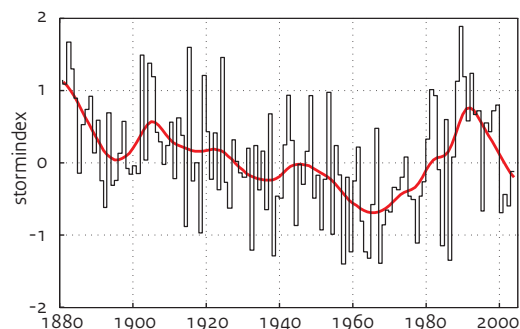


*Gemiddeld over de aarde heeft zelf-gravitatie geen netto effect op het zeeniveau; zelf-gravitatie zorgt alleen voor een ongelijkmatige verdeling van het smeltwater.*

**figuur 10.** Stormactiviteit boven de Britse Eilanden, Noordzee en Noorse zee. De zwarte lijn is een maat voor het aantal zware stormen in elk jaar en de rode lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde. Bron: IPCC, 2007.

voor dat Nederland te maken krijgt met iets meer zeespiegelstijging dan het geval zou zijn bij een gelijkmatige verdeling van het smeltwater over de wereld (Nederland ligt in gebied C).

In de KNMI'06 scenario's is het zelf-gravitatie effect nog buiten beschouwing gelaten. 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.

## 2.5 Stormen en stormvloed

Subtiële veranderingen in de atmosfeer kunnen een grote invloed hebben op het stormklimaat. Een kleine verandering in de ligging en de sterkte van de straalstroom boven de Atlantische Oceaan - de band met sterke westenwinden op ongeveer 10 km hoogte waarbinnen stormen zich ontwikkelen en meegevoerd worden - kan lokaal van groot belang zijn. Het stormklimaat is van nature erg variabel. Zelfs van het ene decennium naar het volgende decennium treden grote verschillen op (figuur 10). Ook zijn zware stormen zeldzaam waardoor trends moeilijk zijn vast te stellen.

De KNMI'06 scenario's gaan uit van een kleine invloed van klimaatverandering op het stormklimaat in Nederland. Dit beeld is bevestigd door nieuw onderzoek. Modellen laten zien dat de natuurlijke variaties in het stormklimaat groter zijn dan de veranderingen die door het broeikas effect worden veroorzaakt.

Voor overstromingsgevaar is niet alleen de sterkte van de stormen, maar ook de windrichting van

### Ensembles van klimaatsimulaties

Klimaatscenario's worden steeds vaker gebaseerd op een groot aantal simulaties met één of meer klimaatmodellen - een zogenaamd ensemble. Tot voor kort waren scenario's meestal gebaseerd op slechts enkele model-simulaties. Natuurlijke schommelingen kunnen dan gemakkelijk aangezien worden voor een systematische trend. Met de KNMI'06 scenario's is een eerste stap gezet richting scenario's die zijn gebaseerd op een ensemble. Deze tendens zet zich door in toekomstige scenario's. Met ensembles kunnen natuurlijke variaties en de gevolgen van menselijk handelen beter onderscheiden en gekwantificeerd worden. Ook kunnen de kansen op zeldzame gebeurtenissen, zoals extreme stormen, beter bepaald worden. Ensembles bieden ook de mogelijkheid om veranderingen in de variaties van dag tot dag, of van jaar tot jaar, beter vast te stellen, en daarmee de kansen op bijvoorbeeld hitte- en koudegolven en langdurig natte of droge periodes.



## De KNMI'06 scenario's gaan uit van een kleine invloed van klimaatverandering op het stormklimaat in Nederland. Dit beeld is bevestigd door nieuw onderzoek.

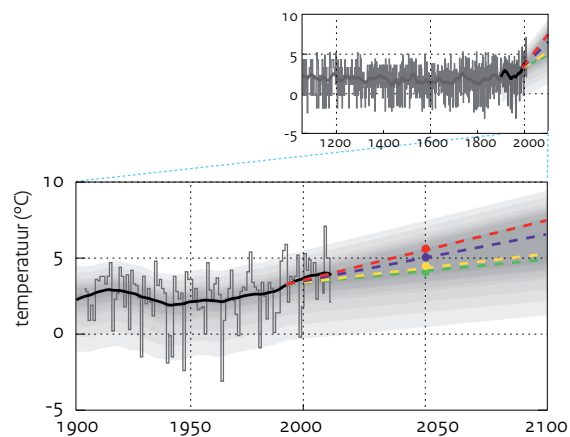
**figuur 11.** Wintertemperatuur in De Bilt tussen het jaar 1000 en 2008, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De waarden voor 1900 zijn gebaseerd op een temperatuurreconstructie voor de 'Lage Landen'. Deze is gemaakt op basis van historische bronnen en daarnaast, voor de periode vanaf 1706, ook op basis van instrumentele gegevens. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde. De gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variaties die zijn afgeleid uit de waarnemingen.

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.

### 2.6 Waargenomen snelle opwarming in Nederland

In 'De toestand van het klimaat in Nederland 2008'<sup>1</sup> is op basis van waarnemingen geconstateerd dat de temperatuur in Nederland en de ons omringende landen de afgelopen jaren ongeveer twee keer zo snel is gestegen als de wereldgemiddelde temperatuur. Deze toename lijkt systematisch te zijn en berust zeer waarschijnlijk niet op een natuurlijke schommeling.

Er zijn verschillende oorzaken voor de sterkere opwarming in Nederland. Voor de winter is dit een toename van de westenwinden. Voor de zomer gaat het om een toename van de inkomende zonnestraling door een afname van de bewolking, waarschijnlijk ten gevolge van uitdroging boven het Europese vasteland, en een schoner wordende atmosfeer (minder stofdeeltjes). In klimaatmodellen zijn deze processen onvoldoende beschreven, waardoor het verschil tussen de mondiale opwarming en de opwarming in Nederland in de afgelopen vijftig jaar systematisch wordt onderschat.



### Kans op extremen in een veranderend klimaat

Ontwerpcriteria voor veiligheid van infrastructuur worden vaak gebaseerd op waarnemingen van extreme gebeurtenissen in het huidige klimaat. Van belang zijn veelal gebeurtenissen die slechts eens in de 10 tot zelfs eens in de 10.000 jaar voorkomen. Meetreeksen zijn zelden langer dan 100 jaar, en meestal korter. Daarom is het vaak noodzakelijk statistisch (via zogenaamde extreme waarden verdelingen) te extrapoleren naar herhalingstijden die buiten de meetreeks vallen. Bij deze extrapolatie wordt uitgegaan van een niet-veranderend klimaat. Dit lijkt niet langer adequaat nu volgens het IPCC rapport van 2007 – een bewering op grond van modelresultaten en waargenomen trends – bepaalde extremen vaker zullen voorkomen en/of meer intens zullen worden.

Het is mogelijk om rekening te houden met veranderingen in de frequentie en sterkte van extremen. In samenwerking met internationale partners onderzoekt het KNMI de benodigde statistische methoden. Tevens wordt nagegaan of lokale extremen, waarmee klimaatmodellen grote moeite hebben, gekoppeld kunnen worden aan grootschalige fenomenen die wel goed door klimaatmodellen worden gesimuleerd.

Uitspraken over zeer zeldzame gebeurtenissen zijn onvermijdelijk onzeker. De onzekerheid over toekomstige klimaatveranderingen speelt hierbij een belangrijke rol. Maar ook de statistische extrapolatietechnieken zorgen voor een grote onzekerheidsmarge. Dit geldt bijvoorbeeld voor de extreme neerslagcondities die horen bij een afvoer van de Rijn die wordt overschreden met een kans van eens in de 1250 jaar en als maatgevend wordt beschouwd. De huidige maatgevende afvoer van de Rijn is vastgesteld op 16.000 m<sup>3</sup>/s, maar heeft een 95% betrouwbaarheidsinterval van 13.000 tot 18.500 m<sup>3</sup>/s. Evenzo zijn er grote marges in de extreme stormcondities boven de Noordzee met een kans van eens in de 10.000 jaar, zoals voorgeschreven in de Waterwet.

<sup>1</sup>Kattenberg, A. (red.), 2008: De toestand van het klimaat in Nederland 2008, KNMI, De Bilt

---

## Met de snelle opwarming in Nederland en West-Europa wordt het beste rekening gehouden in de W/W+ scenario's.

---

In de KNMI'06 scenario's wordt de relatie tussen de mondiale opwarming en de opwarming in Nederland afgeleid uit mondiale en regionale klimaatmodellen. Alleen de G+/W+ scenario's met veranderingen in de luchtstromingspatronen laten een sterkere lokale opwarming zien, tot ongeveer 1,5 maal wereldgemiddeld in de zomer. De waarnemingen over de laatste vijftig jaar suggereren een factor van ruim 2. Het is overigens niet gezegd dat deze trend zich in de toekomst zal voortzetten.

De sterke opwarming in Nederland wordt voor een gedeelte bepaald door factoren die niet eenvoudig naar de toekomst te extrapoleren zijn. De toename in westenwinden is over de laatste decennia vrij extreem geweest. De mechanismen van deze verandering zijn nog niet volledig begrepen, en dus is het onduidelijk of deze trend in dezelfde mate zal doorzetten. Hetzelfde geldt voor de afname van de bewolking. Alleen over de afname van de luchtvervuiling zijn we zekerder. Het is niet waarschijnlijk dat de lucht in de toekomst in dezelfde mate schoner zal worden. In de waarnemingen is sinds ongeveer 2000 vrijwel geen afname van de concentraties stoffdeeltjes meer te zien. Op de langere termijn kunnen mogelijke veranderingen in de Noord-Atlantische Oceaan en de 'Warme Golfstroom' ook een sterke invloed hebben op de temperatuur in Nederland.

De jaargemiddelde temperatuur in Nederland over de afgelopen 10 jaar (1999-2008) is 0,8°C hoger dan de basistemperatuur rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Daarmee vergeleken zijn de veranderingen in de G/G+ scenario's voor 2050 (tussen de 0,9 en 1,3°C) klein (**figuur 11**), hoewel deze betrekking hebben op een gemiddelde van 30 jaar in plaats van 10. Het gebruik van de G/G+ scenario's zou impliceren dat de temperatuur in Nederland tot 2050 gemiddeld vrijwel niet verder zal toenemen. Dat zou kunnen gebeuren, bijvoorbeeld doordat in de komende decennia de temperatuur tijdelijk lager is dan in de afgelopen 10 jaar, maar is minder waarschijnlijk.

Met de snelle opwarming in Nederland en West-Europa wordt het beste rekening gehouden in de W/W+ scenario's. Scenario's met nog hogere temperatuurstijgingen kunnen nuttig zijn wanneer voor

een specifieke toepassing hoge temperaturen een groot risico vormen (zie de box op pagina 10).

### 2.7 Extreme winterneerslag in het Rijnstroomgebied

De waargenomen toename in de winterneerslag op de gematigde breedtes van het Noordelijk Halfrond (inclusief grote delen van West-Europa) wordt volgens recent onderzoek in verband gebracht met de menselijke invloed op het klimaat. De KNMI'06 scenario's gaan uit van een verdere toename van de winterneerslag in de toekomst.

---

*In de KNMI'06 scenario's nemen de 10-daagse neerslagextremen in de winter even sterk toe als de extreme daghoeveelheden. Dit beeld blijft onveranderd.*

---

Piekafvoeren van de Rijn treden vaak op in de winter bij langdurige periodes met veel regen in het stroomgebied (ongeveer 10 dagen of meer). Niet alleen de verandering van de neerslaghoeveelheid op individuele dagen is dus van belang, maar ook de mate waarin dagen met veel neerslag vaker (of minder vaak) aaneengesloten zullen voorkomen. Zo'n verandering in clustering is volgens sommige klimaatmodellen mogelijk, maar nog uitermate onzeker. Verschillende klimaatmodellen geven tegenstrijdige uitkomsten. Daarom is in de KNMI'06 scenario's aangenomen dat de 10-daagse neerslag-extremen (bij benadering) even sterk zullen toenemen als de extreme daghoeveelheden. Deze nemen in de winter ongeveer evenveel toe als de gemiddelde neerslag.

### 2.8 Uitdroging van de bodem

Door de temperatuurstijging zal, indien er voldoende vocht aanwezig is in de bodem en de netto straling niet verandert, de verdamping toenemen. Volgens de KNMI'06 scenario's gaat het voor de zomers rond 2050 om een verdampingstoename van 3 tot 15%. Indien dit niet gecompenseerd wordt door toenemende regenval of beheersmaatregelen, zal dit tot uitdroging van de bodem leiden. De meeste klimaatmodellen berekenen een toenemende uitdroging van de bodem in de landen rond de Middellandse Zee gedurende de 21e eeuw. Voor Nederland zijn de modelberekeningen minder eenduidig. Door uitdroging van de bodem kan de temperatuur extra stijgen en neemt in de zomer de kans op hittegolven verder toe. De uitdroging van de bodem in Zuid-Europa in de zomer heeft ook consequenties voor het klimaat van

---

## Door uitdroging van de bodem kan de temperatuur in de zomer extra stijgen en neemt de kans op hittegolven verder toe.

---

West- en Midden-Europa. In de eerste plaats omdat bij zuidelijke winden drogere en warmere lucht wordt aangevoerd. In de tweede plaats kunnen door de hogere temperaturen in Zuid-Europa de luchtdrukpatronen zodanig veranderen dat boven West- en Midden-Europa de wind vaker oostelijk zal zijn. Ook die oostelijke wind zal droge warme continentale lucht aanvoeren. De G+/W+ scenario's brengen deze veranderingen in beeld.

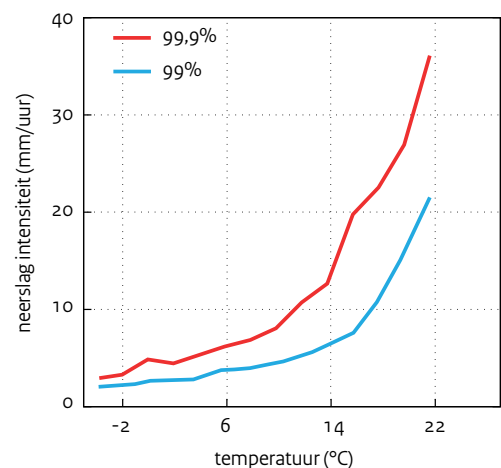
**figuur 12.** Uurlijkse neerslagintensiteit als functie van de daggemiddelde temperatuur op basis van waarnemingen in De Bilt. De 99% en 99,9% percentielen zijn de extremen die gemiddeld eens per 100 en eens per 1000 neerslaguren worden overschreden. Bij hogere temperaturen (het zomerhalfjaar) neemt de extreme buienintensiteit sterk toe met de temperatuur (ongeveer 14% per °C).

### 2.9 Zomerse buienintensiteit

Bij een hogere temperatuur kan de lucht meer waterdamp bevatten. Wanneer de relatieve vochtigheid van de atmosfeer niet substantieel verandert, zal de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer toenemen met ongeveer 7% per graad Celsius temperatuurstijging. Tijdens zware buien zal een groot gedeelte van de beschikbare hoeveelheid waterdamp in regen worden omgezet. Het ligt daarom voor de hand dat buien bij hogere temperaturen heviger zijn. Alle KNMI'06 scenario's laten daarom voor de zomer een toename zien van de extreme dagelijkse hoeveelheden van de neerslag. In waarnemingen van de neerslag in De Bilt is tijdens extreme buien in de

zomer een toename van de uurintensiteit gevonden van 14% per graad Celsius (**figuur 12**). Dit verband is aanzienlijk sterker dan op grond van de hoeveelheid waterdamp alleen kan worden verwacht. De extra toename is waarschijnlijk het gevolg van sterkere turbulentie in een buienwolk. Die zorgt ervoor dat waterdamp sneller wordt omgezet in regen en dat er meer vocht uit de omgeving wordt aangevoerd.

De neerslagintensiteit per uur tijdens extreme buien in de zomer zal waarschijnlijk sterker toenemen dan de extremen van de neerslaghoeveelheid per dag. Voor de dagelijkse hoeveelheden geldt dat de totale hoeveelheid beschikbare waterdamp in de atmosfeer een beperkende factor is. Buien worden intenser terwijl hun duur waarschijnlijk afneemt.



### Hoge resolutie klimaatmodellering voor Nederland

Voor adaptatie is informatie over klimaatverandering op lokale schaal belangrijk. In het algemeen neemt de onzekerheid toe naarmate de ruimtelijke schaal kleiner wordt. Ook is de verandering in de lokale neerslag onzekerder dan de verandering in de lokale temperatuur. Voor de zomer is het onzeker of de gemiddelde neerslag in Nederland toeneemt of afneemt; over een toename van de temperatuur zijn we echter wel zeker. Er zijn dus beperkingen aan de voorspelbaarheid op lokaal niveau, vooral met betrekking tot neerslag. Er zijn echter belangrijke uitzonderingen.

Volgens recent onderzoek is de verandering in neerslag sterk afhankelijk van de ruimtelijke schaal, zeker in de zomer. Lokale buien zullen een sterkere toename in intensiteit kennen dan de neerslag die valt tijdens langdurige regenperioden over een groter gebied. Ook kan een toegenomen temperatuur van de Noordzee leiden tot meer en extremere neerslag aan de kust in verhouding tot het binnenland. Omdat deze lokale neerslagprocessen sterk aan de temperatuur gekoppeld zijn, is de voorspelbaarheid waarschijnlijk relatief groot.

De regionale klimaatmodellen die zijn gebruikt voor de KNMI'06 scenario's hadden een oplossend vermogen (resolutie) van 50 km, en zijn daarmee onvoldoende geschikt om goed gekwantificeerde uitspraken op lokaal niveau te doen. Met hogere resolutie modellen, in combinatie met waarnemingen, wordt momenteel onderzoek gedaan om deze lokale neerslagprocessen beter te kwantificeren (**figuur 13**).

## De neerslagintensiteit per uur tijdens extreme buien zal waarschijnlijk sterker toenemen dan de extremen van de neerslaghoeveelheid per dag.

Ten behoeve van de KNMI'06 scenario's was geen informatie bekend over veranderingen in neerslaghoeveelheden per uur uit klimaatmodellen. Daarom is voor praktisch gebruik destijds aangenomen dat de uurintensiteit evenveel toeneemt als de dagelijkse hoeveelheid (zie paragraaf 4.3). Deze aanname is waarschijnlijk niet juist voor extreme buien in de zomer. Alleen kan de bovengenoemde relatie in de waarnemingen van het huidige klimaat niet zonder meer worden gebruikt voor uitspraken over buienintensiteit in een toekomstig klimaat, omdat andere factoren, zoals veranderingen in de luchtstromingspatronen en mogelijke bodemuitdroging, ook meegenomen moeten worden.

Voor de zomer is de marge voor neerslagextremen in de KNMI'06 scenario's relatief groot; de G/W scenario's hebben een sterke toename van de extreme dagelijkse hoeveelheden omdat deze gebaseerd zijn op de bovengrens in een groot aantal verschillende klimaatmodellen. Vanwege de ruime marge in de G/W scenario's zal de toename van de extreme neerslagintensiteit per uur in de toekomst vermoedelijk niet (veel) hoger zijn dan de toename van de extreme dagelijkse hoeveelheden in de G/W scenario's. De waarden in de G+/W+ scenario's voor de toename van de extreme dagelijkse neerslaghoeveelheden geven waarschijnlijk wel een onderschatting van de toename van de extreme neerslagintensiteit per uur.

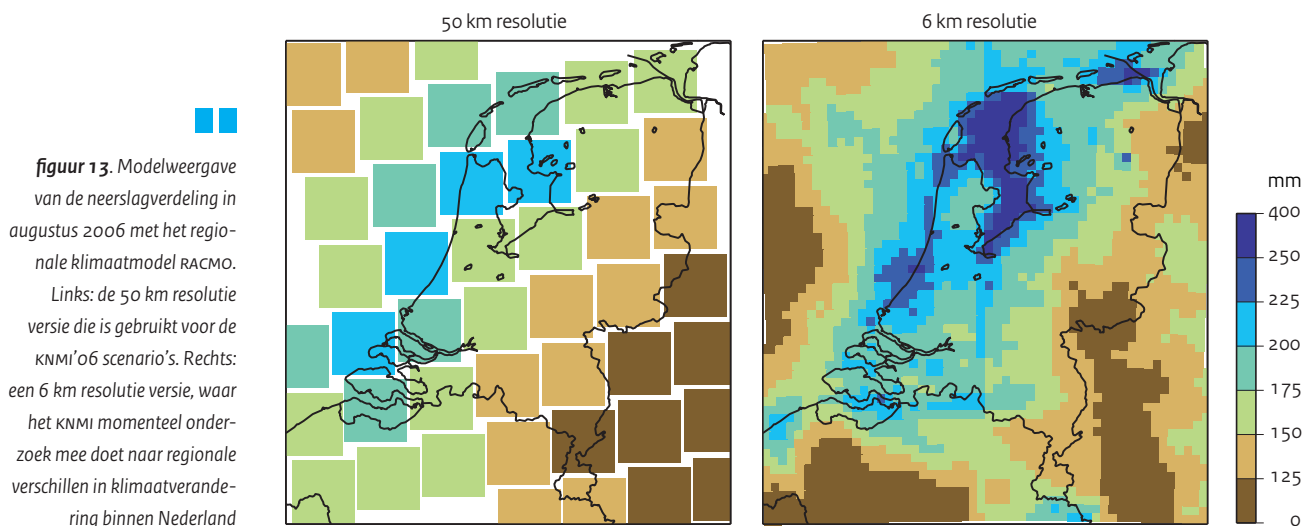
Niet alleen de neerslagintensiteit kan sterk toenemen bij hogere temperaturen. Ook aan buien gerelateerde fenomenen, zoals hagel, onweer, windstoten en windhozen, zullen waarschijnlijk toenemen in intensiteit en/of vaker optreden.

### 2.10 Kustneerslag in zomer en herfst

De temperatuur van de Noordzee heeft een aantoonbare invloed op de neerslagverdeling binnen Nederland. In 'De toestand van het klimaat in Nederland 2008' is het effect van de Noordzeetemperatuur op de neerslag in Nederland uitgebreid besproken. Bij bepaalde luchtstromingspatronen kan aan de kust tot ongeveer 15% meer neerslag vallen per graad Celsius temperatuurstijging van de Noordzee. Dit zijn voornamelijk situaties waarbij koude en onstabiele lucht over een warme Noordzee wordt aangevoerd. Dit effect is het sterkst tot ongeveer 30 kilometer landinwaarts, en doet zich vooral voor in de tweede helft van de zomer en in de herfst.

Evenals het land (zie paragraaf 2.6), lijkt ook de temperatuur van de Noordzee sneller te stijgen dan de wereldgemiddelde temperatuur. Dit is echter moeilijker vast te stellen omdat lange en uniforme tijdreeksen van de Noordzeetemperatuur schaars zijn. Uit waarnemingen blijkt de kuststrook in de nazomer en herfst gemiddeld natter geworden dan het binnenland. Een oorzakelijk verband met de stijgende Noordzeetemperatuur is waarschijnlijk.

De KNMI'06 scenario's gaan uit van één vaste waarde voor de temperatuur- en neerslagveranderingen voor geheel Nederland. De gebruikte klimaatmodellen voor de KNMI'06 scenario's bevatten geen realistische beschrijving van de lokale tempera-



tuur van het Noordzeewater. Ook is de gebruikte ruimtelijke resolutie onvoldoende om kustneerslag te kunnen onderscheiden van de neerslag in het binnenland. Lange klimaatsimulaties met regionale modellen waarin de invloed van het Noordzeewater realistisch wordt meegenomen zijn op dit moment niet beschikbaar. Dit maakt de uitspraken over de toekomstige neerslag in de nazomer en herfst in de kustregio slechts indicatief.

Omdat de G/W scenario's gebaseerd zijn op de bovengrens van de gebruikte modelresultaten, bevatten deze scenario's voldoende marge om het effect van de warme Noordzee mee te nemen. Bij gebruik van de G+/W+ scenario's wordt de invloed van het warmer wordende zeewater op de neerslag in de kuststrook waarschijnlijk onderschat.

---

*Naast langdurige periodes met droogte, zoals in de G+/W+ scenario's, zal de kuststrook ook rekening moeten houden met kortdurende periodes met extremere neerslag, zoals in de G/W scenario's.*

---

Voor deze scenario's zal de lokale temperatuurstijging van de Noordzee relatief groot zijn. De G+/W+ scenario's gaan ook uit van modellen die een sterke uitdroging boven het land vertonen, en waarin de buienactiviteit sterk wordt onderdrukt. Voor de kuststrook, met de Noordzee als bron van vocht, is dit niet realistisch. De kuststrook zal waarschijnlijk een geringere afname van de gemiddelde zomerneerslag, en een sterkere toename van de extreme dagelijkse hoeveelheden kennen dan het landelijke gemiddelde in de G+/W+ scenario's. Naast langdurige periodes met droogte zoals beschreven in de G+/W+ scenario's, zal de kuststrook ook rekening moeten houden met kortdurende periodes met extremere neerslag, zoals beschreven in de G/W scenario's.

# 3 Betekenis voor KNMI'06 klimaatscenario's

*De KNMI'06 scenario's beschrijven ook volgens de huidige inzichten samen de meest waarschijnlijke veranderingen.*

De nieuwe onderzoeksresultaten in voorgaande paragrafen geven aanleiding de klimaatscenario's van drie jaar geleden nog eens tegen het licht te houden. De KNMI'06 scenario's blijven goed bruikbaar voor de meeste klimateffectstudies en adaptatievraagstukken in ons land, omdat ze ook volgens de huidige inzichten samen de meest waarschijnlijke veranderingen beschrijven met bijbehorende onzekerheden. Wel zijn er de volgende nieuwe aanwijzingen voor gebruik:



De temperatuur in Nederland stijgt snel. Deze snelle opwarming is veroorzaakt door factoren die nog onvoldoende begrepen zijn, en niet zomaar mogen worden geëxtrapoleerd naar de toekomst. Duidelijk is wel dat de lagere temperatuurveranderingen in de G/G+ scenario's minder waarschijnlijk zijn dan de hogere temperatuurveranderingen in de W/W+ scenario's.



Er zijn aanwijzingen dat de toename van de intensiteit van zware buien in de zomer bij stijgende temperatuur sterker is dan de toename van de extreme dagelijkse hoeveelheden die worden gegeven in de KNMI'06 scenario's. De G/W scenario's bevatten waarschijnlijk voldoende marge om het verschil te compenseren. Dit is vooral relevant voor toepassingen waarin kortdurende zware neerslaggebeurtenissen centraal staan.



Het is aannemelijk dat de regionale verschillen in extreme neerslag binnen Nederland, zoals zichtbaar in de waarnemingen, in de toekomst versterkt worden. De veranderingen in (extreme) neerslag in de zomer in de G+/W+ scenario's lijken te laag voor de kuststrook. Voor dit gebied dient men rekening te houden met de combinatie van droogte uit de G+/W+ scenario's afgewisseld met (korte) periodes met extreme neerslag uit de G/W scenario's.



Nieuw onderzoek bevestigt dat de natuurlijke variaties in het stormklimaat, zelfs gemiddeld over 30 jaar, groter zijn dan de veranderingen die door het broeikas effect worden veroorzaakt. Er zijn geen aanwijzingen voor meer of sterkere winden uit noordelijke richting in de toekomst, die zorgen voor de grootste wateropstuwing aan de Nederlandse kust.



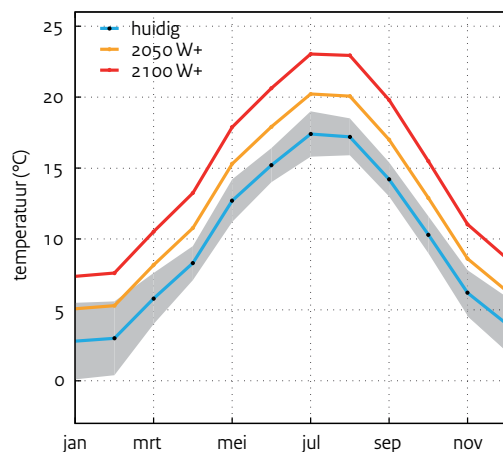
De recent waargenomen versnelde afkalving van de Groenlandse en West-Antarctische ijskap wordt nog slecht begrepen en gemodelleerd. Daarnaast bestaat er onzekerheid over de verdeling over de oceanen van smeltwater afkomstig van ijsmassa's op land door het gravitatie-effect. Volgens de huidige inzichten zou een eventuele bijstelling van de KNMI'06 scenario's voor de zeespiegelstijging, om met deze effecten beter rekening te houden, niet leiden tot afwijkende cijfers.



# 4 Aanvullende KNMI'06 scenariogetallen

## 4.1 Overgangsseizoenen

De KNMI'06 klimaatscenario's geven de veranderingen in temperatuur, neerslag, etc. voor de winter (december, januari, februari) en de zomer (juni, juli, augustus). Via interpolaties en modelanalyses zijn nu ook de veranderingen in alle afzonderlijke maanden afgeleid (figuur 14), dus inclusief de overgangsseizoenen lente (maart, april, mei) en herfst (september, oktober, november). Deze aanvullingen op de KNMI'06 scenario's zijn weergegeven in tabel 2 (binnenzijde achterkast), samen met de eerder uitgegeven winter- en zomergetallen.



**figuur 14.** Jaarlijkse cyclus van de temperatuur voor het huidige klimaat (De Bilt, 1976 - 2005) en het toekomstige klimaat rond 2050 en 2100 voor het W+ scenario. De grijze band geeft een indicatie van de jaar-op-jaar variatie in het huidige klimaat. Voor het W+ scenario in 2100 zullen temperaturen die nu in juli en augustus normaal zijn gemiddeld ruim vijf maanden per jaar overschreden worden.

## 4.2 Tijdreeksen van dagwaarden

Veel studies naar de effecten van klimaatverandering maken gebruik van tijdreeksen van de temperatuur,

de neerslaghoeveelheid, etc. op achtereenvolgende dagen. Bij de KNMI'06 scenario's zijn echter geen bijpassende tijdreeksen geleverd voor het klimaat rond 2050 en 2100. De scenario's beschrijven alleen de veranderingen ten opzichte van het klimaat rond 1990.

De KNMI'06 scenario's zijn gemaakt door combinatie van resultaten uit verschillende klimaatmodellen. Er bestaat daarom geen klimaatmodel waarvan de resultaten precies overeenkomen met één van de KNMI'06 klimaatscenario's. Vergelijking met waarnemingen laat ook zien dat klimaatmodellen vaak dusdanig systematische fouten bevatten, dat de gesimuleerde tijdreeksen uit die modellen niet rechtstreeks gebruikt kunnen worden als invoer voor klimaateffectstudies.

In plaats daarvan kunnen tijdreeksen voor de toekomst worden geconstrueerd door lokale meetreeksen uit het verleden zodanig aan te passen dat de getransformeerde reeksen passen bij een gekozen klimaatscenario. Voor de KNMI'06 scenario's is een computerprogramma via internet beschikbaar gemaakt dat deze transformatie uitvoert voor dagwaarden van temperatuur en neerslag ([www.knmi.nl/klimaatscenarios/tijdreekstransformatie](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/tijdreekstransformatie)). In de nieuwe tijdreeksen worden niet alleen de seizoensgemiddelde waarden in overeenstemming gebracht met de scenario's, maar ook de (gematigde) extremen.



Een gevolg van de gebruikte methode is dat de tijdreeksen voor de toekomst nog veel eigenschappen bevatten van de historische meetreeksen. Zo blijft de opeenvolging van warme en koude dagen onveranderd. Hetzelfde geldt voor de opeenvolging van droge en natte dagen, hoewel rekening is gehouden met een verandering van het aantal natte dagen. Het gebruik van deze getransformeerde tijdreeksen voor studies waarbij veranderingen in bijvoorbeeld de lengte van droogteperiodes, meerdaagse neerslag-extremen, of koude- en hittegolven belangrijk zijn, kent daarom beperkingen.

Aan een alternatief in de vorm van representatieve tijdreeksen van 'toekomstig weer' die zijn afgeleid uit speciale klimaatmodelsimulaties wordt gewerkt (zie paragraaf 5.2).

### 4.3 Neerslagextremen

Ter voorkoming van wateroverlast heeft het waterbeheer in Nederland behoefte aan statistieken van extreme neerslaghoeveelheden die met een bepaalde frequentie worden overschreden. Deze statistieken zijn nodig voor het gehele jaar, voor iedere lokatie in het land, en voor verschillende neerslagperiodes en herhalingstijden. Ook de verandering van deze statistieken in de toekomst is van belang. De KNMI'06 scenario's beperken zich echter tot uitspraken over de extreme dagelijkse neerslaghoeveelheid en de extreme 10-daagse neerslaghoeveelheid die met een kans van eens in de 10 jaar wordt overschreden (ofwel een gebeurtenis met een herhalingstijd van 10 jaar). Informatie over veranderingen in kortdurende neerslag of zeldzamere gebeurtenissen wordt niet gegeven.

Als uitbreiding op de informatie in de KNMI'06 scenario's is in **tabel 1** de jaarstatistiek voor neerslagperiodes van één uur tot en met 10 dagen bij verschillende herhalingstijden gegeven, voor het huidige klimaat en voor 2050 op basis van de vier KNMI'06 scenario's. De scenariogetallen zijn afgeleid uit de getransformeerde meetreeksen (zie paragraaf 4.2). Gezien de resultaten uit paragraaf 2.9 wordt

geadviseerd om in heel Nederland voor de extreme neerslagintensiteiten per uur uit te gaan van de G/W scenario's. De veranderingen in de extreme neerslagintensiteiten per uur zijn daarbij gelijk aan de veranderingen in de extreme dagelijkse hoeveelheden.

Volgens recent onderzoek<sup>1</sup> bestaan er voor het huidige klimaat significante regionale verschillen in extreme neerslag, die niet direct samenhangen met verschillen in de totale hoeveelheid neerslag per jaar. Voor de extreme dagelijkse neerslaghoeveelheid die met een kans van eens in de 10 jaar valt, zijn de verschillen tussen de meest natte en meest droge delen van het land op dit moment bijna even groot als de veranderingen in de scenario's voor 2050.

**Figuur 15 (linker figuur)** geeft de regionale verschillen in extreme neerslag weer. De verschillen zijn weergegeven in percentages minder of meer neerslag ten opzichte van De Bilt. De percentages gelden alleen voor de dagelijkse en 10-daagse waarden in **tabel 1**. Ze gelden niet voor extreme neerslagintensiteiten per uur. Meetreeksen van stations en regenradargegevens laten geen duidelijke regionale verschillen zien voor extreme uurneerslag. Uit de figuur blijkt dat de statistiek van De Bilt geldig is voor het grootste deel van het land, maar dat in delen van Zuid-Holland de extreme neerslag tot 14% hoger is. Ook de totale hoeveelheid neerslag vertoont een maximum in Zuid-Holland (**figuur 15, rechter figuur**), maar minder uitgesproken dan voor de extreme neerslag. De relatie met het eerder beschreven kusteffect op de neerslag in de nazomer en herfst (zie paragraaf 2.10) en eventuele stadseffecten zijn onderwerp van onderzoek.

In de toekomst kunnen mogelijk veranderingen in de regionale neerslagpatronen optreden door uitdroging boven het Europese vasteland (zie paragraaf 2.8) en hogere temperaturen van het Noordzeewater (zie paragraaf 2.10).

**tabel 1.** Jaarstatistiek voor de neerslagextremen (mm) in het huidige klimaat gebaseerd op de meetreeks van De Bilt (1906-2003) en het toekomstige klimaat rond 2050 (gebaseerd op 13 getransformeerde meetreeksen, 1906-2008, die samen representatief zijn voor De Bilt) voor verschillende herhalingstijden en neerslagperiodes. Voor een neerslagperiode van 1 uur zijn de G+/W+ scenario's wegge laten, vanwege de resultaten uit paragraaf 2.9.

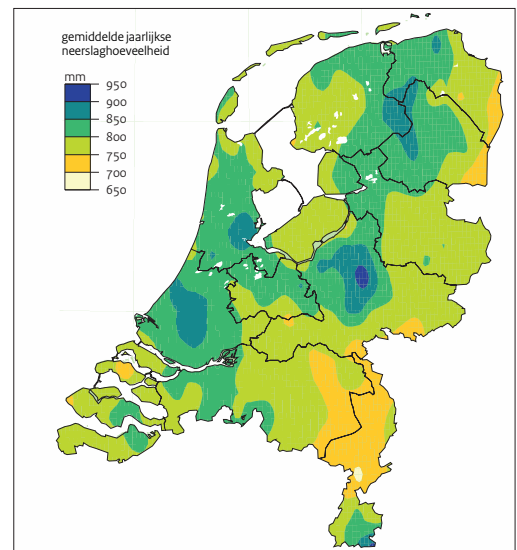
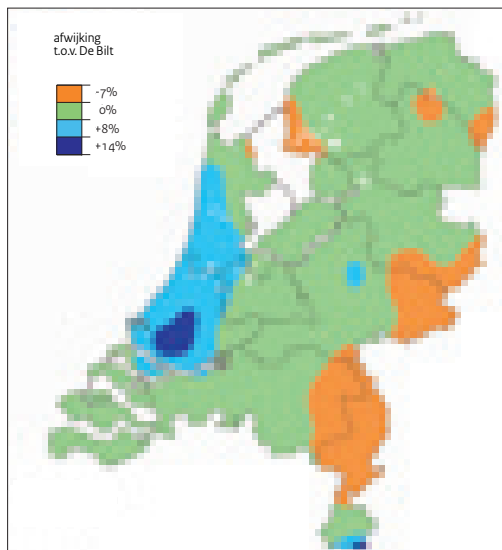
neerslagperiode	1 uur					1 dag					10 dagen							
	herhalingstijd	huidig	G	G+	W	W+	herhalingstijd	huidig	G	G+	W	W+	herhalingstijd	huidig	G	G+	W	W+
1 jaar	14	15	-	17	-	33	36	35	39	36	80	85	81	89	82			
10 jaar	27	30	-	33	-	54	60	57	66	60	114	122	116	130	119			
100 jaar	43	48	-	53	-	79	88	84	98	88	143	154	146	164	150			

<sup>1</sup>Buishand, T.A., R. Jilderda, J.B. Wijngaard, 2009: Regionale verschillen in extreme neerslag. KNMI, Wetenschappelijk rapport WR 2009-1.

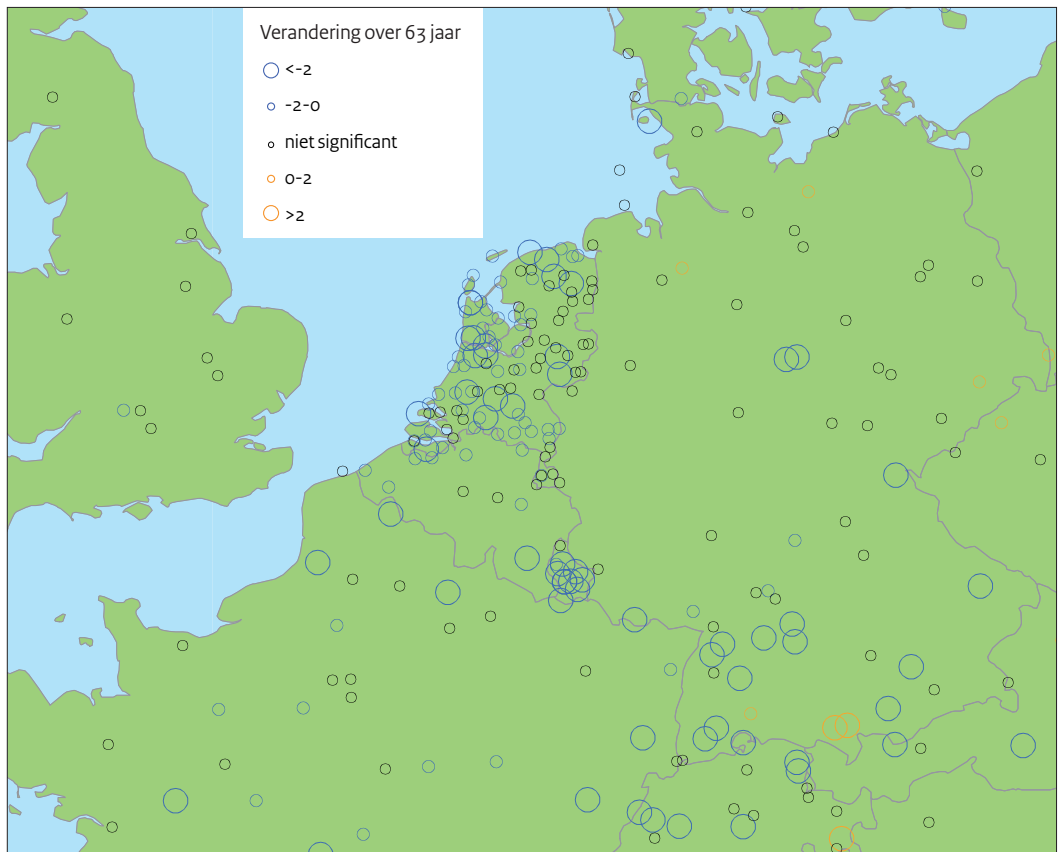
Voor neerslaggebeurtenissen die relatief vaak voorkomen zijn er aanwijzingen dat deze in de afgelopen decennia al zijn veranderd. Op de meeste stations in Nederland en omgeving zien we een toename van het aantal dagen per jaar met minimaal 20 mm neerslag tussen 1946 en 2008 (figuur 16). Sinds 1950 zijn in de Nederlandse meetreeksen de dage-

lijkse neerslaghoeveelheden die 1x per jaar worden overschreden met ongeveer 10% toegenomen. De waarden in tabel 1 zijn voor herhalings tijden van 1 jaar dus mogelijk te laag voor de huidige omstandigheden. Voor extremere gebeurtenissen (1x per 10 jaar en 1x per 100 jaar) zijn geen trends aantoonbaar in de meetreeksen.

**figuur 15.** Regionale verschillen in de statistiek van extreme waarden van de neerslag (links; gebaseerd op meetreeksen van 141 stations, 1951-2005). De kleur geeft het verschil in extreme neerslag aan ten opzichte van De Bilt. Ter vergelijking de kaart met de regionale verschillen in de totale jaarlijkse neerslaghoeveelheid (rechts; gebaseerd op meetreeksen van 283 stations, 1971-2000).



**figuur 16.** Trends in aantal dagen per jaar met minimaal 20 mm neerslag, gemeten op weerstations tussen 1946 en 2008. Bron: eca.knmi.nl.





# 5 Vooruitblik op toekomstige generatie KNMI klimaatscenario's

## 5.1 Tijdpad en (inter)nationale afstemming

Veel van het onderzoek naar klimaatverandering wordt uitgevoerd binnen het raamwerk van grote internationale klimaatprogramma's, waarvan in dit verband het World Climate Research Programme en het Europese Kaderprogramma de belangrijkste zijn. Door actief aan deze programma's bij te dragen heeft het KNMI de beschikking over de meest recente resultaten van klimaatonderzoek op een internationaal erkend niveau. Deze programma's zijn ook belangrijke leveranciers voor het IPCC.

Voor het uitbrengen van nieuwe klimaatscenario's sluit het KNMI aan bij de cyclus van het IPCC. Voor



het volgende IPCC rapport wordt de komende jaren een groot aantal nieuwe simulaties met klimaatmodellen uitgevoerd. De analyses van deze simulaties, gecombineerd met de analyses van nieuwe waarnemingen, vormen de basis voor het volgende IPCC rapport. Dat rapport verschijnt omstreeks 2013. De volgende KNMI klimaatscenario's staan daarom ook voor omstreeks 2013 gepland, zodat het nieuwe onderzoeksmateriaal dat dan beschikbaar is kan worden meegenomen.

Een deel van het onderzoek vindt ook plaats in het kader van nationale klimaatprogramma's zoals Duurzame Aarde (NWO), Klimaat voor Ruimte, Leven met Water en Kennis voor Klimaat. Tevens bestaat een sterke relatie met het VROM programma Wetenschappelijke Assessment en Beleidsanalyse. De volgende KNMI klimaatscenario's zijn een belangrijk onderdeel van de uitvoering van het nationale adaptatiebeleid, zoals weergegeven in het Ontwerp Nationaal Waterplan. Het klimaatonderzoek op de lange termijn sluit aan bij het Deltaprogramma dat de komende jaren opgesteld zal worden.

Verschillende landen in West-Europa hebben de afgelopen jaren eigen nationale klimaatscenario's ontwikkeld. In al deze landen worden berekeningen met klimaatmodellen, die zijn gedaan ten behoeve van het IPCC, als uitgangspunt gebruikt. De methode voor het construeren van de nationale scenario's verschilt echter van land tot land. Op twee punten onderscheiden de KNMI '06 scenario's zich:

1. De meeste landen gebruiken de emissie-scenario's als basis voor de indeling van de nationale klimaatscenario's. Het KNMI heeft

de mondiale temperatuurstijging gebruikt, omdat zo een beter inzicht wordt verkregen in de gecombineerde onzekerheden over broeikasgasemissies en de reactie daarop van het klimaatsysteem.

2. In de meeste landen is het tot nu toe gebruikelijk om scenario's op slechts enkele model-simulaties te baseren. De KNMI'06 scenario's gaan uit van een groot aantal modelsimulaties, waardoor consistentie met het IPCC rapport zo goed mogelijk gewaarborgd is.

De verschillende aanpak per land beperkt de onderlinge vergelijkbaarheid van klimaateffectstudies en adaptatiestrategieën. Daarom heeft het KNMI inmiddels nauw contact met Belgische en Duitse collega's over een onderlinge afstemming van de wederzijdse klimaatscenario's. In België heeft dit geleid tot een gezamenlijk project waarbij scenario's voor Vlaanderen zijn opgesteld die aansluiten bij de KNMI'06 scenario's.

## 5.2 Keuzes

Nieuw onderzoek leidt tot nieuwe inzichten.

Vandaar dat het KNMI met enige regelmaat, en in samenspraak met de gebruikers, nieuwe klimaat-scenario's uitbrengt. Daarbij streeft het KNMI naar één set algemene klimaatscenario's die geschikt is voor breed gebruik. Dit vereenvoudigt de onderlinge vergelijkbaarheid en integratie van klimaateffectstudies en adaptatiestrategieën. Daarnaast bestaat ruimte voor aanvullende maatwerkscenario's voor specifieke toepassingen, zoals risico-, kosten/baten- en kwetsbaarheidanalyses.

Voor de ontwikkeling van de toekomstige generatie klimaatscenario's is participatie van gebruikers belangrijk. Gezien de diversiteit van de gebruikersgroepen (van beleidsmakers en onderzoekers tot uitvoerende instanties) zullen, in samenspraak met gebruikers, keuzes gemaakt moeten worden. Voor de set algemene klimaatscenario's gaat het bijvoorbeeld om de volgende vragen:

- **Hoeveel scenario's brengen we uit, en binnen welk raamwerk?**  
De KNMI'06 scenario's gaan uit van de mondiale temperatuurverandering en de verandering in luchtstromingspatronen boven Nederland als stuurvariabelen. Samen leidde dit tot vier scenario's. Kunnen we hiermee ook volgens de nieuwste modelresultaten het merendeel van de relevante onzekerheden omvatten? Onzekerheid over de stijging van de temperatuur

van de Noord-Atlantische Oceaan door een mogelijke verandering van de 'Warme Golfstroom' zou bijvoorbeeld aanleiding kunnen zijn voor het toevoegen van een derde stuurvariabele en daarmee mogelijk extra scenario's.

- **Welke kenmerken van de lokale klimaatverandering geven we?**

In plaats van enkel de veranderingen in de gemiddelden en gematigde extremen te geven zoals in de KNMI'06 scenario's, kunnen kansverdelingen en/of tijdreeksen voor het toekomstige klimaat worden gemaakt, die inspelen op de vragen van de belangrijkste gebruikersgroepen. Het KNMI onderzoekt of het mogelijk is representatieve tijdreeksen van 'toekomstig weer' af te leiden uit speciale klimaatmodelsimulaties die passen bij een bepaald klimaatscenario. Dat geeft een vollediger beeld van een toekomstig klimaat, inclusief jaar-op-jaar variaties en mogelijke veranderingen in bijvoorbeeld langdurige hittegolven en meerdaagse neerslagextremen.

- **Focussen we op het beter kwantificeren van kansen of op een hogere resolutie en regionaal onderscheid?**

Voor het beter kwantificeren van kansen zijn grote aantallen modelsimulaties vereist. Omdat de reken capaciteit beperkt is, gaat dit ten koste van de fijnmazigheid van het model en dus van het regionale onderscheid, en de mogelijkheid om informatie over kleinschalige processen aan te bieden, bijvoorbeeld over de intensiteit van buien. Er zijn aanwijzingen voor significante verschillen in klimaatverandering binnen Nederland, vooral in het neerslagklimaat tussen de kust en het binnenland. Het onderzoek hiernaar staat echter nog in de kinderschoenen en vergt substantiële inspanningen op het gebied van regionaal modelleren. Of het accent op kansen of hogere resolutie moet liggen is onduidelijk, want beide ontwikkelingen zijn gewenst.

- **Voor welke variabelen kunnen zinvolle kansuitspraken worden gedaan?**

Methoden om kansuitspraken te doen voor een risicobenadering staan momenteel sterk in de internationale belangstelling. Kansuitspraken zijn het eerste mogelijk voor de mondiale temperatuurstijging. Die hangt namelijk vooral af van het gehanteerde emissiescenario en van de klimaatgevoeligheid. Voor klimaatveranderingen in Nederland zijn veel meer factoren

van belang. Kansen zijn daardoor moeilijker te bepalen. Dit geldt vooral voor uitspraken over veranderingen in de kans op zeldzame gebeurtenissen (extremen) die bijvoorbeeld in het waterbeheer worden gebruikt.

- **Hoe gaan we om met moeilijk te kwantificeren, maar mogelijk belangrijke processen?**

Voorbeelden hiervan zijn het versneld afsmelten van ijskappen door dynamische processen (zie paragraaf 2.3), en terugkoppelingen in biologische en chemische processen (zie paragraaf 2.2). De nieuwe generatie klimaatmodellen, die gebruikt wordt voor het volgende IPCC rapport en als invoer dient voor de volgende KNMI scenario's, zal deze processen gedeeltelijk meenemen.

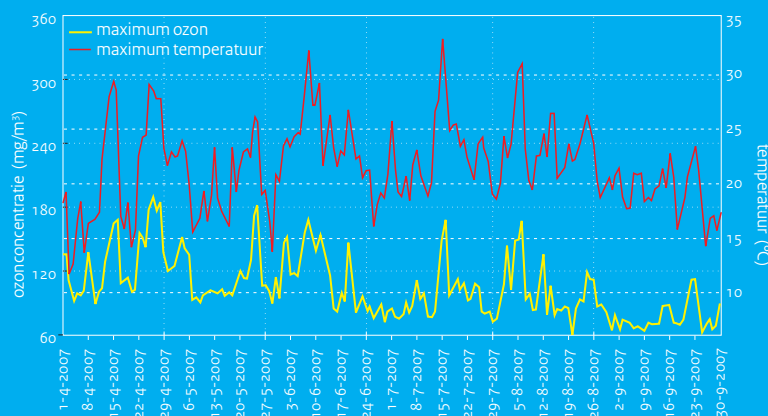
### Scenario's voor luchtkwaliteit

De gevolgen van klimaatverandering voor de luchtkwaliteit zijn nog niet goed bekend. Bepaalde chemische stoffen die een rol spelen in de luchtkwaliteit hebben op hun beurt ook een invloed op het klimaat. Voorbeelden hiervan zijn ozon, dat een broeikasgas is, en stofdeeltjes die wolkenvorming beïnvloeden en zonnestraling weerkaatsen.

Er zijn veel meteorologische factoren die de luchtkwaliteit beïnvloeden. De meeste chemische reacties in de atmosfeer verlopen sneller bij een hogere temperatuur. Smogperiodes vallen daarom vaak samen met hittegolven (figuur 17). De opwarming van het klimaat gaat gepaard met een toename van de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer. Dat kan juist leiden tot een snellere afbraak van luchtverontreiniging. Veranderingen in de luchtstromingspatronen kunnen schonere lucht van zee, of juist meer vervuilde lucht uit nabijgelegen brongebieden zoals het Ruhrgebied, België of Zuid-Engeland aanvoeren. Het vaker voorkomen van hogedrukgebieden met lage windsnelheden (zoals in de G+/W+ scenario's), kan leiden tot meer smogperiodes. Veranderingen in de bewolgingsgraad beïnvloeden ook de snelheid van smogvorming. Als er vaker neerslag valt zullen fijnstof en andere stofdeeltjes eerder worden uitgewassen. Hierdoor nemen de concentraties in de lucht af. De invloed van het weer en het klimaat op de luchtkwaliteit is dus heel divers en het netto effect van klimaatverandering is niet op voorhand duidelijk.

Klimaatverandering zal mogelijk leiden tot verandering in de behoeftes en het gedrag van mensen, zoals een afname van verwarming in de winter en een toename van het gebruik van airconditioning in de zomer. Zulke factoren beïnvloeden de antropogene emissies van broeikasgassen. Klimaatverandering heeft effect op de vegetatie en dus ook op de natuurlijke emissies vanuit de vegetatie en bodem. Natuurlijke emissies zijn belangrijk voor de luchtkwaliteit. De emissie van vluchtige organische stoffen uit planten en bomen levert een aanzienlijke bijdrage aan smogvorming gedurende hittegolven. Bij hogere temperatuur komen er ook meer stikstofoxides vrij uit de bodem. Stikstofoxiden dragen bij aan ozonvorming.

Recent zijn in samenwerking met TNO modelberekeningen gemaakt waarin de invloed van de temperatuur op de ozonconcentratie is geanalyseerd. De meeste modellen laten voor West-Europa zien dat een toename van de temperatuur leidt tot een toename van de overschrijdingen van de uurgemiddelde grenswaarde voor ozon. Met betrekking tot fijnstof zijn nog slechts weinig studies gedaan naar het effect van klimaatverandering.



**figuur 17.** Landelijke maximum ozonconcentratie en maximum temperatuur in de zomer van 2007. Bron: RIVM.

- **Is het mogelijk om scenario's met tijdsverloop te construeren?**

Voor investeringsvraagstukken is het belangrijk te weten wanneer het klimaat zodanig is veranderd dat maatregelen nodig zijn of bestaand beleid ontoereikend is. Hiervoor zijn scenario's met een vaste tijdshorizon (zoals 2050 en 2100 bij de KNMI'06 scenario's) minder geschikt.

- **Komen er decenniumverwachtingen voor de komende 10 tot 20 jaar?**

De voorspelbaarheid van het klimaat voor de komende 10 tot 20 jaar staat volop in de belangstelling. De onzekerheden in dit nieuwe onderzoeksgebied zijn echter nog groot (**figuur 4**). Het KNMI onderzoekt of er voor Nederland voldoende voorspelbaarheid op deze termijn is.

- **Voor welke klimaatgerelateerde variabelen maken we scenario's?**

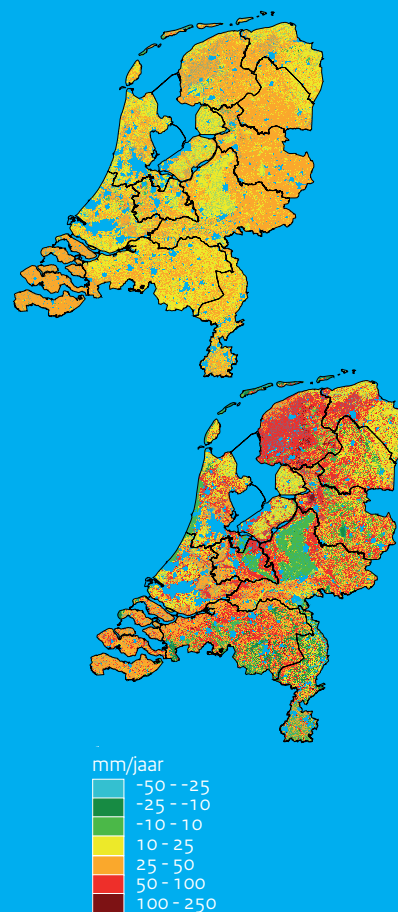
Voorbeelden van klimaatgerelateerde variabelen zijn luchtkwaliteit en verdamping. Voor beide geldt dat ze door het klimaat beïnvloed worden, dat ze zelf invloed hebben op het klimaat, maar ook dat ze sterk afhankelijk zijn van externe factoren, zoals landgebruik en sociaal-economische factoren. In samenwerking met (inter)nationale partners onderzoekt het KNMI of en in welke vorm er scenario's voor deze variabelen gemaakt kunnen worden.

Niet ieder gewenst onderdeel kan ook daadwerkelijk gerealiseerd worden. Klimaatonderzoek is een wetenschappelijk veld in beweging en het is onbekend hoe onze kennis zich de komende jaren zal ontwikkelen. Het KNMI zal moeten kiezen en de scenariogebruikers worden hierbij nadrukkelijk betrokken.

### Scenario's voor verdamping

Scenario's voor de werkelijke verdamping zijn niet gelijk aan de scenario's voor de referentie verdamping zoals gegeven in KNMI'06. Wanneer door gebrek aan neerslag een tekort aan bodemvocht ontstaat, kan de werkelijke verdamping sterk afnemen terwijl de referentie verdamping hoog blijft of zelfs stijgt. Veranderingen in de werkelijke verdamping hangen samen met veranderingen in de bodem, het landgebruik en de waterhuishouding. Ook de toename in de CO<sub>2</sub>-concentratie van de lucht speelt een rol, omdat de groei en verdamping van planten hierdoor wordt beïnvloed.

In samenwerking met de rws Waterdienst en PBL is onderzocht hoe de werkelijke verdamping mogelijk zal veranderen onder de KNMI'06 scenario's. Uit deze verkennende studie, uitgevoerd met een gedetailleerd hydrologisch modelinstrumentarium, blijkt dat de G/W scenario's in 2050 leiden tot een algehele toename van de werkelijke verdamping, geaccumuleerd over een jaar. In de G+/W+ scenario's, waarin de zomerneerslag afneemt, is nagenoeg alleen in het duingebied langs de Nederlandse kust sprake van een afname van de werkelijke verdamping door een gebrek aan bodemvocht (**figuur 18**). De verandering in de werkelijke verdamping boven de zandgronden van Oost-, Midden- en Zuid-Nederland die het meest gevoelig zijn voor droogte, is gering.



**figuur 18.** Verandering in de werkelijke verdamping (mm/jaar) behorende bij de KNMI'06 scenario's W (boven) en W+ (onder), uitgerekend met een gedetailleerd waterbalans model. Bron: rws Waterdienst/PBL.

# Colofon

## Redactie:

Albert Klein Tank en Geert Lenderink

## Bijdragen:

Alexander Bakker, Jules Beersma, Janette Bessembinder, Bram Bregman, Frits Brouwer, Adri Buishand, Rob van Dorland, Sybren Drijfhout, Aryan van Engelen, Arnout Feijt, Harry Geurts, Geert Groen, Rein Haarsma, Wilco Hazeleger, Bart van den Hurk, Rudmer Jilderda, Caroline Katsman, Arie Kattenberg, Twan van Noije, Geert Jan van Oldenborgh, Bernadet Overbeek, Mieke Reijmerink, Gerard van der Schrier, Andreas Sterl, Theo van Stijn, Peter van Velthoven, Ge Verver, Nander Wever (allen knmi) en verschillende externe reviewers van dit document.

## Aan deze brochure kan als volgt worden gerefereerd:

Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), 2009: Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de knmi'06 scenario's, knmi, De Bilt.

Voor meer informatie over klimaatscenario's voor Nederland kunt u terecht op de speciale website: [www.knmi.nl/klimaatscenarios](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios)

Voor vragen naar aanleiding van deze brochure kunt u contact opnemen met de klimaatdesk van het knmi: [klimaatdesk@knmi.nl](mailto:klimaatdesk@knmi.nl), telefoon 030 2206850

## Vormgeving en productie:

Jaap Kwakkel, Kim Pieneman en Bernadet Overbeek

## Druk:

Drukkerij Koninklijke Broese en Peereboom B.V., Breda

## Fotografie:

Kaft en pagina 3, *Mischa Keijser, Hollandse Hoogte*

Pagina 5, *Geert Lenderink, knmi*

Pagina 13, *Jaap Kwakkel, knmi*

Pagina 25, *Menno Boermans, Hollandse Hoogte*

Pagina 29, *Siebe Swart, Hollandse Hoogte*

Pagina 35, *Peter Hiltz, Hollandse Hoogte*

## Papier:

Kaft: 250 grams Silk, buitenzijde gelamineerd

Binnenwerk: 150 grams Silk

## Oplage:

5000 exemplaren

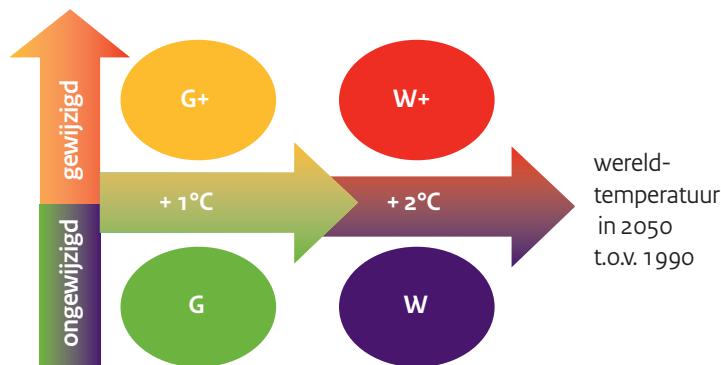


<b>G</b>	<b>Gematigd</b>	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
<b>G+</b>	<b>Gematigd +</b>	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
<b>W</b>	<b>Warm</b>	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa
<b>W+</b>	<b>Warm +</b>	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

		<b>G</b>	<b>G+</b>	<b>W</b>	<b>W+</b>
	Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
	Verandering in luchtstromingspatronen	nee	ja	nee	ja
<b>Januari</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+8%	+7%	+15%
<b>Februari</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,3°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
<b>Maart</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,4°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	+5%	+7%	+10%
<b>April</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,5°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	+1%	+6%	+3%
<b>Mei</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,3°C	+1,7°C	+2,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-3%	+6%	-5%
<b>Juni</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,7°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-7%	+6%	-13%
<b>Juli</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+5%	-20%
<b>Augustus</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-12%	+6%	-24%
<b>September</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
<b>Oktober</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,3°C	+1,8°C	+2,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-3%	+6%	-5%
<b>November</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,4°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+3%	+7%	+7%
<b>December</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,3°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+13%

**tabel 2.** Uitgebreide scenariotabellen voor de KNMI'06 scenario's. Weergegeven is de klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990. De waarden voor de winter en zomer zijn gelijk aan de waarden gepubliceerd in 2006. De waarden voor de lente en herfst en voor de afzonderlijke maanden zijn nieuw.

luchtstromings-  
patronen



		G	G+	W	W+
	Wereldwijde temperatuurstijging	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
	Verandering in luchtstromingspatronen	nee	ja	nee	ja
<b>Winter</b>					
	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
	warmste winterdag per jaar	+0,8°C	+0,9°C	+1,6°C	+1,7°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	0%	+1%	0%	+2%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
	hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar	0%	+2%	-1%	+4%
<b>Lente</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,6°C
	koudste lentedag per jaar	+1,0°C	+1,4°C	+2,0°C	+2,8°C
	warmste lentedag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,0°C	+2,9°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	+1%	+6%	+3%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-1%	-3%	-2%	-5%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+9%	+5%	+18%	+11%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+6%	+3%	+12%	+7%
<b>Zomer</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	koudste zomerdag per jaar	+0,9°C	+1,1°C	+1,7°C	+2,3°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%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+13%	+5%	+27%	+10%
	referentie verdamping	+3%	+8%	+7%	+15%
<b>Herfst</b>					
	gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,3°C	+1,8°C	+2,7°C
	koudste herfstdag per jaar	+1,0°C	+1,3°C	+2,0°C	+2,6°C
	warmste herfstdag per jaar	+1,0°C	+1,8°C	+2,0°C	+3,6°C
	gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-3%	+6%	-6%
	aantal natte dagen (≥ 0,1 mm)	-1%	-5%	-1%	-11%
	dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+9%	+6%	+18%	+12%
	10-daagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+6%	+3%	+12%	+5%
<b>Zeespiegel</b>					
	absolute stijging	15-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm