



Planbureau voor de Leefomgeving

EFFECTEN VAN KLIMAATVERANDERING IN NEDERLAND: 2012

BELEIDSSTUDIES

Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012

Planbureau voor de Leefomgeving

Met medewerking van:

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)

Deltares

Wageningen Universiteit (WUR)

Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht (UU)

International Centre for Integrative Studies, Universiteit van Maastricht (ICIS)

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)



Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012

© Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

Den Haag, 2012

ISBN: 978-94-91506-05-5

PBL-publicatienummer: 500193003

Coördinatie en eindredactie

Jelle van Minnen, Willem Ligtoet (PBL)

Contact

Jelle van Minnen (jelle.vanminnen@pbl.nl) en Willem

Ligtoet (willem.ligtoet@pbl.nl)

Supervisie

Guus de Hollander

Inhoudelijke bijdragen

Bevindingen: W. Ligtoet, J.G. van Minnen, L. van Bree, G. de Hollander (PBL)

Verdieping:

Hoofdstuk 1: samenstelling J.G. van Minnen en W. Ligtoet (PBL);

Hoofdstuk 2: samenstelling J.G. van Minnen en H. Visser (PBL), medewerking van: G. van der Schrier, J.

Bessembinder, G.J. van Oldenborgh, T. Prozny, R. Sluiter, R. Sluiter en A.M.G. Klein Tank (KNMI), J.P. van der Sluis en J.A. Wardekker (UU);

Hoofdstuk 3: samenstelling J. Knoop, W. Ligtoet en J.G. van Minnen (PBL); medewerking van: A. ter Linde, J.

Kwadijk en F. Klijn (Deltares) en C. Katsman (KNMI); review: A. ter Linde (Deltares), H. van Buiteveld (RWS) en J.A. Wardekker (UU);

Hoofdstuk 4: samenstelling: D.C. J. van der Hoek, J.G. van Minnen, M. Vonk en R. Wortelboer (PBL);

Hoofdstuk 5: samenstelling: G.J. van den Born en J.G. van Minnen (PBL); medewerking van & review: J. Verhagen (WUR);

Hoofdstuk 6: samenstelling: L. van Bree en J.G. van Minnen (PBL); medewerking van: M. Huynen (Universiteit Maastricht), M. Braks, C. Schets en A.M. de Roda Husman (RIVM) en J.A. Wardekker (UU); review: A.E.M. de Hollander (PBL) en M. Huynen (Universiteit Maastricht);

Hoofdstuk 7: samenstelling J.G. van Minnen (PBL); medewerking van: B. Amelung (WUR);

Hoofdstuk 8: samenstelling: W. Ligtoet, J.G. van Minnen en G. de Hollander (PBL); review: V.W.J. van den Bergen en R. Schoonman (Ministerie van IenM), H. van Buiteveld (RWS) en O.J. van Gerwen (PBL).

Fotoverantwoording

'Zware buien', blz. 28: Henri Cormont, I&M/RWS Beeldbank

'Heikikker' en 'Koninginnepagerups', blz. 67: Mark van Veen

'Wespenspin', blz. 68: Mark van Veen

'Eikenprocessierups', blz. 92: Han Bouwmeester/ Buitenbeeld/Hollandse Hoogte

'Rietplas', blz. 93: Beeldbank RIVM

'Strand', blz. 97: TypicalMedia.com

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Simone Langeweg, Tekst- en communicatieadvies (eindredactie); Uitgeverij PBL, Den Haag (productie)

Opmaak

Martin Middelburg, VijfKeerBlauw

Druk

VijfKeerBlauw

U kunt de publicatie downloaden via de website www.pbl.nl of opvragen via reports@pbl.nl onder vermelding van het PBL-publicatienummer of het ISBN-nummer en uw postadres. Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Planbureau voor de Leefomgeving (2012), *Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en altijd wetenschappelijk gefundeerd.

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Effecten van klimaatverandering in Nederland: 2012

Samenvatting

- Het klimaat verandert in Nederland: de gemiddelde temperatuur is over de afgelopen eeuw gestegen, de hoeveelheid en de intensiteit van de neerslag zijn toegenomen en zeer warme dagen komen vaker voor.
- Verschillende effecten van klimaatverandering zijn in Nederland al waarneembaar. Sommige effecten zijn positief, zoals een toename van de landbouwproductie en van het aantal gunstige recreatiedagen. Andere zijn negatief, zoals een toename van wateroverlast en een afname van de kwaliteit van het oppervlaktewater (watertemperatuur, algengroei) en van biodiversiteit. Een versnelde zeespiegelstijging en een toename van de piekafvoeren van de rivieren als gevolg van klimaatverandering zijn in Nederland vooralsnog niet waargenomen.
- Klimaatverandering en de effecten daarvan zullen naar verwachting de komende eeuwen doorzetten. Negatieve effecten van klimaatverandering hangen vooral samen met veranderingen in het optreden van extreme weersituaties (droogte, noodweer, hittegolven en dergelijke). Daarnaast is er mogelijk een grotere kans op het nieuw of opnieuw optreden van ziektes en plagen in de landbouw of de volksgezondheid. De veranderingen bieden Nederland ook kansen, onder andere voor de landbouw en de toerismesector.
- De effecten van klimaatveranderingen zijn in Nederland bij het huidige tempo van verandering in beginsel beheersbaar.
- Bovendien zijn er voor Nederland enkele fysieke factoren die een matigende invloed kunnen hebben op de toekomstige effecten van klimaatverandering. Zo kan waterbuffering in het bovenstroomse gebied ervoor zorgen dat minder extreme piekafvoeren van de Rijn Nederland bereiken.
- Aandacht voor de klimaatrisico's is inmiddels verankerd in het merendeel van de relevante beleidsdossiers. Wel verschilt die aandacht per dossier:
 - De klimaatrisico's en de onzekerheden die daarmee gepaard gaan op het gebied van waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en stedelijke ontwikkeling, zijn opgenomen in het Deltaprogramma. Dit programma biedt Nederland de kans om tijdig te anticiperen op de met water verbonden risico's.
 - Om ziektes en plagen binnen de volksgezondheid of de landbouw op te sporen bestaat er een infrastructuur van (wereldwijde) monitoring- en actieplannen. Bij de huidige intensieve mondiale en Europese transportbewegingen is zo'n infrastructuur van groot belang. Zowel mondiaal als op Europees niveau is er ook aandacht voor de gevolgen van verschuivende klimaatzones voor de verspreiding van infectieziektes.
 - Voor de effecten van de klimaatverandering op de natuur is er de laatste jaren op rijksniveau weinig beleidsaandacht geweest. De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en het Natura 2000-netwerk bieden goede bouwstenen om de Nederlandse natuur meer klimaatbestendig te maken. Dit vergt wel een aanpassing van de visie van het Rijk op de EHS, waarbij de focus wordt verlegd naar vergroten, verbinden en verbeteren van bepaalde waardevolle natuurgebieden (moeras, duin en kust, bos en heide), zodat soorten kunnen meebewegen naar gunstigere klimaatzones. Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen, want deze zijn statisch gedefinieerd.

Inleiding

In 2005 bracht het toenmalige Milieu- en Natuurplanbureau (sinds 2008 Planbureau voor de Leefomgeving, PBL) een studie uit waarin de op dat moment beschikbare kennis over klimaatverandering en de effecten daarvan voor Nederland werd samengevat. In deze studie constateerde het planbureau dat het klimaat veranderde en dat daarmee de nodige effecten gepaard gingen. De waarneembare effecten waren weliswaar beperkt van omvang, maar de verwachting was dat de ontwikkelingen in de toekomst sneller zouden verlopen. Inmiddels is meer kennis beschikbaar. Bovendien zijn verschillende beleidsregimes zich bewust geworden van het probleem van klimaatverandering en de ermee gepaard gaande, positieve en negatieve, effecten. Zo werden het interdepartementale Programma Adaptatie Ruimte voor Klimaat (2006-2010) en het Deltaprogramma (sinds 2010) gestart.

Met deze studie biedt het PBL – op verzoek van het ministerie van IenM (destijds VROM) – een actualisering van de studie uit 2005: hoe is het op dit moment gesteld met de klimaatverandering in Nederland, welke effecten daarvan zijn nu meer of minder waarneembaar, zijn er nieuwe inzichten in de kansen en risico's van klimaatverandering, en in hoeverre zijn deze toekomstige kansen en risico's in de verschillende beleidsdossiers verankerd? Behalve deze actualisering op nationale schaal verschijnen ook updates op klimaatverandering en de effecten daarvan op mondiale en Europese schaal, door respectievelijk de IPCC en de EEA.

Belangrijkste conclusies

Het beeld van eerdere rapportages wordt bevestigd: klimaatverandering zet door, ook in Nederland. Bij het huidige tempo zijn de veranderingen in beginsel beheersbaar

- Het klimaat in Nederland is de afgelopen honderd jaar in veel opzichten meetbaar veranderd (figuur 1). De gemiddelde temperatuur in Nederland steeg met 1,7°C en het aantal jaarlijkse zomerse dagen steeg met bijna 20, terwijl het aantal vorstdagen met ongeveer hetzelfde aantal afnam. De totale hoeveelheid jaarlijkse neerslag steeg met ruim 20 procent en ook de frequentie van hevige buien nam sterk toe. De gemeten temperatuurstijging in Nederland is circa tweemaal hoger dan die gemiddeld over de wereld en er is in Nederland in de afgelopen 20 jaar geen afzwakking van deze stijgende trend waarneembaar.
- Verschillende veranderingen die samenhangen met de klimaatverandering, zijn in Nederland zichtbaar (tabel 1). Positieve effecten zijn bijvoorbeeld de productieverhoging in de landbouw, gemiddeld minder

sterfte in de winterperiode en een toename van het aantal voor recreatie gunstige dagen. Voorbeelden van negatieve effecten zijn de toename van wateroverlast als gevolg van piekbuien, de toegenomen kans op allergieën bij daarvoor gevoelige mensen en de toegenomen kans op hittestress in het stedelijk gebied. Ook in de natuur zijn veranderingen zichtbaar, zoals verschuivingen in de verspreidingsgebieden en levenscycli van planten- en diersoorten. Verder kan klimaatverandering bestaande knelpunten voor de natuur versterken, zoals versnippering.

- Volgens de huidige inzichten zullen in Nederland zowel de klimaatverandering als de effecten daarvan verder doorzetten (figuur 1). Doordat het klimaatsysteem traag reageert en ook de doorwerking ervan op het milieu langzaam verloopt, gaan de veranderingen nog lang door; ook als de emissie van broeikasgassen op mondiale schaal zou afnemen. Deze veranderingen bieden ook kansen, onder andere voor de landbouw en de recreatie. Ongunstige effecten van klimaatverandering hangen vooral samen met veranderingen in het optreden van extreme weersituaties (droogte, hoge en lage rivierafvoeren, piekbuien, ongebruikelijke koude periodes en hitte). Daarnaast neemt de kans op het nieuw of opnieuw optreden van ziektes en plagen in de landbouw of de volksgezondheid mogelijk toe.
- Bij het huidige tempo van klimaatverandering zijn de effecten in beginsel beheersbaar. De effecten van een verdere klimaatverandering zullen in Nederland naar verwachting beperkter zijn dan in veel andere regio's binnen en buiten Europa. Tevens is de beheersbaarheid een gevolg van de huidige beleidsaandacht die er nu veelal is voor klimaatverandering, al verschilt die aandacht per beleidsveld.

Maximale en minimale rivierafvoeren worden ook bepaald door het buitenland

- In Nederland is een toename waargenomen van de gemiddelde waterafvoer door de grote rivieren in de winter; in de zomer is er juist sprake van een afname. De extreem hoge en lage waterafvoeren bepalen de risico's voor Nederland. De piekafvoeren kunnen overstromingen veroorzaken en de extreem lage afvoeren waterschaarste. Over de afgelopen honderd jaar is in Nederland voor dergelijke extremen geen trend zichtbaar, noch in de piekafvoeren noch in de minimale rivierafvoeren.
- Bij hoge afvoeren wordt de hoeveelheid water die ons land via de rivieren bereikt, in belangrijke mate bepaald door het waterveiligheidsbeleid in het bovenstroomse gebied. Handhaaft Duitsland bijvoorbeeld het huidige waterbeheer en neemt het geen extra maatregelen bovenop het huidige verbeteringsprogramma (de dijksituatie 2020), dan zal de maximale waterafvoer die via de Rijn ons land binnenkomt, blijvend worden

Tabel 1

Overzicht van waargenomen en mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering in Nederland

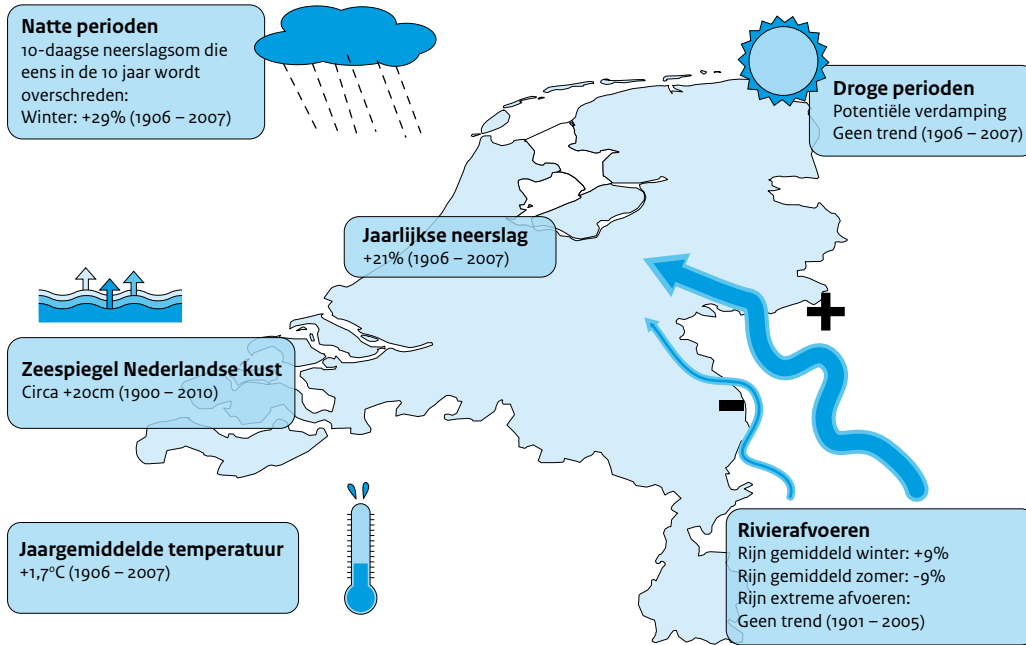
Sector		Waargenomen	Mogelijke toekomst, volgens KNMI-scenario's
Waterhuis-houding	Zeespiegel Nederlandse kust	Zeespiegelstijging 20 cm over afgelopen eeuw; geen versnelling t.o.v. 1900	Zeespiegelstijging conform huidig tempo +35 tot 85 cm (rond 2100) bij effect klimaatverandering > 100 cm in extreme klimaatscenario's
	Jaargemiddelde rivierafvoeren (Rijn)	Geen toename	-12 tot +12% (rond 2100 t.o.v. 1990)
	Seizoensafvoeren (Rijn)	Toename winter, afname zomer	Zomer -41% tot +1% (rond 2100 t.o.v. 1990) Winter +12% tot +27%
	Extreem hoge & lage rivierafvoeren (Rijn)	Geen trend	Toename piekafvoer Wel afhankelijk van waterbeheer bovenstrooms
	Wateroverlast	Lichte toename	Sterke toename, vooral in lage delen van Nederland en rivierengebied
	Watertemperaturen	Veel oppervlaktewater +3°C. Ongeveer 1/3 door gestegen luchttemperatuur	Verdere toename met mogelijke gevolgen voor zuurstofgehalte en algenbloei, en daarmee voor de waterkwaliteit
	Verzilting	Toenemende verzilting	Verdere verzilting, vooral in Zuidwest- en Noord-Nederland
	Droogte in zomer	Geen trend	Sterke toename in scenario's met veranderende luchtcirculatie, weinig toename in andere scenario's
Natuur	Soortensamenstelling	Koudeminnende soorten in aantal achteruitgegaan in Nederland	Verdere afname & mogelijk verdwijnen van soorten in Nederland
		Warmteminnende soorten in aantal toegenomen	Verdere toename
		Toename in nieuwe soorten. Gevolgen onbekend	Verdere toename van nieuwe soorten; effecten op functioneren ecosystemen niet bekend
	Migratiepatronen	Toename aantal Nederlandse trekvogels dat in Nederland overwintert	Onbekend
	Groeiseizoen	Twee tot drie weken eerder t.o.v. 1950	Verlenging met nog 1 tot 1,5 maand tot 2050 (t.o.v. 2000). Mogelijk verdere mismatches in voedselketen doordat soorten verschillende reageren.
	Verandering standplaatscondities	Vooral watergerelateerde veranderingen	Gelijkblijvende of verslechterende condities. Toename dynamiek/extremen
	Natuurbranden	Geen trend	Verhoogd risico door meer droge periodes
Landbouw en veeteelt	Groeiseizoen	5 weken langer dan begin 20 ^{ste} eeuw	Verdere verlenging; kansen voor nieuwe gewassen
	CO ₂ -concentratie	Lichte toename in potentiële opbrengsten	Verdere toename in potentiële opbrengsten bij stijgende concentraties
	Wateroverlast	Lichte toename	Frequentere schade
	Droogte	Geen trend	Frequentere schade
	Verzilting	Frequentere schade. De landbouw kan hiermee nog omgaan en zich deels aanpassen	Doorgaande ontwikkeling. Vooral in droge jaren een uitdaging
	Ziektes/plagen	Geen trend, relaties nog onzeker	Mogelijk verdere toename in frequentie, vooral door hogere luchtvochtigheid en hogere temperaturen; nog veel onzekerheid

Sector		Waargenomen	Mogelijke toekomst, volgens KNMI-scenario's
Menselijke gezondheid	Hittestress en zomersmog	Toename vervroegde sterfte door meer warme en tropische dagen (vergeleken met normale zomers). Effect matig (met juiste adaptatie) t.o.v. andere stressfactoren en waarschijnlijk ook kleiner dan afname wintersterfte	Verdere toename door meer frequente hittegolven, ook in combinatie met meer frequente zomersmog. In beginsel beheersbaar door gedrag, gezondheidszorg en aanpassingen in stedelijke (her)inrichting
	Wintersterfte	Minder ziekte en een afname van sterfte in winter	Verdere daling
	Allergieën en hooikoorts (pollen, eikenprocessierups)	Aantal 'allergiedagen' toegenomen met ruim 20 dagen; eikenprocessierups al in grote delen van Nederland aanwezig	Verdere stijging van het aantal 'allergiedagen', door verlenging van het groei- en bloeiseizoen, en het mogelijk vóórkomen van nieuwe allergene soorten; in 2020 eikenprocessierups in heel Nederland.
	Vectorgebonden infectieziektes	Klimaatverandering leidt tot veranderingen in de verspreiding, dichtheid en activiteit van insecten en teken (mogelijke vectororganismen voor infectieziektes). De uiteindelijke invloed van klimaat op transmissie van ziekteverwekkers is complex en vooralsnog onbekend. In Nederland komen wel meer teken voor, en neemt de besmetting met de Lyme-bacterie toe; overigens spelen daarbij ook andere factoren een rol (recreatiegedrag).	Grote onzekerheid m.b.t. vectortransmissie van pathogenen (virussen, bacteriën) en mogelijke hiermee verbonden uitbraken van infectieziektes.
	Wateroverdraagbare infectieziektes	De klimaatinvloed is divers. Sommige wateroverdraagbare ziekteverwekkers (bacteriën, amoeben, algen) zijn klimaatgevoelig en verhoging van temperatuur, vochtigheid, UV straling, neerslag en waterbeschikbaarheid leidt direct tot vergroting van de hiermee verbonden ziektelast door infecties. Het vóórkomen van andere ziekteverwekkers zoals intestinale bacteriën, virussen en parasieten kan onder invloed van klimaatverandering juist afnemen.	Projecties over de verdere invloed van klimaatfactoren op ontwikkeling en transmissie van wateroverdraagbare ziekteverwekkers zijn onzeker. Zonder adaptatiemaatregelen zijn zowel positieve als negatieve effecten mogelijk, afhankelijk van het type ziekteverwekker.
	Voedseloverdraagbare infectieziektes	Er is een direct causaal verband tussen klimaatverandering, vooral hogere temperatuur, en de toename van voedselgebonden infecties. Door de relatief goede voedselhygiëne is dit effect in Nederland beperkt	Beperkte verdere toename van voedselgerelateerde infecties mogelijk.
Recreatie en toerisme	Recreatiedagen	Verdubbeling van de kans op een periode van 5 opeenvolgende goede dagen met geschikte omstandigheden voor recreatie (tussen 1950 en 2001)	Verdere vergroting van de kans op aantrekkelijke recreatiedagen

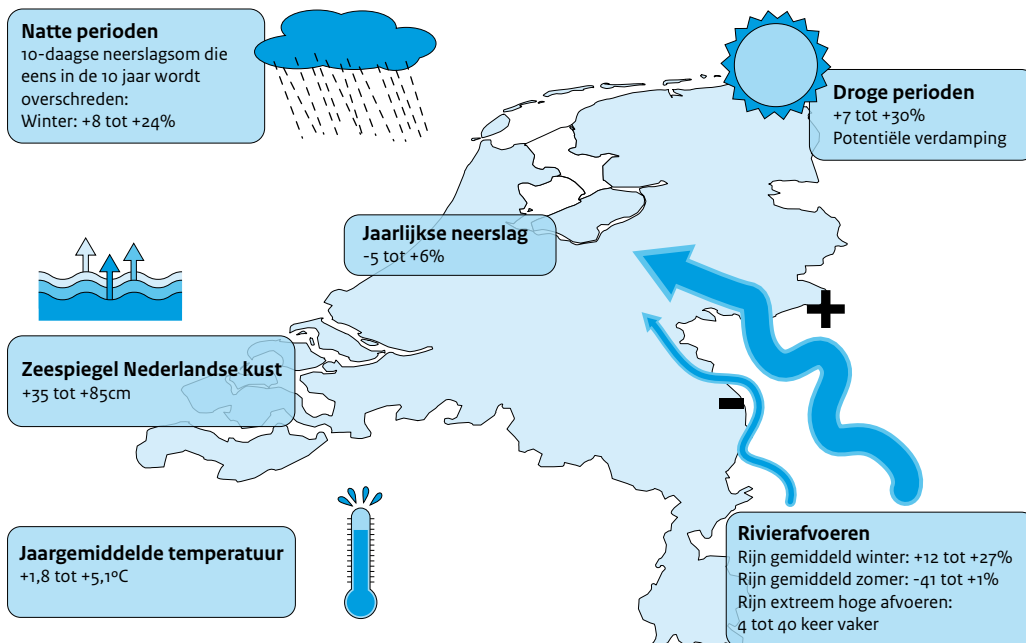
Figuur 1

Waargenomen en mogelijk toekomstige klimaatverandering

Waargenomen klimaatveranderingen, 1900 – 2010



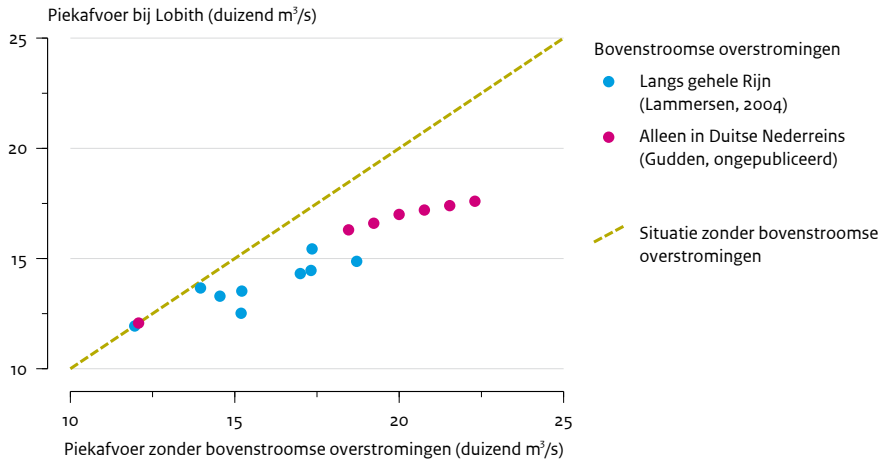
Mogelijke klimaatveranderingen 1990 – 2100, volgens KNMI'06-scenario's



Bron: KNMI (2006, 2009a); Kwadijk et al. (2008)

Figuur 2

Effecten van bovenstroomse overstromingen in Duitsland op piekafvoeren bij Lobith



Bron: Vellinga et al (2008)

Zou het veiligheidsniveau in Duitsland gehandhaafd blijven, dan nemen de piekafvoeren die Nederland kunnen bereiken vrijwel niet toe; ook niet als de klimaatverandering zou leiden tot hogere piekafvoeren in het bovenstroomse gebied.

gedempt; ook als de klimaatverandering zou leiden tot hogere piekafvoeren in het bovenstroomse gebied (figuur 2). Mogelijk kan het water Nederland dan wel buiten de rivieren om bereiken, bijvoorbeeld als een overstroming vlak bij de Duits-Nederlandse grens plaats vindt. Zou Duitsland het veiligheidsniveau verhogen, waardoor daar minder ruimte komt voor overstromingen, dan kunnen hogere waterafvoeren ons land wél bereiken.

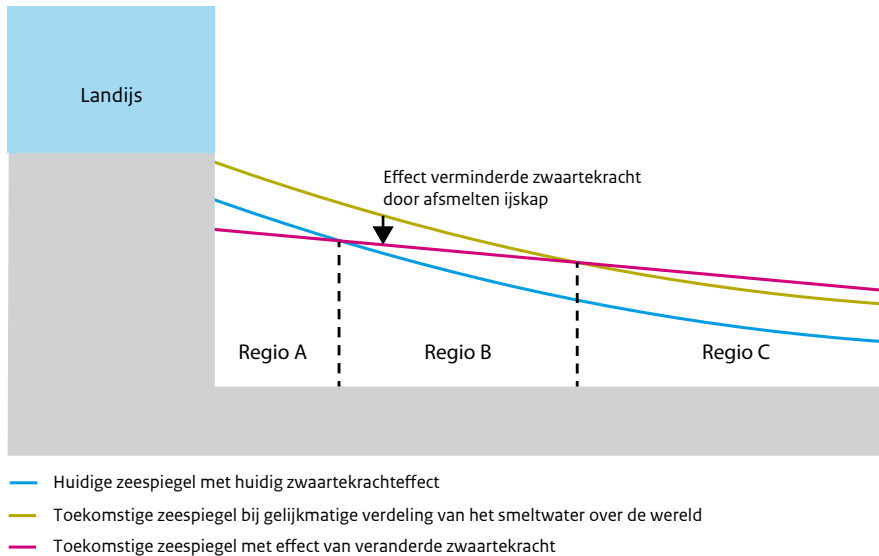
- Ook omstandigheden die niet extreem zijn, kunnen tot dreigende situaties leiden. Zo veroorzaakte de combinatie van storm en een forse rivierafvoer in januari 2012 een overstromingsrisico voor de Drechtsteden. De situatie was dermate bedreigend dat de waterafvoer van de Rijn moest worden omgeleid via het Volkerak. Als de klimaatverandering vaker tot hogere rivierafvoeren leidt, neemt de kans op dergelijke situaties toe.
- Voor de zoetwatervoorziening van Nederland in de zomer is de Rijn verreweg de belangrijkste rivier. Uiteindelijk is de hoeveelheid water die Nederland ten tijde van droogte binnenstroomt, mede afhankelijk van het watergebruik in het bovenstroomse gebied. Voor het stroomgebied van de Maas heeft Nederland met België het Maasafvoercontract getekend; daarin zijn afspraken gemaakt over de verdeling van het Maaswater bij lage afvoeren.
- Voor de Rijn bestaan geen harde internationale afspraken over de waterverdeling ten tijde van droogte. Zou klimaatverandering leiden tot een substantieel geringere waterafvoer via de Rijn, dan kan

een toename van het watergebruik bovenstrooms de beschikbaarheid van zoet water voor Nederland verder doen afnemen. Nog onduidelijk is om hoeveel water het hier gaat.

Toekomstige zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust wordt waarschijnlijk afgeremd door veranderende zwaartekracht bij afsmeltend landijs

- De afgelopen honderd jaar is de zeespiegel voor de Nederlandse kust met circa 20 centimeter gestegen. Hoewel op mondiale schaal een versnelling van de zeespiegelstijging is waargenomen, geldt dit niet voor Nederland. Dit komt doordat op lokale schaal natuurlijke variaties een grote rol spelen, die op mondiale schaal uitgemiddeld worden. De precieze omvang van de bijdrage van klimaatverandering aan de zeespiegelstijging is nog onzeker; daarbij spelen ook andere, natuurlijke factoren, zoals variaties in opzet door de wind en de geologische processen langs de Nederlandse kust.
- De waargenomen zeespiegelstijging in Nederland zit vooralsnog aan de onderkant van de verschillende schattingen voor deze eeuw. De schattingen van de toekomstige zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust als gevolg van de klimaatverandering omvatten een grote bandbreedte. De KNMI'06-scenario's geven voor 2100 een bandbreedte van 35-85 centimeter; de Deltacommissie (2008) heeft rekening gehouden met een zeespiegelstijging tot 1,20 meter in 2100 (tot 1,30 meter inclusief bodemdaling), als 'meest ongunstige scenario'.

Figuur 3
Zwaartekrachteffect op regionale zeespiegelstijging



Bron: Katsman et al. (2008), KNMI (2009b)

Ten opzichte van Groenland ligt Nederland in regio B, ten opzichte van Antarctica in regio C. In regio B stijgt de zeespiegel minder dan gemiddeld doordat het afsmelten van het landijs de zwaartekracht doet afnemen en het zeeniveau laat kantelen. Wanneer beide ijskappen evenveel afsmelten, zal Nederland netto te maken krijgen met een minder sterke zeespiegelstijging dan mondiaal gemiddeld.

- De zeespiegel stijgt door een aantal factoren, waaronder het afsmelten van landijs. De mogelijke toekomstige zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust wordt – vooral na 2100 – ook bepaald door veranderingen in het zwaartekrachtveld, veroorzaakt door het afsmelten van landijs. Dit is een fysisch proces dat meteen doorwerkt op de zeespiegel. Wanneer (een deel van) het landijs op Groenland, Antarctica en andere ijskappen smelt, neemt de aantrekkingskracht van die ijskappen voor het zeewater af. Het smeltwater leidt tot een toename van het gemiddelde zeeniveau in de wereld, de afnemende aantrekkingskracht van de ijskappen leidt tot een kanteling van het zeeniveau (figuur 3). Door het slinken van de ijskap op Groenland zal de zeespiegel ook stijgen voor de Nederlandse kust, maar deze stijging kan door dit zwaartekrachteffect beperkt blijven tot ongeveer 20 procent (dus -80 procent) van de mondiaal gemiddelde zeespiegelstijging (figuur 3, regio B). Ook voor de bijdrage van gletsjers en kleine ijskappen aan zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is de verwachting dat de stijging lager is (ongeveer -20 procent) dan de wereldgemiddelde stijging (regio B). Door het afsmelten van de ijskap op Antarctica wordt de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust juist wat hoger (+10 procent) dan het mondiale gemiddelde (regio C). Uitgaande van de huidige kennis en scenario's zal het afsmelten van ijskappen resulteren in een

zeespiegel-stijging die langs de Nederlandse kust netto kleiner is dan het mondiale gemiddelde. In een extreem scenario zal de mogelijke zeespiegelstijging rond 2200 daardoor niet op 2 tot 4 meter uitkomen, maar 40 tot 60 cm lager (Katsman et al. 2011).

- Tot 2100 is dit effect voor de zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust nog gering (het dempend effect voor de KNMI'06-scenario's is maximaal 5 centimeter, voor een meer extreem scenario 15 cm (Katsman et al. 2011)). Dit komt omdat de bijdrage van de afsmeltende ijskappen aan de mondiale zeespiegelstijging tot die tijd beperkt is (ten opzichte van andere factoren die de zeespiegelstijging bepalen).

Klimaatrisico's zijn veelal in beleid verankerd, behalve voor natuur

- De afgelopen jaren is op veel beleidsterreinen aandacht gekomen voor de mogelijke risico's van klimaatverandering (tabel 2). Het interbestuurlijke Programma Adaptatie Ruimte voor Klimaat (ARK), dat het ministerie van VROM van 2006 tot 2010 coördineerde, heeft daarbij veel in gang gezet. Met de start van het Deltaprogramma in 2010 heeft het Rijk nieuwe prioriteiten gesteld op het terrein van klimaatrisico's en klimaatadaptatie.

Tabel 2

Overzicht beleidsaandacht klimaatverandering in de beschouwde sectoren

Sector		Verantwoordelijk	Belegd in
Waterveiligheid	– binnendijks	Ministerie IenM Provincies Waterschappen	Deltaprogramma (2010-2014) Europese Richtlijn Overstromingsrisico's
	– buitendijks	Gemeenten	Deelname aan Deltaprogramma (2010-2014)
Watervoorziening/hoofdwateren		Ministerie IenM	Deltaprogramma (2010-2014) Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Waterbeschikbaarheid regio		Provincie/Waterschap	Deelname aan Deltaprogramma (2010-2014) Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Wateroverlast stedelijk gebied		Gemeenten	Nationaal Bestuursakkoord Water Deelname aan Deltaprogramma (2010-2014)
Wateroverlast landelijk gebied		Provincie/Waterschap	Nationaal Bestuursakkoord Water
Waterkwaliteit		Min IenM Provincies Waterschappen	Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Natuur		Min EL&I/Provincies	EU Natura-2000: status natuurdoelen Gericht uitvoeringsplan NL ontbreekt Provincies: relatie met klimaatbuffers
Natuurbranden		Ministerie van Veiligheid en Justitie	Project Interbestuurlijke Samenwerking Natuurbranden
Landbouw	– water- beschikbaarheid	Provincie/Waterschap	Deelname aan Deltaprogramma
	– ziekten/plagen	Ministerie EL&I	Surveillance (Plantenziektkundige Dienst)
Gezondheid	– hitte	Ministerie VWS	-Nationaal hitteplan -Hittestressplannen GGD's Deltaprogramma Nieuwbouw en herstructurering
	– infectieziekten	Ministerie IenM Ministerie VWS	RIVM: monitoring optreden infectieziekten + advisering bestrijdingsacties; internationale afstemming via EU (ECDC) en WHO (GOARN)
		Internationaal	WHO: Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN) EU/WHO: Ministers Conferences on Environment and Health WHO: Protecting health from climate change EU: European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) EU (2009) White paper on 'Human, Animal and Plant Health Impacts of Climate Change' DG Climate mainstreaming climate adaptation and health
Toerisme & recreatie		Provincies en gemeenten	-
Klimaatadaptatie internationaal		Ministerie IenM	EU-Witboek Klimaatadaptatie (2009) EU-Strategie Klimaatadaptatie (2013) EU/WHO Parma Commitment National Page on European Climate Adaptation Platform VN-Klimaatverdrag Groen Klimaatfonds

¹ PBL (2011)

- De klimaatrisico's hangen vooral samen met veranderingen in het optreden van extreme weersituaties en met de mogelijke toename van de kans op nieuwe, of opnieuw optredende, ziektes en plagen in de landbouw en de volksgezondheid. Er bestaat al beleidsaandacht voor het beheersen van sommige klimaatrisico's. Aanvullende beleidsaandacht is nodig om deze meer volledig en integraal mee te nemen.
- De klimaatgerelateerde risico's rond overstromingen vanuit zee en/of de rivieren zijn voor Nederland van groot belang. De mogelijke, maar nog onzekere, effecten van klimaatverandering zijn belegd in het Deltaprogramma. Op basis van sociaaleconomische scenario's voor de lange termijn en klimaatscenario's worden in dit programma de risico's en opgaven voor overstromingen en waterbeschikbaarheid bij droogte nader onderzocht. Dit moet in 2014 uitmonden in een voorstel voor een aantal strategische besluiten (de zogeheten Deltabeslissingen). Ook de relatie met het stedelijk gebied (nieuwbouw en herstructurering) krijgt in het Deltaprogramma aandacht; daarbij gaat het naast wateroverlast ook om droogte en hitte. In de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte zijn ruimte voor veiligheid, een duurzame zoetwatervoorziening en kaders voor stedelijke (her)ontwikkeling bestempeld als nationale belangen; deze belangen zijn belegd in het Deltaprogramma.
- Om mogelijke nieuwe ziektes en plagen binnen de volksgezondheid of de landbouw zo snel mogelijk op het spoor te komen, bestaat er op Europese en mondiale schaal een infrastructuur van monitoringsystemen. Bij de huidige intensieve mondiale en Europese transportbewegingen is deze infrastructuur toenemend van groot belang. Zo coördineert de WHO (World Health Organisation) via het Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN) de snelle identificatie en vaststelling van mogelijke epidemieën op mondiale schaal, evenals de bestrijdingsacties. Op Europees niveau coördineert het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) de monitoring van en acties tegen infectieziektes. Hierbij krijgt dit centrum steun van de Europese Commissie, die met voorstellen voor een Europees monitoringsysteem is gekomen. Het ECDC is een strategische partner van de WHO en werkt binnen de EU samen met de nationale gezondheidsinstellingen van de lidstaten. In Nederland is er voortdurende alertheid op en monitoring van overdraagbare infectieziektes bij het RIVM, WUR en de GGD's. Omdat ook het weer en de klimaatverandering van invloed kunnen zijn op de verspreiding van infectieziektes (veel kennis hierover ontbreekt echter nog), is er een groeiende aandacht voor de mogelijke effecten van klimaatverandering op de verspreiding van ziekten en eventuele consequenties voor een monitorings-systeem. De aandacht voor een dergelijk monitoring-systeem is een voorgenomen onderdeel van de Europese Adaptatiestrategie die in maart 2013 zal verschijnen.
- Na de extreme hittegolven van 2003 zijn in Nederland actieplannen gemaakt om kwetsbare groepen in de bevolking te beschermen. Steeds meer gemeenten besteden aandacht aan klimaatverandering bij herstructurering of uitbreiding van het stedelijk gebied.
- Een hogere luchttemperatuur leidt tot een hogere watertemperatuur en tot grotere risico's op (blauw) algenbloei. Binnen de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is op EU-niveau de opgave neergelegd om de mogelijke negatieve effecten van klimaatverandering te integreren in de implementatietrajecten van de KRW op lidstaatniveau. In de bestaande Stroomgebiedbeheerplannen voor de KRW (2009) is een apart hoofdstuk gewijd aan de klimaatverandering en de verwachte effecten daarvan op de waterkwaliteit en de ecologie van watersystemen. Op basis van de beschikbare kennis wordt geconstateerd dat, als de effecten van klimaatverandering worden meegenomen in de autonome ontwikkeling, het gat tussen de gewenste en de te verwachten ecologische toestand in 2027 zal toenemen. Het is de bedoeling in de komende beheerplannen voor de stroomgebieden (2015) de gevolgen van klimaatverandering nadrukkelijker te verankeren in de beleidsuitvoering.
- Voor de mogelijke effecten van klimaatverandering op de natuur bestaat de laatste jaren weinig beleidsaandacht in Nederland. De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en, op Europese schaal, het Natura 2000-netwerk bieden goede bouwstenen om de natuur meer klimaatbestendig te maken. Bij optrekkende klimaatzones kan een aangepaste EHS met goede verbindingszones en met optimale standplaatscondities soorten helpen te migreren naar gunstiger gebieden en klimaatzones. Dit vergt wel om een aanpassing van de visie van het Rijk op de EHS, waarbij de voorkeur wordt verlegd naar het vergroten, verbinden en versterken van bepaalde waardevolle gebieden. Bij deze gebieden gaat het om bolwerken van natuur die ook verbonden zijn met gebieden elders (zogeheten klimaatcorridors moeras en duin & kust) én van gebieden binnen samenhangende clusters (heide, bos). De klimaatbestendigheid van de gebieden kan verder worden vergroot door aan te sluiten bij het Europese Natura 2000-netwerk in de landen om ons heen. Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen. Doordat de huidige natuurdoelen statisch zijn gedefinieerd, zal de haalbaarheid van deze doelen met een verdergaande klimaatverandering namelijk afnemen, evenals de kans dat Nederland aan zijn internationale verplichtingen zal kunnen voldoen.

- Door de geografische positie van Nederland zijn aan klimaatverandering ook kansen verbonden
 - Kansen liggen er in het bijzonder voor bepaalde sectoren als de landbouw en de recreatie. Het zijn deze sectoren zelf die de kansen de komende decennia zullen moeten benutten. Hiervoor kan het opbouwen van kennis over de gevolgen van klimaatverandering van nut zijn om de sectoren meer klimaatbestendig te maken.
 - Op lokale en regionale schaal zijn er veel kansen om de klimaatbestendigheid kosteneffectief te verbeteren en tegelijkertijd de leefomgevingskwaliteit te verhogen. Denk aan ingrepen in zowel het stedelijk (nieuwbouw, herstructurering) als het landelijk gebied (gebiedsontwikkeling). Dit vraagt om vroegtijdige aandacht in het plannings- en ontwerpproces en om vernieuwing en meer flexibiliteit in de financieringsmechanismen (PBL 2011).

VERDIEPING

VERDIEPING

Inleiding

1.1 Aanleiding

Over de hele wereld is het klimaat aan het veranderen. Dit heeft tal van mogelijke gevolgen voor de mens en zijn omgeving: soms negatief, soms positief. Effecten treden op door geleidelijke trendmatige veranderingen, en door veranderingen in weers- en klimaatextremen zoals droogte, hevige neerslag en hittegolven. In een recent rapport geeft het IPCC speciale aandacht aan deze extremen en de mogelijke gevolgen daarvan voor de verschillende regio's in de wereld (IPCC 2012). Ook op Europees niveau wordt gekeken hoe het klimaat verandert, wat de gevolgen daarvan kunnen zijn en hoe wij ons aan die gevolgen kunnen aanpassen (EEA 2008, 2010; Ciscara et al. 2010). De bevindingen van deze studies, evenals de analyses van hoe Europese landen op deze effecten zouden kunnen inspelen (adaptatie), zijn opgenomen in de website van de Europese Commissie 'Climate-Adapt Platform', die 23 maart 2012 online is gegaan.

Ook in Nederland is klimaatverandering waarneembaar, met allerlei veranderingen voor maatschappij en omgeving tot gevolg. Ook hier zijn de veranderingen soms gunstig (zoals een toename van de landbouwproductie, een toename van het aantal gunstige recreatiedagen, een afname van het energieverbruik in de winter) en soms ongunstig (denk aan wateroverlast, verminderde waterbeschikbaarheid, en een afname van de waterkwaliteit en van de natuur).

1.2 Actualisering: effecten van klimaatverandering in Nederland en beleidsaandacht

In 2005 heeft het toenmalige Milieu- en Natuurplanbureau (sinds 2008 Planbureau voor de Leefomgeving, PBL) een rapport uitgegeven waarin de op dat moment beschikbare kennis werd samengevat over klimaatverandering en de effecten daarvan voor Nederland (zie MNP 2005). In deze studie constateerde het PBL dat het klimaat in Nederland veranderde en dat daarmee ook effecten gepaard gingen. De waarneembare effecten waren weliswaar beperkt van omvang, maar de verwachting was dat de ontwikkelingen in de toekomst sneller zouden verlopen. Inmiddels is meer kennis beschikbaar. Bovendien zijn verschillende beleidsvelden zich bewust geworden van de klimaatverandering en de zowel positieve als negatieve effecten ervan. Zo werden het interdepartementale Programma Adaptatie Ruimte voor Klimaat (2006-2010) en het Deltaprogramma (sinds 2010) gestart.

Met de nu voorliggende studie biedt het PBL – op verzoek van het ministerie van I&M (destijds VROM) en opgesteld in nauwe samenwerking met verschillende kennisinstellingen in Nederland – een actualisering van de eerdere PBL-studie: wat weten wij nu meer dan in 2005 over klimaatverandering in Nederland, welke effecten – zowel positief als negatief – daarvan zijn waarneembaar, zijn er nieuwe inzichten in de

toekomstige kansen en risico's van klimaatverandering? Speciale aandacht schenken we aan relevante onzekerheden rond de klimaatverandering en de effecten daarvan als ook aan de mate waarin de kansen en risico's verankerd zijn in de verschillende beleidsdossiers. Het is van belang om dergelijke onzekerheden te beschrijven, omdat het type onzekerheid vaak mede bepaalt hoe sectoren zich zouden kunnen aanpassen. Deze actualisering valt samen met de actualisering van de klimaatverandering en effecten daarvan op mondiale schaal (IPCC) en Europese schaal (EEA).

1.3 Methode

Wanneer we kijken naar de mogelijke toekomstige klimaatveranderingen en de effecten daarvan, gaat het nadrukkelijk niet om voorspellingen. De toekomstige klimaatveranderingen en de effecten daarvan zoals we die in deze studie beschrijven, zijn gebaseerd op scenario's: een set van samenhangende veronderstellingen over toekomstige ontwikkelingen voor factoren die van belang zijn bij de berekeningen. De scenario's beschrijven mogelijke ontwikkelingen zonder dat ze aangeven hoe waarschijnlijk die ontwikkelingen zijn.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport bieden we een actualisering van de kennis over de waargenomen en de verwachte klimaatverandering in Nederland en de onzekerheden daarover: wat weten we nu meer dan ten tijde van de MNP-publicatie uit 2005? Daarbij geven we speciale aandacht aan klimaat- en weersextremen, omdat deze veel van de risico's bepalen. In vogelvlucht wordt de ontwikkeling geschetst van het mondiale klimaat over een zeer lange periode en over de laatste decennia. Daarna zoomen we in op Nederland. Bij de scenarioprojecties voor de komende decennia onderscheiden we projecties gebaseerd op de KNMI'o6-scenario's en andere, meer extreme, *worst case*-projecties. De KNMI'o6-scenario's beschrijven de bandbreedte van de meest waarschijnlijke uitkomsten. Met de andere (*worst case*-)scenario's – zoals die van de Deltacommissie – willen we vooral de onder- en bovengrenzen van de mogelijke veranderingen verkennen, omdat die grenzen vaak grote effecten hebben (denk aan piekafvoeren van rivieren). Verder geven we informatie over veranderingen op nationaal niveau, voor Nederland als geheel, en – indien beschikbaar – voor veranderingen binnen Nederland, op regionaal niveau.

In dit rapport beschrijft het PBL nieuwste inzichten in de effecten van klimaatverandering in Nederland, voor een groot aantal sectoren. Deze effecten, zowel positief als negatief, komen aan bod in de hoofdstukken 3 tot en met 7. In alle hoofdstukken besteden we zowel aandacht aan de waargenomen veranderingen als aan de mogelijk toekomstige veranderingen die volgen uit de KNMI'o6- en eventueel andere, meer extreme, scenario's. Ook geven we per hoofdstuk aan wat de belangrijkste onzekerheden zijn.

In hoofdstuk 3 staan de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening centraal, een thema dat relevant is voor met name laag-Nederland en het riviereengebied. Ook de risico's op wateroverlast, droogte en waterkwaliteit komen in dit hoofdstuk aan bod; dit thema is relevant voor geheel Nederland.

Hoofdstuk 4 gaat over de waargenomen en mogelijke effecten voor de natuur in Nederland. Het gaat hier onder meer om de effecten van het verschuiven van klimaat-zones en seizoenspatronen op de verspreiding en levenscycli van planten en dieren.

In hoofdstuk 5 komen de effecten van klimaatverandering op de landbouw in beeld. Deze kunnen negatief zijn (denk aan waterbeschikbaarheid, weersextremen, ziekten en plagen), maar ook positief (zoals een verlengd groeiseizoen, gunstiger productieomstandigheden).

Hoofdstuk 6 staat in teken van de effecten van klimaatverandering op de menselijke gezondheid, zoals hitte, allergieën, infectieziektes.

De effecten voor toerisme en recreatie staan vervolgens centraal in hoofdstuk 7.

Tot slot gaan we in hoofdstuk 8 in op in hoeverre de kansen en risico's van klimaatverandering in de verschillende beleidsdossiers zijn verankerd.

Noot

- 1 [Climate-adapt.eea.europa.eu](https://climate-adapt.eea.europa.eu).

Hoe verandert het klimaat in Nederland?

Waargenomen veranderingen

- Het klimaat verandert, wereldwijd en in Nederland.
- De temperatuurstijging over de laatste honderd jaar was zo'n 0,8°C wereldwijd, en zo'n 1,7°C in Nederland. Sinds 1950 steeg de temperatuur in Nederland twee keer zo snel als de wereldgemiddelde temperatuur. Bovendien zet de temperatuurstijging in Nederland onverminderd door.
- Het aantal warme extremen in Nederland vertoont een stijgende trend. Daarentegen geldt voor de koude extremen een dalende trend. Ten opzichte van 1950 is de gemiddelde frequentie van zomerse dagen toegenomen met negentien; die voor vorstdagen is juist met zeventien dagen gedaald. Hierdoor is er minder behoefte aan huisverwarming. Ook is een kleinere kans op bijvoorbeeld een Elfstedentocht.
- De waargenomen jaarlijkse neerslaghoeveelheid in Nederland is in de afgelopen eeuw toegenomen met ruim 20 procent, vooral in het winterhalfjaar en in West-Nederland.
- Ook de hevigheid van zware buien is in de laatste eeuw toegenomen, eveneens vooral in de winter en in West-Nederland.

Mogelijke toekomstige veranderingen

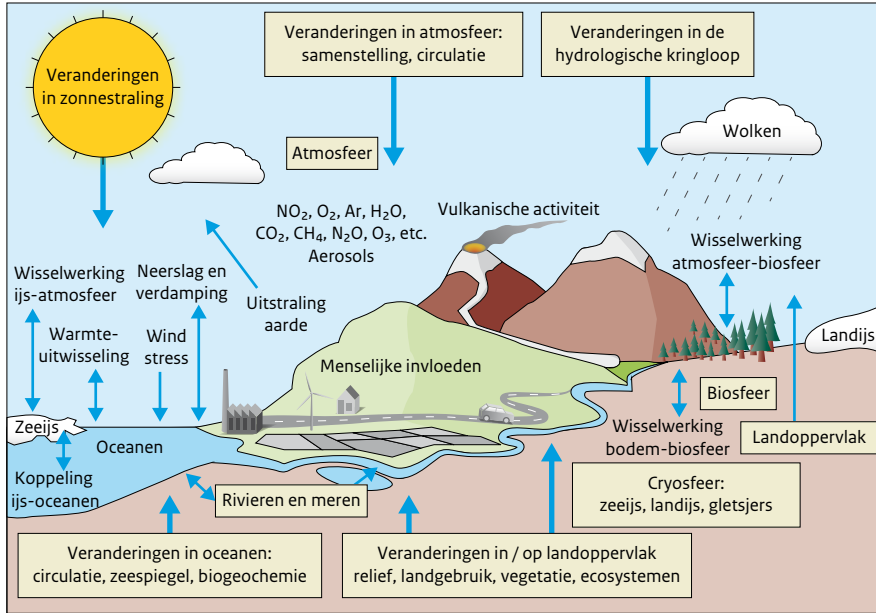
- Klimaatscenario's geven aan dat veel al waargenomen veranderingen zullen doorzetten. Over sommige variabelen in de klimaatscenario's kunnen uitspraken met meer zekerheid worden gedaan dan over andere. Zo laten alle scenario's een temperatuurstijging zien.

- Waar alle scenario's een verdere stijging laten zien van de winterneerslag, is het beeld voor de zomerneerslag onduidelijker. Dit hangt onder meer af van wel of geen veranderingen in de luchtcirculatie.
- In alle klimaatscenario's neemt voor alle seizoenen de hevigheid van zware buien toe. Tegelijkertijd stijgt mogelijk het maximale neerslagtekort, vooral in de scenario's waarin de luchtcirculatie verandert. In de scenario's waarin de circulatie niet verandert, is die toename beperkt (tot maximaal 10 procent in 2050); deze valt ruim binnen de huidige jaar-tot-jaarvariatie.

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe het klimaatstelsel in elkaar steekt, wat bekend is over de tot nu toe waargenomen klimaatverandering (ten opzichte van MNP 2005), hoe deze recente waarnemingen zich verhouden tot die in het verleden, en wat mogelijke toekomstige ontwikkelingen zijn. We besteden daarbij expliciet aandacht aan de onzekerheden die rond klimaatverandering spelen. In het hoofdstuk ligt de nadruk op Nederland als geheel en – waar mogelijk – op regionale veranderingen in ons land. Het Europees en wereldperspectief wordt ook beschreven, voor zover dit relevant is voor de veranderingen in Nederland.

Figuur 2.1
Compartmenten van klimaatsysteem



Bron: PBL

2.2 Het klimaatsysteem

Het klimaatsysteem wordt bepaald door verschillende processen in de atmosfeer, de oceaan, de ijsbedekking en op het land. Hierbij zijn fysische, chemische en biologische processen van belang, evenals hun onderlinge samenhang. Figuur 2.1 geeft een schematisch overzicht van het klimaatsysteem.

Er is de laatste jaren grote vooruitgang geboekt bij het begrijpen van het complexe klimaatsysteem en hoe dit beïnvloed wordt door veranderingen in de atmosfeer, het ijs, de oceanen en het land (zie ook KNMI 2011; IPCC 2011). Zo heeft het land allerlei terugkoppelingen op het klimaat. Toch zal het klimaatsysteem mogelijk nooit helemaal begrepen worden. Sommige processen verlopen chaotisch, waardoor kleine veranderingen onverwachte gevolgen kunnen hebben. Dit draagt bij aan de onzekerheid die verbonden is aan de klimaatverandering en haar gevolgen.

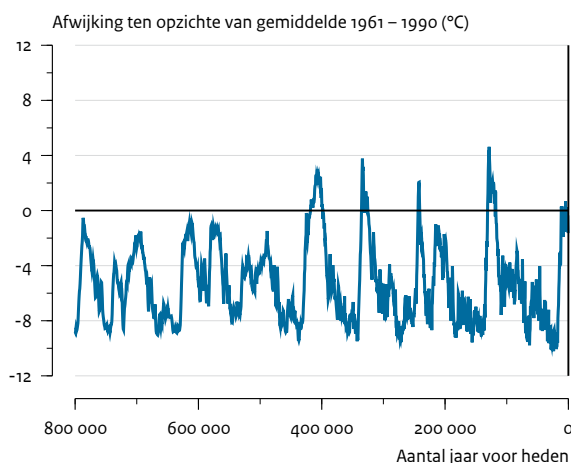
Het klimaat op aarde wordt voor verreweg het grootste deel bepaald door de – kortgolvlige – straling van de zon. De straling van de zon zorgt voor de energie op aarde. Zij wordt beïnvloed door wolken, stofdeeltjes en broeikasgassen in de atmosfeer, die ongeveer 30 procent van de inkomende zonnestraling direct terugkaatsen. Deze teruggekaatste energie verdwijnt in het heelal en

heeft dus geen invloed op het klimaat op aarde. Van de resterende straling neemt de atmosfeer ongeveer een derde op en het aardoppervlak twee derde. Hierdoor warmt zowel de atmosfeer op als het aardoppervlak. De langgolvlige warmtestraling (infrarode straling) die hierdoor ontstaat, verdwijnt uiteindelijk weer in het heelal. Op deze manier ontstaat een evenwicht tussen ingestraalde en uitgestraalde energie.

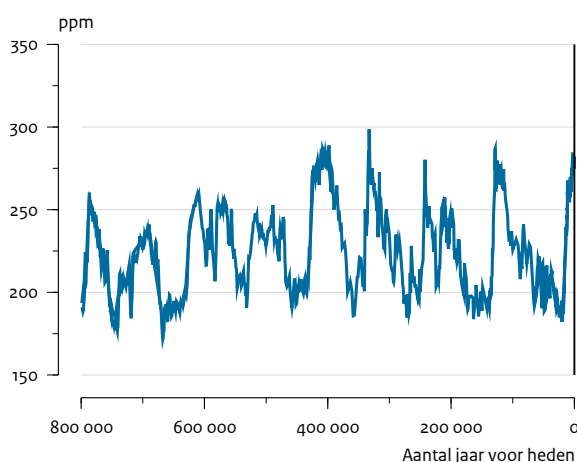
Een deel van de langgolvlige warmtestraling vanaf het aardoppervlak wordt geabsorbeerd door ‘gassen’ in de atmosfeer, en voor een deel weer teruggekaast. Hierdoor is de oppervlaktetemperatuur hoger dan wanneer deze (broeikas)gassen er niet zouden zijn. Dit is het natuurlijke broeikaseffect. Zonder het broeikaseffect zou de oppervlaktetemperatuur op aarde -18°C bedragen. De van nature aanwezige broeikasgassen verhogen die temperatuur tot ongeveer +15°C. Zij zijn dus van groot belang voor het leven op aarde zoals we dit kennen (KNMI 2011). Bij deze ‘gassen’ gaat om het waterdamp, koolstofdioxide (CO₂), methaan, lachgas, ozon, cfk’s (chloorfluorkoolstofverbindingen), enkele zwavelverbindingen en stofdeeltjes.

Figuur 2.2
Mondiale temperatuur en CO₂-concentratie in ver verleden

Temperatuur



CO₂-concentratie



Bron: Lüthi et al. (2008)

De temperatuur is het temperatuurverschil ten opzichte van de gemiddelde temperatuur over de periode 1960-1990. De X-as loopt van 800.000 jaar geleden tot het heden. De huidige CO₂-concentratie is 391 parts per million (ppm): het aantal deeltjes per miljoen deeltjes lucht. Dit is een maat voor concentraties in de lucht.

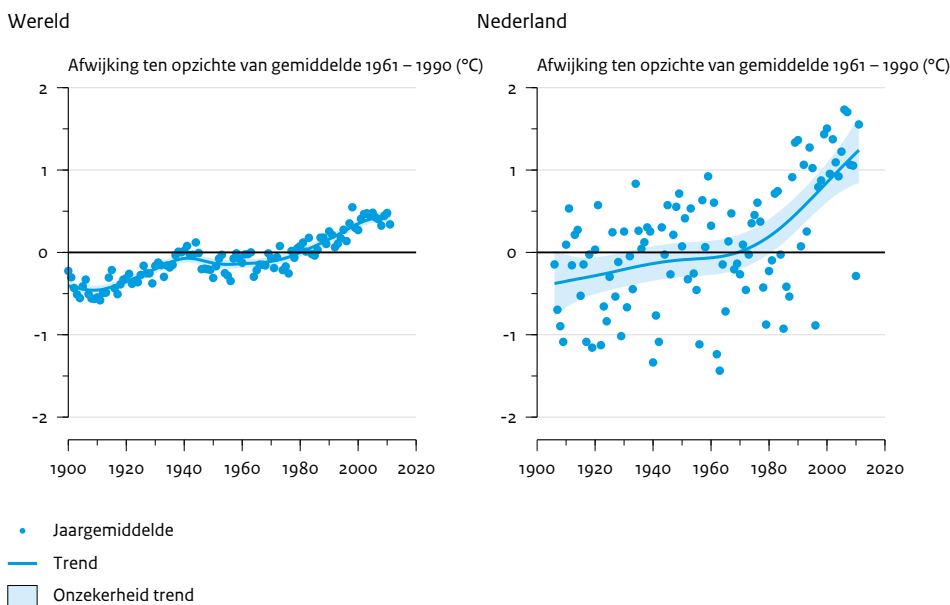
2.3 Klimaatverandering: mondiaal

Het verre verleden

Al sinds het ontstaan van de aarde, ongeveer vijf miljard jaar geleden, zijn klimaatschommelingen een normaal verschijnsel. Zo traden verschillende ijstijden op met tussenpozen van ongeveer honderdduizend jaar. Het verschil tussen de gemiddelde temperatuur op aarde in een ijstijd en die tussen ijstijden in was meer dan 5°C (figuur 2.2). Veranderingen in de concentraties van broeikasgassen en de mondiale temperatuur vertoonden een samenhang. Na de laatste ijstijd, zo'n 12.000 jaar

geleden, zijn er enkele relatief snelle klimaatveranderingen opgetreden. Deze veranderingen hingen waarschijnlijk samen met veranderingen in de oceaanstromingen, veroorzaakt door smeltend ijs. Daarna is het klimaat opvallend stabiel geworden, met een schommeling van de wereldgemiddelde temperatuur met ongeveer één graad. In dit stabiele klimaat is de mens landbouw gaan bedrijven, hebben zich vele beschavingen ontwikkeld en is ten slotte onze moderne maatschappij ontstaan.

Figuur 2.3
Temperatuur



Bron: CBS et al. (2012a)

Zowel mondiaal als in Nederland zijn de jaargemiddelde temperaturen gestegen.

Klimaatverandering en CO₂-stijging in de laatste 150 jaar

Bijna overal op aarde wordt het momenteel warmer (IPCC 2007; EEA 2010; WMO 2012). Eind 2011 was de wereldgemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak 0,8°C hoger dan rond het begin van de vorige eeuw (figuur 2.3). Elf van de afgelopen twaalf jaren behoren tot de twaalf warmste op aarde, sinds het begin van de directe temperatuurmetingen, zo'n anderhalve eeuw geleden. Mondiaal gezien behoren 2005, 2010 en 1998 tot de warmste drie jaren. Een trendanalyse van de wereldtemperatuur laat zien dat, gemiddeld genomen, temperaturen nog steeds stijgen, ook na het jaar 2000. Wel is het zo dat de jaarlijkse toename minder is dan bijvoorbeeld rond 1995 (CBS et al. 2012a). Verder is de opwarming niet gelijk verdeeld over aarde; de grootste opwarming boven land vond plaats op het noordelijk halfrond. En er blijft een behoorlijke variabiliteit in de wereld. Zo was het in het noordwestelijk deel van Europa de afgelopen jaren relatief koud, terwijl het in delen van Canada, Groenland en Afrika meer dan drie graden warmer was dan normaal (WMO 2012).

Ook zijn er aanwijzingen dat sinds 1950 klimaatextremen wereldwijd aan het veranderen zijn (IPCC 2011). Zo komen koudeperiodes minder voor, en hittegolven, droogtes en zware regenbuien vaker. Geen trends zijn er waargenomen in de frequentie en sterkte van zware

stormen en tornado's, en van klimaatgerelateerde overstromingen (IPCC 2011)

Net als de temperatuur is ook de CO₂-concentratie in de atmosfeer de afgelopen 150 jaar sterk gestegen. Waar die concentratie in de afgelopen 800.000 jaar varieerde tussen ongeveer 180 en 280 ppm¹ (Lüthi et al. 2008), is zij in de afgelopen 150 jaar gestegen naar 389 ppm eind 2010 en 391 ppm eind 2011 (NOAA/ESRL 2011). Deze stijging is vooral het gevolg van industriële ontwikkeling en ontbossing, en de daarmee samenhangende uitstoot van CO₂.

Oorzaken van recente klimaatverandering

Naar de oorzaken van de recente klimaatverandering wordt veel onderzoek gedaan. Daarbij is vastgesteld dat de klimaatschommelingen die zijn waargenomen in de twintigste eeuw, kunnen worden verklaard door een combinatie van natuurlijke en menselijke oorzaken (KNMI 2011). In het algemeen zijn er drie belangrijke natuurlijke oorzaken aan te wijzen voor schommelingen van jaar tot jaar en schommelingen over enkele decennia¹: hevige vulkaanuitbarstingen, variaties in zonneactiviteit, en El Niño-verschijnselen (IPCC 2007; PCCC 2010; KNMI 2011). Deze drie natuurlijke oorzaken verklaren voor een groot deel de trendmatige temperatuurverandering in het begin van twintigste eeuw (Van Ulden & Van Dorland 2000; Van Dorland 2006). Zij dragen ook bij aan de

trendmatige verandering in het klimaat, zoals waargenomen in de laatste decennia. Deze trend wordt echter vooral veroorzaakt door menselijke activiteit (IPCC 2007; PCCC 2010; Foster & Rahmstorf 2011), al wordt naar de precieze bijdrage daarvan nog onderzoek gedaan.

El Niño staat voor een klimaatschommeling boven de Stille Oceaan die eens in de drie tot zeven jaar optreedt. Tijdens dergelijke periodes nemen winden boven de Stille Oceaan af, waardoor warm water naar de westkust van Zuid-Amerika stroomt. Hierdoor neemt de mondiale temperatuur tijdelijk een paar tienden van graden toe. Het omgekeerde kan ook gebeuren. Tijdens zo'n La Niña-periode – zoals in 2011 begonnen is – koelt de wereld iets af.

Bij hevige vulkaanuitbarstingen, zoals die van de Pinatubo op de Filipijnen in 1991, komen enorme hoeveelheden stof en gassen hoog de lucht in (tot in de stratosfeer op een hoogte van meer dan 13 kilometer). Die blijven daar een paar jaar en kaatsen zonlicht terug de ruimte in, waardoor het aardoppervlak koeler wordt. Ten slotte zijn er de variaties in zonneactiviteit. De hoeveelheid straling van de zon varieert iets doordat magnetische velden op de zon veranderen. Hoe meer van die velden (zichtbaar als vlekken), hoe actiever de zon, hoe meer straling deze uitzendt en hoe (iets) warmer het op aarde wordt (KNMI 2011). De zonnevlekken hebben een cyclus van ongeveer elf jaar.

2.4 Waargenomen klimaatverandering in Nederland

In deze paragraaf geven we een actualisering van de in Nederland waargenomen veranderingen in weer en klimaat.² Hierbij komen zowel gemiddelde en extreme temperatuur en neerslag aan bod als droogte en wind. We zullen vooral ingaan op de meerjarige trend. Het weer in individuele jaren of zelfs maanden, zoals de koudeperiode van februari 2012, beschrijven we alleen om de variabiliteit te illustreren. Verder geven we – waar bekend – regionale verschillen binnen Nederland.

In Nederland sterkere temperatuurstijging dan wereldwijd

De temperatuur in Nederland wordt bepaald door een combinatie van effecten. Niet alleen de zon boven ons land is bepalend, maar ook de temperatuur van de Noordzee. Gemiddeld over Nederland is de jaargemiddelde temperatuur nu ongeveer 10°C (KNMI 2011).

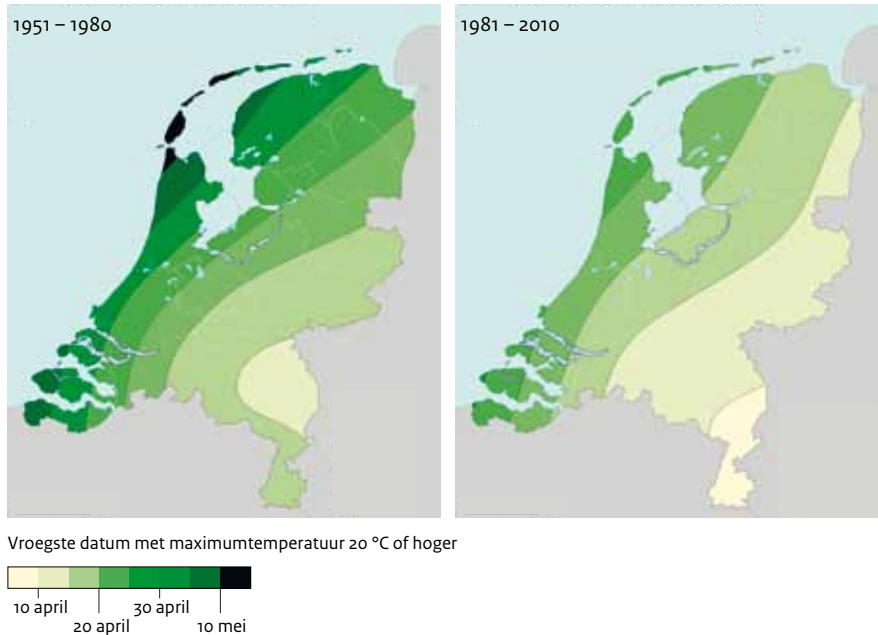
Al was 2010 het koudste jaar in Nederland sinds 1996 (PCCC 2011), de meerjarige gemiddelde temperatuur blijft

in Nederland stijgen (Van der Schrier et al. 2011). Nederland is nu gemiddeld 1,7°C plus of min 0,5 °C warmer dan een eeuw geleden (PCCC 2009; Van der Schrier et al. 2011; CBS et al. 2012a) (figuur 2.3). De top-tien van warmste jaren sinds het begin van de Nederlandse metingen in 1901 is grotendeels gevuld met recente jaren. De jaren 2000, 2002, 2005, 2006, 2007, 2008 en 2011 staan in deze lijst, met 2006 en 2007 als warmste jaren (gemiddeld 11,2°C) (KNMI 2008a, 2011).

De temperatuurstijging in Nederland zet onverminderd door (figuur 2.3). De afgelopen vijftien tot twintig jaar bedroeg die stijging ongeveer 0,04°C per jaar (CBS et al. 2012a). Veel natuurlijke factoren die de mondiale temperatuur beïnvloeden, zoals El Niño en La Niña, hebben geen of zeer beperkte invloed op de temperatuur in Nederland. Die wordt veel meer bepaald voor circulatieveranderingen in onze omgeving en door de temperatuur van de Noordzee. Verder wordt vaak gedacht dat de opwarming in Nederland (en omstreken) ongeveer even snel zou gaan als de wereldgemiddelde stijging van de temperatuur. We liggen immers op middelbare breedte en staan onder invloed van zowel land als zee. Toch is de stijging in Nederland, evenals in veel delen in West-Europa, sinds 1950 ongeveer twee keer zo groot als gemiddeld over de wereld (KNMI 2008a; Van Oldenborgh et al. 2009) (figuur 2.3). De snellere opwarming in onze omgeving wordt verklaard doordat landmassa's in het algemeen sneller opwarmen dan wereldgemiddeld (doordat oceanen langzaam opwarmen). Verder heeft Nederland – net als andere delen in West-Europa – te maken met meer (zuid) westenwind in de late winter en het vroege voorjaar, minder bewolking, stijgende temperaturen van het Noordzeewater en een toename in de hoeveelheid zonnestraling (door schonere lucht) in het voorjaar en de zomer (KNMI 2008a).

De opwarming in Nederland is merkbaar in alle seizoenen. Maar door de natuurlijke grilligheid van het Nederlandse klimaat is de opwarming niet gelijkmatig en gelijktijdig over de seizoenen verdeeld. Ook is niet elk seizoen even gemiddeld of extreem. Zo was de zomer van 2006 erg warm (met hittegolven in juni en juli), terwijl de winter van 2006 koud was. Omgekeerd waren de zomers van 2000 en 2011 vrij normaal tot koud, terwijl de andere seizoenen in die jaren een bovengemiddelde temperatuur vertoonden; en waar de winter in 2009 koud was, waren de andere seizoenen (extreem) warm. Deze grilligheid is een natuurlijke variatie die weinig te maken heeft met langdurige klimaatverandering als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen. Toch is er een trendmatig verschil in temperatuurstijging te zien tussen de seizoenen. De stijging is het hoogst in de lente, met 1,8°C plus of min 0,7°C over de laatste 60 jaar, en ruim 2°C over laatste 100

Figuur 2.4
Eerste warme dag per jaar



Bron: KNMI (2011)

De eerste warme dag valt nu vijf tot tien dagen eerder dan in 1951.

jaar (CBS et al. 2012a). Ook waren alle lentes sinds 1988 – met uitzondering van 1996 – bovengemiddeld warm (KNMI 2008a), met onder meer gevolgen voor de natuur in Nederland (zie hoofdstuk 4).

Het jaar 2010 was in Nederland – en in veel andere delen van Europa – opvallend koud: de temperatuur lag 0,7°C onder het meerjarige gemiddelde. Vooral de wintermaanden, zowel aan het begin (januari en februari) als aan het eind (december) van 2010, waren koud (PCCC 2011). De voornaamste oorzaak van dit relatief koude jaar ligt vermoedelijk in een afwijkende positie van de Arctische Oscillatie (AO) en de daarmee samenhangende positie van hoge- en lagedrukgebieden. Hierdoor werd in de winter van 2009-2010 veel koude lucht uit het oosten aangevoerd. Gezien de afwijking van de AO had de winter in Nederland net zo koud kunnen zijn als de extreem koude winter van 1963. Dat dit niet is gebeurd, hangt waarschijnlijk samen met de trendmatige mondiale opwarming die sindsdien heeft plaatsgevonden (Cohen 2010; Cattiaux et al. 2010; PCCC 2011).

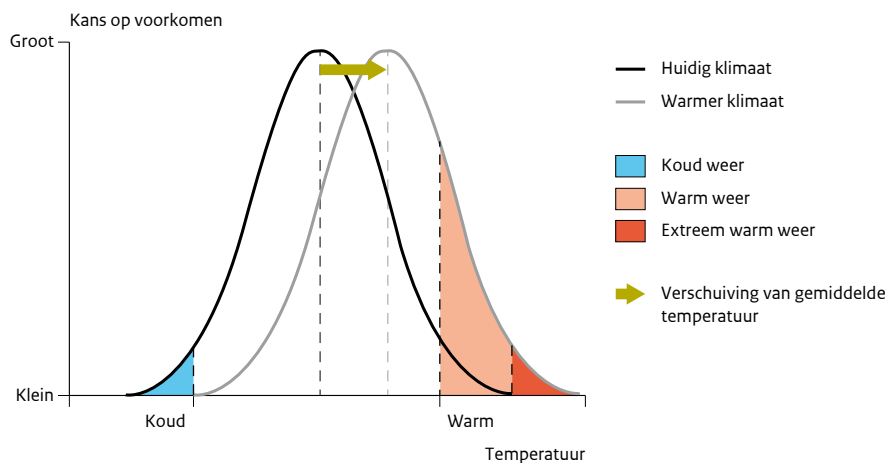
Door de temperatuuroptocht in Nederland komen warme en hete dagen tegenwoordig ook eerder in een jaar voor (KNMI 2011). Zo valt de eerste warme dag (met een maximumtemperatuur van 20°C of meer) vijf tot tien dagen eerder in een jaar dan vijftig jaar geleden (zie figuur

2.4). De verschuiving langs de kust is groter dan in het binnenland, waarschijnlijk door de stijging van de zeevatertemperatuur. Hierbij moet opgemerkt worden dat het moment van de eerste warme dag een grote variatie over Nederland kent: gemiddeld wordt die waarde in het zuidoosten vijftien dagen eerder bereikt dan in het noordwesten.

Meer extreme warmte en minder koude

Extreme weersituaties, zoals een hitte- of koudegolf, kunnen mensen bewust maken van wat klimaatverandering kan inhouden. Dit soort periodes bestaat uit een reeks opeenvolgende zomerse of tropische dagen respectievelijk (strenge) vorstdagen (KNMI 2011). Vanwege de beleving worden temperatuurextremen hier vanuit drie verschillende kanten bekeken: de frequentie van warme, tropische of koude dagen, de hoogste maximumtemperaturen in een jaar, en de frequentie waarmee dagen relatief warm of koud zijn voor het moment in een jaar. Voor elk van de drie voorbeelden geldt dat ze van nature zeldzaam zijn. Wel kan een beperkte verschuiving van de gemiddelde temperatuur of jaargemiddelde neerslag leiden tot grote veranderingen in de kans op extreem weer, zelfs als de variabiliteit verder niet verandert (figuur 2.5).

Figuur 2.5
Effect verschuiving van temperatuur

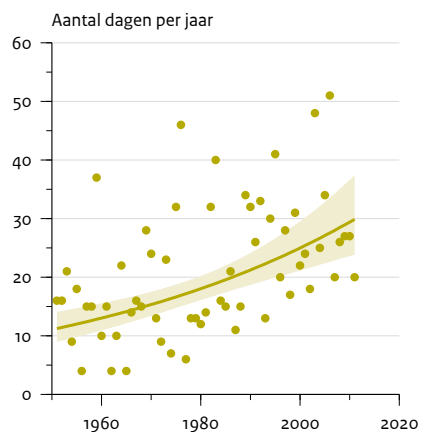


Bron: MNP (2005); IPCC (2011); Visser & Petersen (2012)

De kans op overschrijding van een bepaalde grenswaarde neemt onevenredig toe met een verschuiving in de gemiddelde temperatuur.

Figuur 2.6
Temperatuurextremen in De Bilt

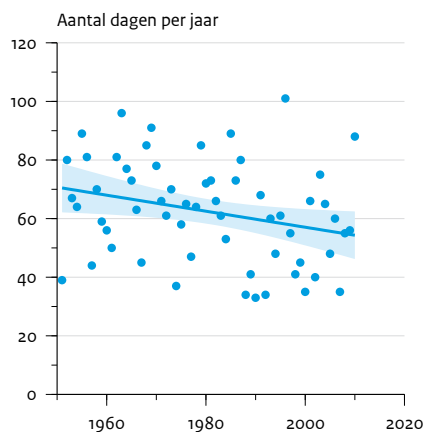
Zomerse dagen



Maximum temperatuur 25 °C of hoger

- Waarnemingen
- Trend
- Onzekerheid trend

Vorstdagen



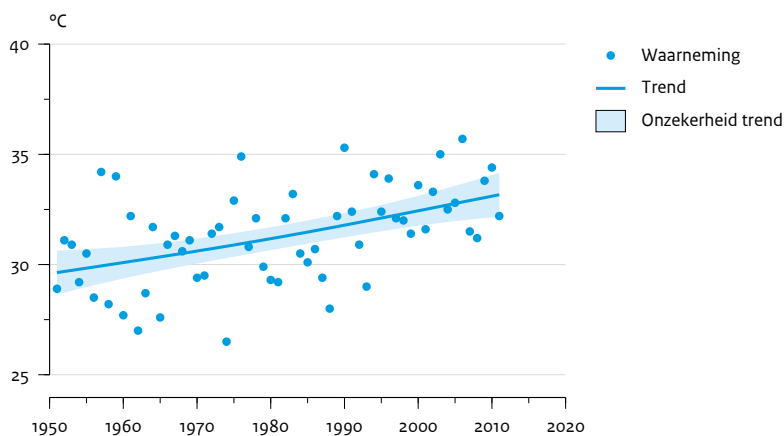
Minimum temperatuur 0 °C of lager

- Waarnemingen
- Trend
- Onzekerheid trend

Bron: KNMI (2011)

Het aantal zomerse dagen (links) steeg, het aantal vorstdagen (rechts) daalde tussen 1950 en 2011 in De Bilt.

Figuur 2.7
Maximale dagtemperatuur binnen een jaar in De Bilt



Bron: Visser & Petersen (2011)

Ook de waargenomen hoogste maximumtemperatuur gemeten in een jaar in De Bilt is in de periode 1950-2010 gestegen.

Een eerste manier om naar temperatuurextremen te kijken is de frequentie van warme, zomerse en tropische dagen (met maximumtemperaturen van meer dan respectievelijk 20, 25 en 30°C) en dagen met vorst of strenge vorst (met minima lager dan respectievelijk -5 en -10°C; KNMI 2011). De frequentie van dergelijke zomerse en winterse dagen heeft een grote variatie van jaar tot jaar; een variatie die samenhangt met de grilligheid van ons klimaat (figuur 2.6). Toch is er een geleidelijke stijging dan wel daling te zien die significant is (KNMI 2011). Zo kwamen zomerse dagen rond 1950 gemiddeld maar elf keer voor in een jaar en nu bijna dertig keer; dat zijn er dus negentien meer. Het aantal vorstdagen is gedaald van gemiddeld 71 keer rond 1950 tot 54 keer nu; dat zijn er dus zeventien minder.

Een tweede indicatie voor toenemende hitte is de trend van hoogste maximumtemperaturen gemeten binnen een jaar op een locatie (afgekort als TXX). Ook al is er een sterke jaar-tot-jaarvariatie in deze TXX, Visser en Petersen (2012) laten zien dat deze indicator voor De Bilt over de periode 1950-2010 met ruim drie graden is gestegen, van 29,6°C tot 33,2°C in 2011 (figuur 2.7). Hierdoor is, bijvoorbeeld, de kans op een dag met temperaturen boven de 35°C gestegen van eens in de 420 jaar rond 1950 tot eens in de 62 jaar rond 1980 en eens in zes jaar nu.

Ten slotte kan er gekeken worden naar de frequentie waarmee dagen relatief warm of koud (maar niet per se extreem) zijn voor het moment in een jaar (als grens voor warm en koud is voor elke kalenderdag gekozen voor de temperatuur die maar op 10 procent van die kalenderdag

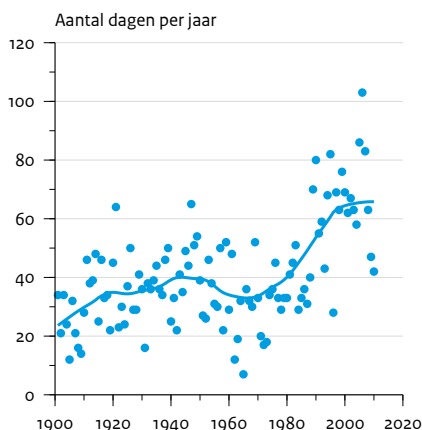
werd gepasseerd tussen 1961 en 1990; KNMI 2008). Ook de frequentie van dergelijke warme en koude dagen toont een grote variatie van jaar tot jaar (figuur 2.8). Zo kende 2006 veel zeer warme dagen (103 in De Bilt), terwijl 2010 juist relatief veel koude dagen kende. Maar ook hier is er een stijgende, respectievelijk dalende trend waar te nemen (KNMI 2008, 2011). In De Bilt nam het aantal zeer warme dagen toe van gemiddeld ongeveer 25 aan het begin vorige eeuw naar ruim 60 dagen nu, terwijl het aantal zeer koude dagen daalde van ongeveer 45 tot 15 (figuur 2.8). De afname in koude dagen heeft voordelen, zoals een lagere stookbehoefte (KNMI 2011). Deze ontwikkeling leidt echter ook tot een kleinere kans op periodes van stevige kou, die nodig zijn voor bijvoorbeeld de Elfstedentocht. Wel blijft een Elfstedentocht door de natuurlijke grote variabiliteit van winters altijd nog mogelijk (Visser & Petersen 2008; zie hoofdstuk 7). Geografisch gezien komen temperatuurextremen landinwaarts meer voor dan aan de kust. Dit komt door de matigende invloed vanuit zee. Dit patroon is over de afgelopen dertig jaar versterkt voor zomerse dagen (Van der Schrier et al. 2009).

Toename neerslag, vooral aan de kust; ook toenemende neerslagintensiteit

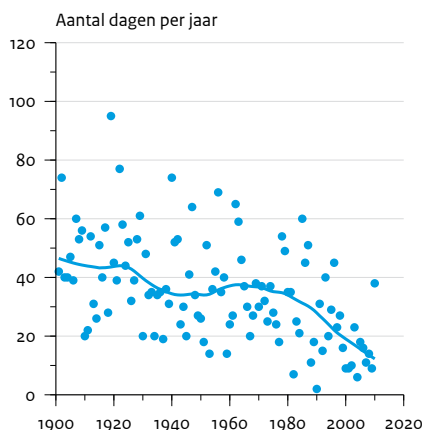
In Nederland regent het gemiddeld 8 procent van de tijd, in de winter iets meer dan in de zomer (KNMI 2011). Dit gemiddelde heeft een grote variatie van jaar tot jaar en van plaats tot plaats. Zo is de extreme hoeveelheid neerslag in delen van Zuid-Holland tot 14 procent meer dan in De Bilt (Buishand et al. 2009; KNMI 2009a). Verder valt er in sommige jaren relatief weinig neerslag (zo viel in Kornwederzand in 2003 maar 483 millimeter) en zijn

Figuur 2.8
Relatief warme en koude dagen in De Bilt

Warme dagen



Koude dagen



Aantal dagen waarbij per kalenderdag de gemiddelde dagtemperatuur behoort bij de 10% warmste (of koudste) jaren

- Waarnemingen
- Trend

Bron: KNMI (2008, 2011)

Sterke stijging in relatief warme dagen en daling in relatief koude dagen tussen 1901 en 2010 in De Bilt. Relatief warme dagen zijn dagen met een temperatuur die maar in 10 procent van die kalenderdag gepasseerd werd tussen 1961 en 1990.

andere jaren extreem nat (in Schellingwoude is in 1998 met 1.374 millimeter de grootste hoeveelheid neerslag tot nu toe gemeten) (KNMI 2011). Ook binnen een jaar kunnen de variaties groot zijn. Het jaar 2011 kende een erg droog voor- en najaar, terwijl de zomer de natste was van de laatste honderd jaar. De variatie in neerslag wordt veroorzaakt door een reeks van factoren, zoals windrichting, temperatuur en luchtvochtigheid. Zo gaan natte jaren vaak samen met meer westelijke stroming vanuit zee in combinatie met opwarmend zeewater (Lenderink & Van Meijgaard 2008).

Ook trendmatig verandert de neerslag. Jaarlijks valt er in Nederland tegenwoordig ongeveer 850 millimeter neerslag. Dat is een toename van ruim 20 procent ten opzichte van een eeuw geleden, toen er rond 700 millimeter viel (figuur 2.9) (KNMI 2011; CBS et al. 2012b). Deze toename heeft vooral plaatsgevonden in de winter (+26 procent), terwijl de hoeveelheid neerslag in de zomer nauwelijks is veranderd (omstreeks 5 procent) (KNMI 2006, 2011). Ook is de neerslag aan de kust sterker toegenomen (30 tot 35 procent) dan landinwaarts (10 tot 25 procent) (KNMI 2011; Buishand et al. 2009). Dit komt waarschijnlijk door het warmere water van de Noordzee. Hierdoor ontstaan meer wolken boven de zee, die zwaardere buien kunnen veroorzaken boven land, vooral langs de kust.

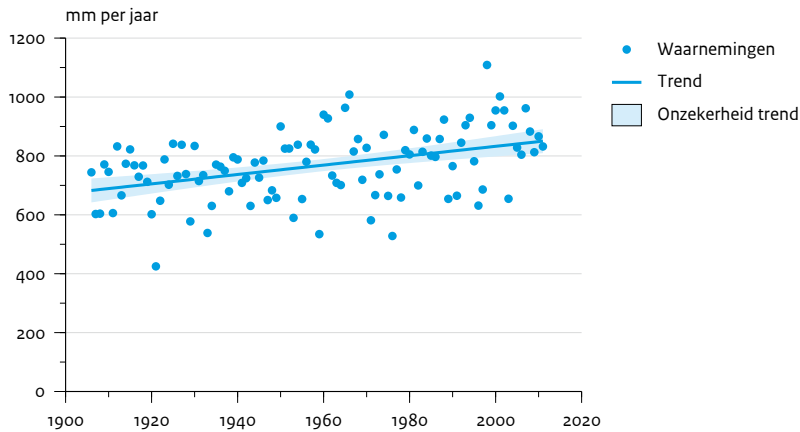
Hoewel er 's winters meer neerslag valt, neemt het aantal dagen met sneeuw sinds de tachtiger jaren af. Alleen de winter van 2009-2010 telde het hoogste aantal sneeuwdagen (42) sinds de winter van 1978-1979 (KNMI 2011). De stijgende temperaturen maken dat de neerslag vaker in de vorm van regen valt en minder als sneeuw.

Zware buien (zie foto) kunnen lokale wateroverlast geven, beperkingen in het zicht, en schade voor bebouwing, land- en tuinbouw. De frequentie van dit soort buien is de



Kans op zware buien neemt toe

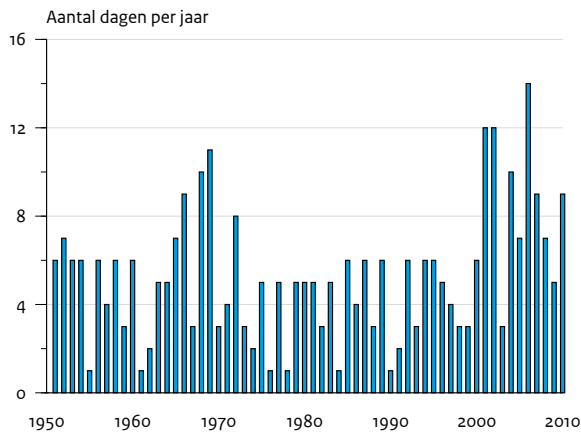
Figuur 2.9
Neerslag in Nederland



Bron: KNMI (2011); CBS et al. (2012b)

De jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 stations) is tussen 1906 en 2011 met ruim 20 procent toegenomen.

Figuur 2.10
Dagen met 50 mm neerslag of meer in Nederland



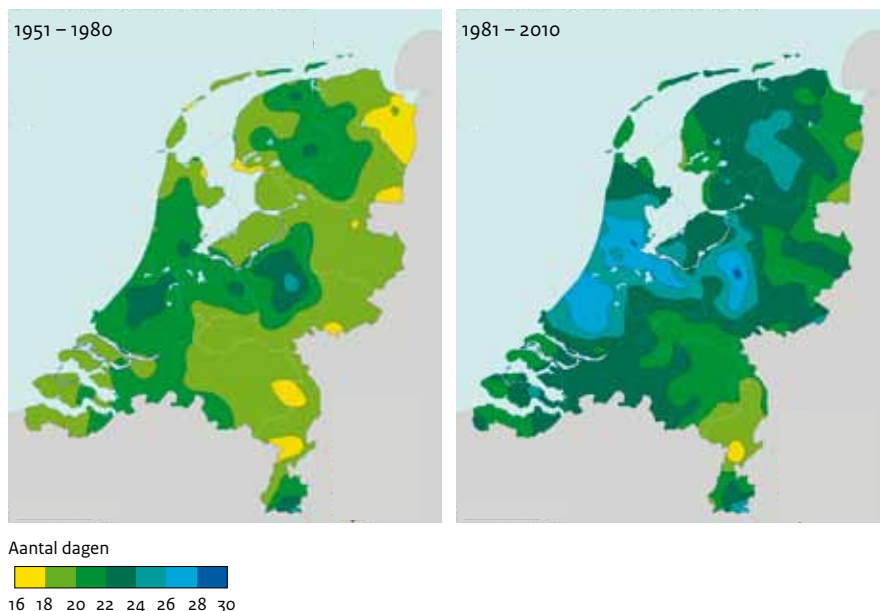
Bron: KNMI (2011)

Dagen in een jaar met zware neerslag (50 mm of meer) lijken in Nederland tegenwoordig vaker voor te komen dan rond 1950.

laatste eeuw toegenomen (Van der Schrier et al. 2009; KNMI 2011). Zo komen zeer zware buien (met meer dan 50 millimeter neerslag) nu vaker voor dan rond 1950 (KNMI 2011; figuur 2.10). De toename zien we vooral in de winter (KNMI 2008) en vooral in West-Nederland (figuur 2.11; Van der Schrier et al. 2009; KNMI 2011). Zo is de hoogste tiendaagse neerslagsom per winter sinds 1906 met 29 procent gestegen (KNMI 2006). De waargenomen stijging in extreme (winter)neerslag kan vooral worden verklaard

door meer neerslag op al regenachtige dagen. Ook in de zomers van afgelopen jaren waren er meer dagen met zware buien dan een eeuw geleden. Het hoogste aantal – 11 dagen zware neerslag – is waargenomen in de zomer van 2006. Maar gemiddeld over Nederland is de waargenomen stijging klein ten opzichte van de verschillen tussen de jaren, en statistisch niet significant.

Figuur 2.11
Aantal dagen per jaar met 10 mm neerslag of meer



Bron: KNMI (2011); Van der Schrier et al. (2009)

Het aantal dagen met (zware) neerslag neemt vooral toe in de kuststrook van Nederland.

Droogte: geen trend zichtbaar

Droogte treedt op als de verdamping groter is dan de hoeveelheid water die beschikbaar is in de bodem (die het resultaat is van de neerslag over een langere periode). Droogte treedt niet op van de ene op de andere dag. Zij kan ontstaan in periodes met veel verdamping en/of weinig neerslag over een langere periode. Als indicator voor droogte wordt vaak het (maximale) neerslagtekort gebruikt. Dit is de neerslag minus de potentiële verdamping over een langere periode (KNMI 2010). Door het uitblijven van neerslag kan er al vroeg in het voorjaar sprake zijn van een neerslagtekort; dit was bijvoorbeeld het geval in het voorjaar van 2011. Als het neerslagtekort aanhoudt, kan dit ook invloed hebben op het eventueel ontstaan van een droogte in de daaropvolgende zomer. Dit gebeurde bijvoorbeeld in de recordjaren 1976 en 2003 (KNMI 2010, 2011).

Het maximale neerslagtekort in Nederland verschilt per regio. In de kustzone is het neerslagtekort in het voorjaar en vroege zomer meestal groter dan in de rest van het land, terwijl de situatie in de late zomer en het najaar precies omgekeerd is (KNMI 2008, 2010). Deze regionale verschillen ontstaan doordat het in het voorjaar in de kustregio's vaak minder bewolkt is dan meer landinwaarts. Hierdoor regent het minder aan de kust, schijnt de zon meer en verdampt er meer water. In het

najaar zorgt het opgewarmde zeewater juist voor meer bewolking en buien nabij de kust.

Ondanks de stijgende temperaturen is er tot op heden (tussen 1906 en 2011) gemiddeld in Nederland geen trend waarneembaar in het maximale neerslagtekort, en dus in de droogte (KNMI 2010, 2011; PCCC 2011). Dit komt doordat dergelijke periodes weinig voorkomen. Het jaar 2011 had weliswaar het droogste voorjaar ooit, met in april en mei een neerslagtekort van 135 millimeter (het normale tekort eind mei bedraagt circa 50 millimeter) (PCCC 2011). Maar het grote neerslagtekort daarvoor vond plaats in 1976 (figuur 2.12). En in 2011 werd het droge voorjaar ruim gecompenseerd door een natte zomer.

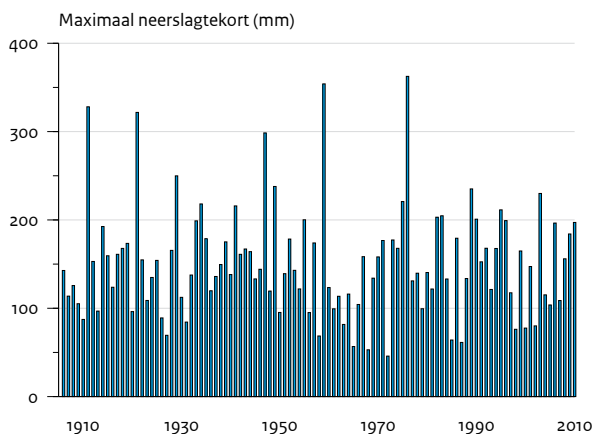
Wind: afname in frequentie van stormen

Ook wind en stormen kennen in Nederland een grote jaar-op-jaar- en plaats-tot-plaatsvariatie. Zo zijn de maximale windsnelheden in het noordwestelijk kustgebied aanzienlijk hoger dan in het binnenland (KNMI 2011).

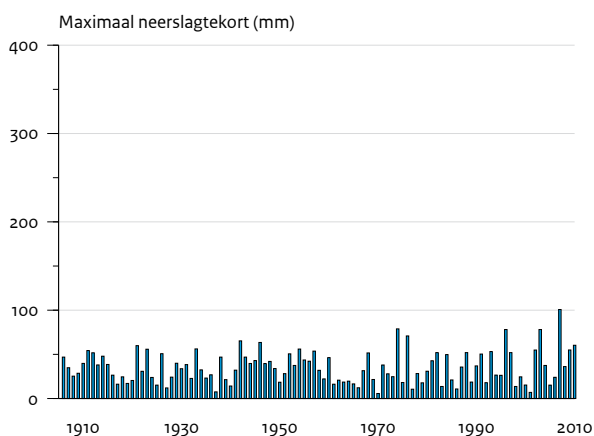
Toch is er in Nederland sprake van een daling van de gemiddelde windsterkte, en van het aantal stormen per jaar (figuur 2.13; Smits et al. 2005; KNMI 2011). Momenteel kennen we 20 tot 40 procent minder van dergelijke winden dan begin jaren zestig van de vorige eeuw

Figuur 2.12
Droogte in Nederland

Zomer (april – september)



Voorjaar (maart – april)



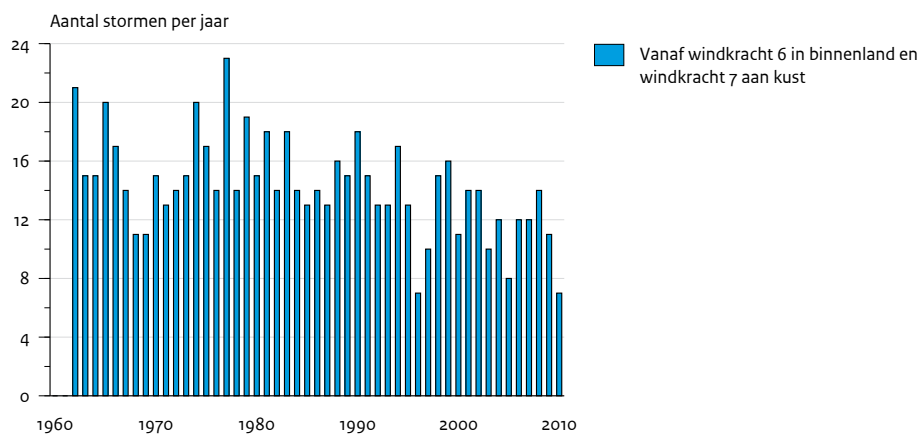
Bron: KNMI (2010)

Landelijk gezien is er tot op heden geen trend waarneembaar in het maximale neerslagtekort voor het zomerhalffjaar (april t/m september) en het voorjaar (maart, april).

(KNMI 2006; www.knmi.nl/klimaatsscenarios/waarnemingen/monitoring_windstorms.php)

De meetreeksen voor zware stormen met extreme windsnelheden (meer dan windkracht 10) zijn te kort en de frequentie is te laag om trends te kunnen vaststellen (KNMI 2008). De storm van 18 januari 2007 was bijvoorbeeld de enige zware storm in de periode 2003-2007 (Buisman 2011).

Figuur 2.13
Stormen in Nederland



Bron: KNMI (2008, 2011)

Het aantal stormen per jaar is tussen 1962 en 2010 gedaald.

2.5 Mogelijke klimaatveranderingen in de eenentwintigste eeuw: inleiding

Een (on)zekere toekomst

In de rest van dit hoofdstuk geven we een beeld van hoe het klimaat in Nederland in deze eeuw mogelijk verandert. Om zo'n beeld te kunnen schetsen zijn klimaatscenario's ontwikkeld: doorrekeningen van een mogelijke toekomst, gegeven een reeks van samenhangende en plausibele aannames, bijvoorbeeld met betrekking tot de economische en bevolkingsontwikkeling en de daarmee samenhangende CO₂-emissies. Elk scenario is een projectie, en geen voorspelling, van een mogelijke toekomst. Klimaatscenario's moeten dan ook niet worden gezien als langetermijnweersverwachtingen met uitspraken over het weer op een bepaalde datum (KNMI 2008b). Verder is het van belang te realiseren dat de veranderingen in de toekomst onzeker zijn. Door een reeks van scenario's of projecties te gebruiken kan een beeld ontstaan van deze onzekerheid. Zo ontwikkelde het KNMI vier klimaatscenario's om een beeld te krijgen van wat er in Nederland tot 2100 mogelijk gaat veranderen (KNMI 2006). Het in beeld brengen van de bandbreedte van regionale gevolgen met de bijbehorende onzekerheden is van belang om de risico's van klimaatverandering te kunnen bepalen (IAC 2010; PBL 2010).

Er zijn verschillende vormen van onzekerheid: statistische onzekerheid, scenario-onzekerheid en onwetendheid (zie tekstkader 2.1). Bovendien zijn er grenzen aan de

voorspelbaarheid van complexe systemen zoals het klimaatsysteem. Voor kleinschalige regio's, zoals Nederland of zelfs West-Europa, is de onzekerheid groter dan wanneer er uitspraken worden gedaan voor de wereld als geheel. Bij dergelijke kleine regio's speelt bijvoorbeeld ook de luchtcirculatie een belangrijke rol. Veel klimaatmodellen berekenen een duidelijke verandering in de circulatie boven West-Europa, maar de uitkomsten verschillen in de aard en grootte van die verandering.

In veel studies naar een mogelijk toekomstig klimaat wordt nu deels rekening gehouden met deze onzekerheden. Zo wordt scenario-onzekerheid vaak meegenomen door resultaten te tonen van verschillende socio-economische ontwikkelingen/scenario's en verschillende klimaatgevoeligheden.

Over sommige variabelen in de klimaatmodellen kunnen uitspraken met meer zekerheid worden gedaan dan over andere. Bij informatie over klimaatverandering is het zinvol hiermee rekening te houden. De relatieve zekerheid van uitspraken over de verschillende klimaatvariabelen is bijvoorbeeld gebaseerd op:

- consistentie tussen klimaatmodellen: geven deze allemaal dezelfde tendens aan, dan zijn de berekeningen meer robuust;
- kennis van de onderliggende processen: begrijpen we waarom een bepaalde verandering gaat optreden?
- de mate waarin de verandering (al) goed kan worden onderscheiden van de natuurlijke variatie.

2.1 Onzekerheden in klimaatprojecties

Bij het omgaan met onzekerheden over de toekomstige staat van het klimaat spelen verschillende typen onzekerheid een rol:

- *Statistische onzekerheid.* Hierbij gaat het om natuurlijke variabiliteit zoals de frequentie van klimaatextremen en in hoeverre die in de toekomst zal veranderen.
- *Scenario-onzekerheid.* Hierbij speelt vooral de toekomstige ontwikkeling van de bevolking en economie – en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen – een rol. Ook verschillen tussen modellen, dat wil zeggen de effecten van verschillende aannames bepalen scenario-onzekerheid.
- *Onwetendheid/kennisleemtes.* Niet alle processen die ons klimaat bepalen, worden op dit moment volledig en in samenhang begrepen (KNMI, 2008). Hoeveel reageert bijvoorbeeld de temperatuur op veranderingen in CO₂-concentratie (de zogeheten klimaatgevoeligheid)? En hoe zit het met de effecten van mogelijk klimaatverandering: hoe sterk is de relatie met klimaat, zijn er mogelijkheden voor aanpassing, en dergelijke?

Deze typen onzekerheid komen vaak tegelijkertijd voor, maar hun belang verschilt per geval. Zou er bijvoorbeeld geen klimaatverandering zijn, dan is de *statistische onzekerheid* belangrijk omdat we daarbij vooral te maken hebben met de natuurlijke variabiliteit. Een klassieke risicobenadering, waarbij men normen stelt voor een aanvaardbaar risico (bijvoorbeeld een maximale overstromingskans voor de randstad van eens in de 10.000 jaar), kan goed omgaan met statistische onzekerheid. Speelt klimaatverandering wel een rol, dan gaan de types '*scenario-onzekerheid*' en '*onwetendheid*' meedoen. De klassieke risicobenadering alléén volstaat dan vaak niet meer, en moet worden aangevuld met aanpakken die scenario-onzekerheid (vaststellen van opties die robuust zijn onder vele/alle scenario's) en onwetendheid (bijvoorbeeld de veerkrachtbenadering) adresseren.

Bron: Dessai & Van der Sluijs (2007); Wardekker & Van der Slijs (2010)

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

Temperatuur > Zeespiegel > Neerslag > Wind

Neerslag winter > Neerslag zomer

Gemiddelden > Eens per 10 jaar extremen

(KNMI 2009a)

maximaal 2°C (ten opzichte van 1900, en tot 1,3°C ten opzichte van 1990). Dit internationale klimaatdoel zou – zonder extra klimaatbeleid – tussen 2030 en 2060 kunnen worden overschreden. Ook voor de neerslag(extremen) in de wereld zijn grote veranderingen mogelijk. In het algemeen laten de scenario's een neerslagtoename zien in de noordelijke regio's en een (sterke) afname in mediterrane gebieden (IPCC 2007, 2011). Nederland zit net in een overgangsgebied. Hierdoor is het vooral onzeker hoe de zomerneerslag zich zal ontwikkelen.

2.6 Mogelijke klimaatveranderingen in de eenentwintigste eeuw: mondiaal

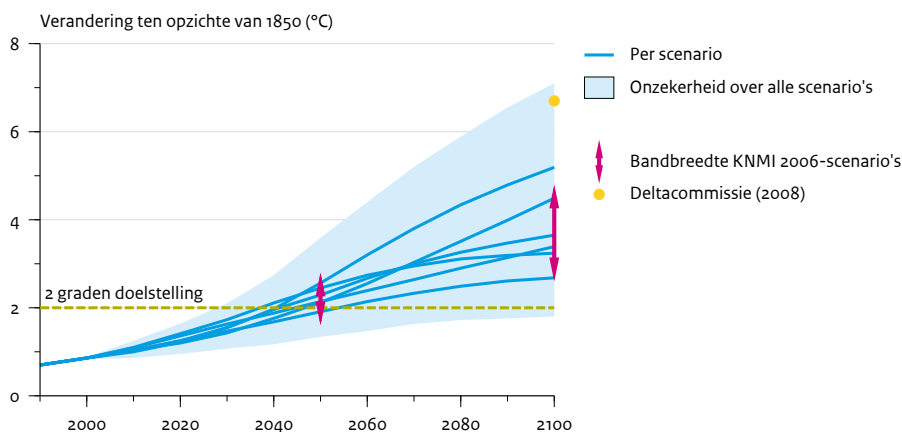
Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) heeft in 2007 mondiale klimaatscenario's gepresenteerd met projecties voor temperatuur en neerslag, inclusief de extremen, en voor de zeespiegelstijging. Deze geven een mogelijke mondiale temperatuurstijging voor 2100 (ten opzichte van 1850) van tussen de 1,8 en 7,1°C, onder de aanname dat geen extra klimaatbeleid wordt ingezet (IPCC 2007; zie figuur 2.14). De grote marge bij de te verwachten temperatuurstijging is te verklaren uit de onzekerheden over de sociaal-economische ontwikkelingen in de wereld en over het klimaatsysteem. Tijdens de klimaatconferentie in Kopenhagen (2009), en bevestigd in Cancun (november 2010), is afgesproken om de mondiale temperatuurstijging te beperken tot

2.7 Mogelijke klimaatveranderingen in Nederland

In deze paragraaf vatten we de huidige kennis samen over de mogelijke toekomstige klimaatveranderingen in Nederland (zie figuur 2.15). Hierbij maken we een onderscheid in temperatuur, neerslag, droogte, en wind.

De mondiale klimaatscenario's van het IPCC geven niet voldoende informatie om de klimaatverandering in een kleiner gebied zoals Nederland goed te kunnen beschrijven. Daarom heeft het KNMI in 2006 vier regionale klimaatscenario's ontwikkeld voor Nederland en omgeving. Deze vier scenario's (de KNMI'o6-scenario's) geven informatie over veranderingen in gemiddelden en extremen van temperatuur, neerslag, verdamping, wind en zeespiegel rond 2050 en 2100. De

Figuur 2.14
Mondiale temperatuurverandering



De blauwe lijnen tonen de gemiddelden van elk IPCC-emissiescenario, het lichtblauwe vlak de ranges voor verschillende klimaatmodellen (IPCC 2007). Verder is aangegeven het uitgangspunt van mondiale temperatuurstijging zoals gebruikt bij het schatten van de bovengrens voor zeespiegelstijging van de Deltacommissie (2008). De paarse pijlen geven de ranges van de KNMI'06-scenario's weer.

KNMI'06-scenario's verschillen afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging (gematigd: G, of warm: W) en van veranderingen in de stromingpatronen van de lucht in onze omgeving (West-Europa) en de daarmee samenhangende overheersende windrichting (figuur 2.16). De scenario's zijn gebaseerd op een groot aantal klimaatmodellen, verschillende socio-economische scenario's en historische meetreeksen afkomstig van Nederlandse stations. De KNMI'06-scenario's passen binnen de mondiale klimaatscenario's zoals opgesteld door de IPCC (KNMI 2006; Van den Hurk et al. 2006; figuur 2.14). In 2009 zijn de KNMI'06-scenario's aangevuld met meer details (KNMI 2009a).

Door gebruik te maken van verschillende klimaatmodellen en emissiescenario's spannen de KNMI'06-scenario's een groot deel van de onzekerheden op. Ze beschrijven – op grond van de huidige kennis – de bandbreedte van de meest waarschijnlijke veranderingen in de toekomst (KNMI 2009a). Daarmee is de aanpak meer consistent dan in MNP (2005). Toch bestaat er een kans dat de klimaatverandering buiten deze bandbreedte zal verlopen. Dat betekent dat veranderingen nog extremer of juist minder sterk kunnen verlopen. Afhankelijk van het type analyse is het wel of niet belangrijk rekening te houden met dergelijke extreme klimaatscenario's. Zo kan het bij het klimaatbestendig maken van ons land, vooral met het oog op overstromingen, van belang zijn ook naar extreem hoge scenario's te kijken. De kans dat zo'n extreem hoog scenario zich voordoet is weliswaar klein, maar de

mogelijke schade, bijvoorbeeld als gevolg van overstromingen, kan groot zijn. Om deze reden hebben andere organisaties in aanvulling op – en niet in plaats van – de KNMI'06-scenario's meer extreme projecties ontwikkeld van mogelijke klimaatverandering en zeespiegelstijging (zie ook hoofdstuk 3 over zeespiegelstijging). Daarbij dient te worden opgemerkt dat hoe extremer een scenario is, hoe kleiner de kans dat het realiteit wordt (KNMI 2009a).

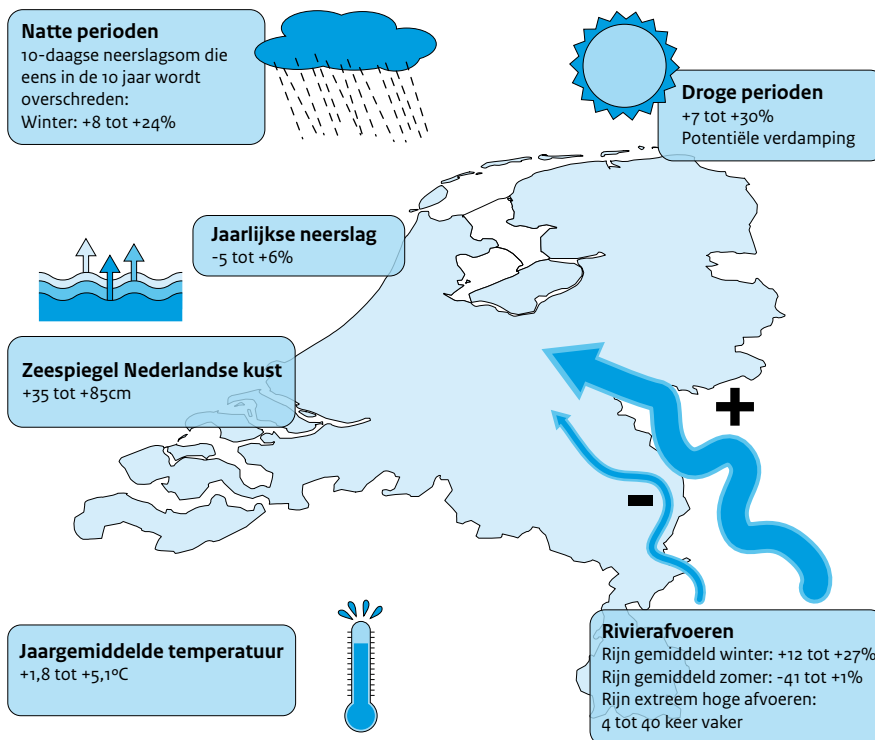
In combinatie met onzekerheden komt ook vaak de waarschijnlijkheid van de scenario's ter sprake. De KNMI'06-scenario's zijn waarschijnlijker dan de meer extreme scenario's zoals die van de Deltacommissie. Voor de afzonderlijke KNMI'06-scenario's is niet aan te geven welk ervan het meest waarschijnlijk is (KNMI 2009a). Wel is voor een beperkt aantal losse klimaatindices aan te geven welke scenario's meer waarschijnlijk zijn (KNMI 2009a). De snelle opwarming van Nederland wordt bijvoorbeeld beter weergegeven in de W- en W+-scenario's, terwijl de toename van de intensiteit van zware buien meer lijkt te verlopen volgens de G- en W-scenario's.

Gemiddelde temperatuur in Nederland blijft stijgen

Op basis van de KNMI'06-scenario's wordt in Nederland een stijging van de jaargemiddelde temperatuur verwacht van 0,9 tot 2,6°C rond 2050 (tabel 2.1) en van 1,8 tot 5,1°C rond 2100 (tabel 2.2) ten opzichte van het klimaat rond 1990. In de scenario's waarin de luchtcirculatie verandert (G+/W+), zullen de zomermaanden meer

Figuur 2.15

Mogelijke klimaatveranderingen 1990 – 2100, volgens KNMI'o6-scenario's



Bron: KNMI (2008, 2009a); Kwadijk et al. (2008)

opwarmen dan de wintermaanden; voor de scenario's zonder circulatieverandering is de ontwikkeling omgekeerd (tabel 2.1, tabel 2.2, figuur 2.17). Op dit moment is het niet mogelijk om aan te geven of de temperatuurverandering binnen Nederland uiteen zal lopen. Er zijn nu al ruimtelijke verschillen te zien over Nederland en naar verwachting blijven deze bestaan (KNMI 2009a).

Temperatuurextremen: meer hitte, minder kou

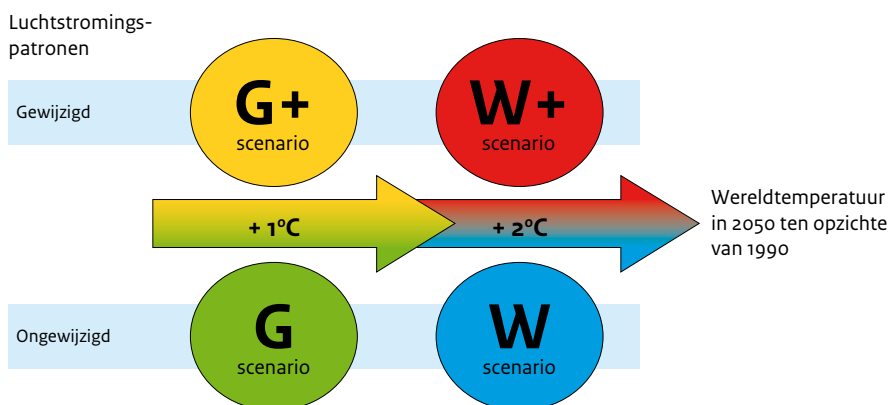
Projecties van mogelijke verschuivingen in extremen zijn onzekerder dan die voor gemiddelden. Dat geldt ook voor weer en klimaat. Wel kan een beperkte verschuiving van de gemiddelde temperatuur of de jaargemiddelde neerslag al tot grote veranderingen in weersextremen leiden, zelfs als de variabiliteit verder niet verandert.

Uit de vier KNMI'o6-scenario's blijkt dat de verwachte warme extremen kunnen toenemen (figuur 2.18), terwijl de verwachte koude extremen kunnen afnemen; dit is vooral het geval in de G+- en W+-scenario's. Rond De Bilt bijvoorbeeld is de verwachting dat het aantal tropische dagen³ per jaar toeneemt van 4 rond 1990 tot 7 tot 15

dagen per jaar rond 2050, en 10 tot 33 dagen rond 2100 (afhankelijk van het scenario) (http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/knmi06/gegevens/temperatuur/index.html#Inhoud_2). Periodes met extreem hoge temperaturen in de zomer doen zich onder andere voor doordat er minder neerslag valt. Hierdoor is de kans op uitdroging van de bodem groter, waardoor een verkoelende invloed van de verdamping weg valt (KNMI 2011). Dat de stijging van extreme zomertemperaturen het grootst is in de G+- en W+-scenario's, komt doordat deze scenario's frequentere oostenwinden laten zien, die meestal warm zijn. Vooral in W+-scenario's kan een zomer zoals die van 2003 bijna normaal zijn (KNMI 2008b, 2009b).

Tegelijk neemt in alle KNMI'o6-scenario's het aantal ijsdagen rond De Bilt af, van negen rond 1990 naar drie tot zes dagen per jaar in 2050 en één tot vier tot het eind van deze eeuw. Dus ook in een opwarmend klimaat kunnen opeenvolgende jaren met koude winters voorkomen, al zal dit wel minder vaak gebeuren. Koude winters in Nederland worden vooral veroorzaakt door (langdurige) periodes met een noordoostelijke wind, die koude lucht naar Nederland aanvoert, terwijl in de

Figuur 2.16
Overzicht van KNMI'o6-scenario's



Bron: KNMI (2011)

Tabel 2.1
Klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 volgens de vier KNMI'o6-scenario's

2050		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Verandering in luchtcirculatie		Nee	Ja	Nee	Ja
Jaargemid.	Gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,2°C	+1,8°C	+2,6°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-1%	+6%	-2%
	Referentie verdamping	+2%	+5%	+5%	+9%
Winter	Hoogste daggemiddelde windsnelheid, die 1x per jaar optreedt	0%	+2%	-1%	+4%
	Gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,1°C	+1,8°C	+2,3°C
	Koudste winterdag per jaar	+1,0°C	+1,5°C	+2,1°C	+2,9°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+4%	+7%	+7%	+14%
	Aantal natte dagen (met >= 0,1 mm)	+0%	+1%	+0%	+2%
	Tiendaagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+4%	+6%	+8%	+12%
Zomer	Gemiddelde temperatuur	+0,9°C	+1,4°C	+1,7°C	+2,8°C
	Warmste zomerdag per jaar	+1,0°C	+1,9°C	+2,1°C	+3,8°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+3%	-10%	+6%	-19%
	Aantal natte dagen (met >= 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%

Bron: KNMI (2006, 2009a); berekening jaarcijfers PBL

meeste winters een zuidwestelijke wind overheerst, met zachte lucht vanuit de Atlantische Oceaan. De afname in extreme koude winters is het kleinst in het G-scenario en het grootst in het W+-scenario (in G+- en W+-scenario komt de wind in de winter meer uit zuidwestelijke

richting). Al met al betekent dit dat volgens de KNMI'o6-scenario's hittegolven frequenter zullen voorkomen en de kans koude winters met een Elfstedentocht kleiner wordt, maar wel aanwezig blijft (Visser & Strengers 2010).

Tabel 2.1

Klimaatverandering in Nederland rond 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 volgens de vier KNMI'o6-scenario's

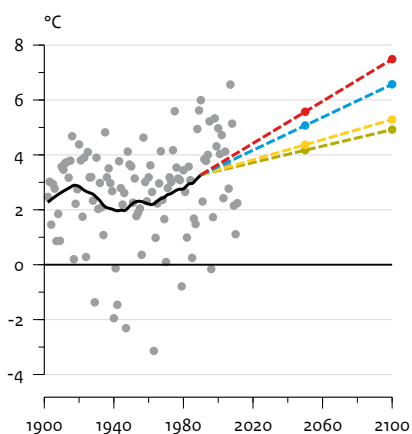
2100		G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging		+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtcirculatie		Nee	Ja	Nee	Ja
Jaargemid.	Gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,5°C	+3,5°C	+5,1°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-2%	+13%	-4%
	Referentie verdamping	+6%	+12%	+12%	+24%
Winter	Hoogste daggemiddelde windsnelheid, die 1x per jaar optreedt	-1%	+4%	-2%	+8%
	Gemiddelde temperatuur	+1,8°C	+2,3°C	+3,6°C	+4,6°C
	Koudste winterdag per jaar	+2,1°C	+2,9°C	+4,2°C	+5,8°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+7%	+14%	+14%	+28%
	Aantal natte dagen (met >= 0,1 mm)	+0%	+2%	+0%	+4%
	Tiendaagse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+8%	+12%	+16%	+24%
Zomer	Gemiddelde temperatuur	+1,7°C	+2,8°C	+3,4°C	+5,6°C
	Warmste zomerdag per jaar	+2,1°C	+3,8°C	+4,2°C	+7,6°C
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid	+6%	-19%	+12%	-38%
	Aantal natte dagen (met >= 0,1 mm)	-3%	-19%	-6%	-38%
	Dagelijkse neerslaghoeveelheid die eens in de 10 jaar wordt overschreden	+27%	+10%	+54%	+20%
	Referentie verdamping	+7%	+15%	+14%	+30%

Bron:KNMI (www.knmi.nl/klimaatsscenarios/knmio6/samenvatting), berekening jaarcijfers PBL

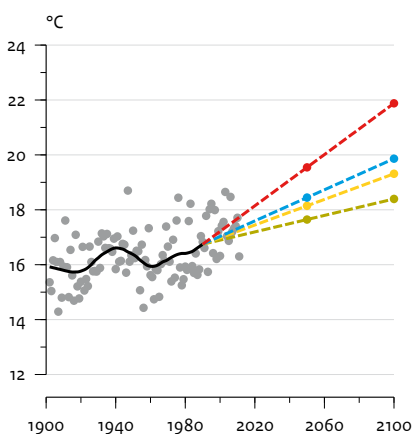
Figuur 2.17

Temperatuur in De Bilt

Winter



Zomer

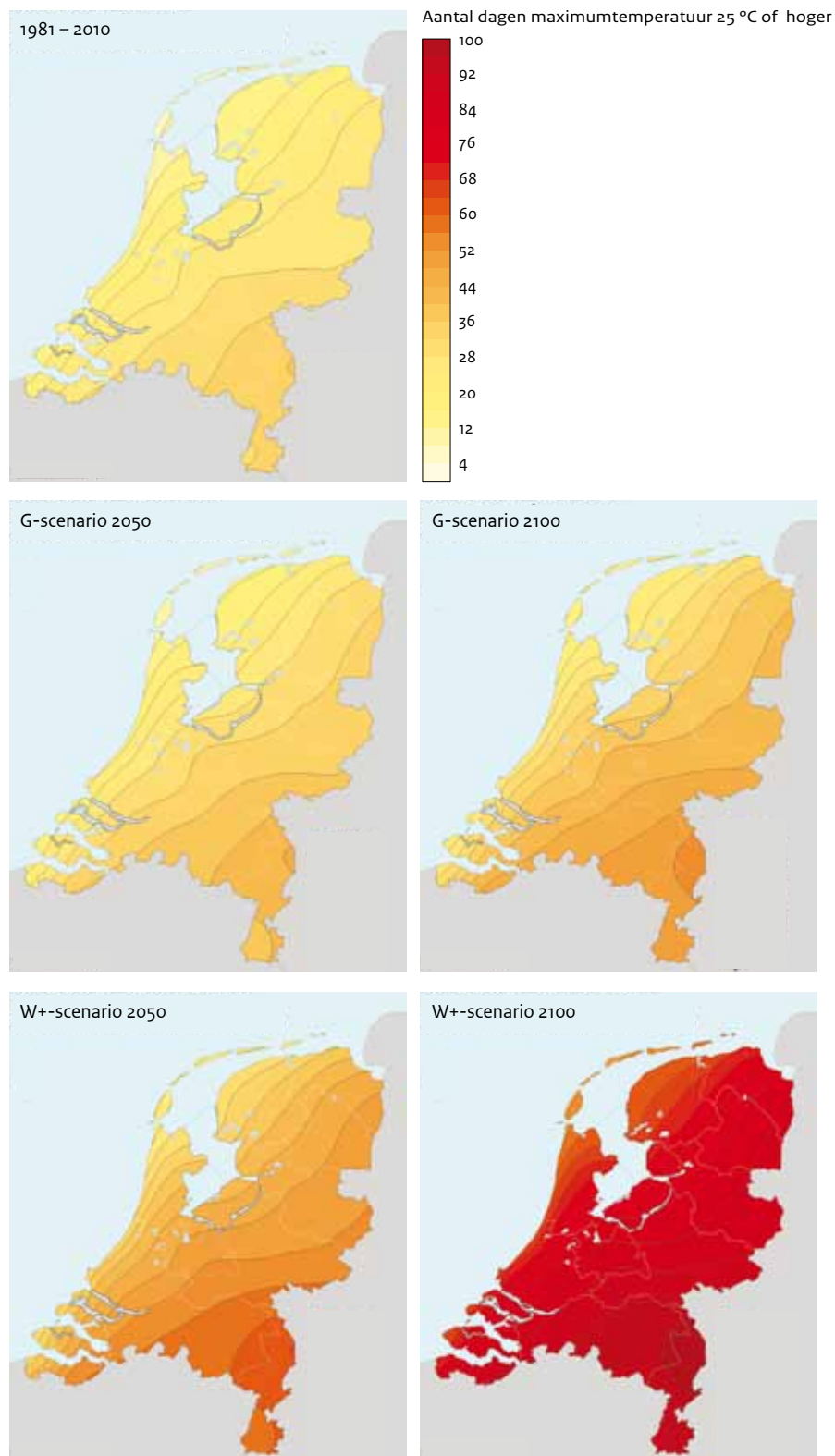


- Waarnemingen
- Voortschrijdend gemiddelde (30 jaars)
- G-scenario
- G+-Scenario
- W-scenario
- W+-scenario

Bron: KNMI (2006)

De wintertemperatuur neemt toe in de G- en W-scenario's, terwijl in de G+- en W+-scenario's vooral de zomertemperatuur stijgt.

Figuur 2.18
Aantal zomerse dagen per jaar



Bron: KNMI (2009b)

Het aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) gemiddeld voor de periode 1976-2005 (links), rond 2050 (midden) en 2100 (rechts) voor het G-scenario (boven) en het W+-scenario (onder). De twee scenario's geven de bandbreedte aan van veranderingen binnen de KNMI'o6-scenario's.

Neerslag in de winter neemt naar verwachting toe; het beeld is onduidelijk voor de zomer

Hoe de neerslag in Nederland deze eeuw mogelijk zal veranderen, hangt naar verwachting sterk af van veranderingen, of niet, in de luchtcirculatie (zie tabel 2.1; Lenderink & Van Meijgaard 2008). Als de stroming min of meer onveranderd blijft, zal de jaarlijkse neerslag gemiddeld over Nederland naar verwachting stijgen met 3 tot 6 procent tot 2050, en met 6 tot 13 procent tot 2100. Verandert de luchtcirculatie wel, dan kan dit leiden tot een daling met 1 tot 2 procent van de jaarlijkse neerslag rond 2050, en met 2 tot 4 procent rond 2100 (KNMI 2009b).

Deze onzekerheid heeft vooral te maken met de onzekerheid rond de zomerse neerslagverandering. Klimaatmodellen geven aan dat de zomerse neerslag ten noorden van Nederland zal toenemen, en ten zuiden van Nederland zal afnemen. Nederland ligt dus in een overgangsgebied. Hierdoor kan een luchtcirculatie waarbij in de zomer meer lucht wordt aangevoerd vanuit het oosten of zuidoosten, leiden tot een afname van de zomerse neerslag. Verandert de luchtcirculatie niet, dan wordt juist een (lichte) stijging mogelijk (figuur 2.19). Voor de winter geven alle vier KNMI'06-scenario's een consistent beeld: een toename van de neerslag (tabel 2.1; figuur 2.19). Daarnaast geven alle scenario's aan dat er 's zomers mogelijk minder neerslagdagen zullen zijn. Dit geldt ook voor de scenario's waarin de totale zomerse neerslag stijgt (G- en W-scenario's).

Ook voor de neerslag geldt dat het niet mogelijk is een ruimtelijke differentiatie aan te brengen in mogelijke neerslagverandering, behalve voor neerslagextremen in de zomer. Dit komt door de ruimtelijke resolutie van de klimaatmodellen en onze kennis over het klimaatsysteem.

Hevigheid regen zal naar verwachting toenemen, vooral in kustregio's

De vier KNMI'06-klimaatscenario's laten voor alle seizoenen – ook voor de zomer – een stijging zien in de hevigheid van zware buien (figuur 2.20; KNMI 2009b, 2011). Zo kan tot 2100 de dagelijkse zomerse neerslag die maar eens in de tien jaar valt, toenemen met 10 procent (G+) tot 54 procent (W) (tabel 2.1; tabel 2.2). Een toenemende hevigheid van de zomerse neerslag is dus ook mogelijk in de scenario's waarin een daling wordt verwacht van de gemiddelde zomerse neerslag en het aantal regendagen (G+- en W+- scenario's) (KNMI 2009b). Een stijging van de extreme neerslag is mogelijk omdat de lucht bij opwarming meer water bevat (figuur 2.21). En als het dan begint te regenen, kan de hevigheid van de buien toenemen, en daarmee de mogelijke wateroverlast (zie hoofdstuk 3).

De scenario's verschillen in de mogelijke veranderingen in extreme neerslag in de verschillende seizoenen. De scenario's waarin de luchtcirculatie niet verandert (G- en W-scenario's), laten de grootste toename in regenintensiteit zien voor de zomers (tabel 2.1; tabel 2.3). De toename is groter dan de veranderingen in de gemiddelde neerslag. Voor de winters is de mogelijke toename juist het grootst in de scenario's waarin de luchtcirculatie verandert (G+- en W+- scenario's) (tabel 2.1). De hevigheid van zware buien over langere periodes (bijvoorbeeld de tiendaagse winterneerslag) zal dan min of meer even veel toenemen als de gemiddelde winterneerslag (KNMI 2009a). Dit is van belang voor de afvoer van rivieren, zoals de Rijn.

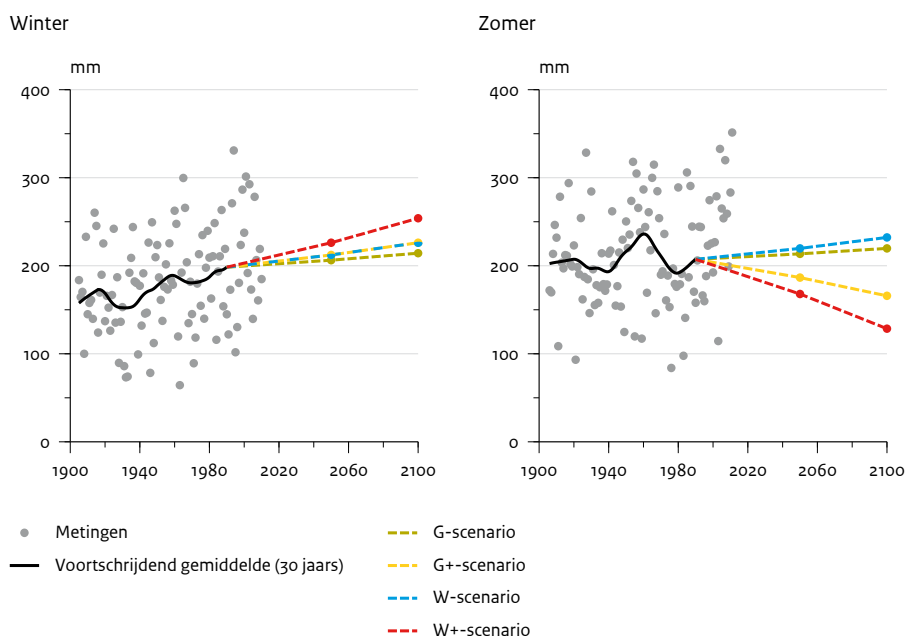
Extreme neerslag in de zomer is één van de weinige klimaatvariabelen waarvoor een ruimtelijke differentiatie kan worden gegeven voor de mogelijke verandering naar de toekomst (KNMI 2009a). Dit komt door de invloed van de Noordzee. Door de hogere temperaturen verdampt daar meer vocht, dat vervolgens met westelijke circulatie als neerslag naar ons land wordt gevoerd. De extreme neerslag in de zomer zal naar verwachting dan ook in kustregio's van ons land meer toenemen dan in het binnenland. Voor andere seizoenen is op dit moment niet duidelijk of de veranderingen per regio zullen verschillen.

Toenemend neerslagtekort en toenemende droogte

Droogte treedt op als de verdamping van water groter is dan de hoeveelheid beschikbaar water in de bodem. Het (maximale) neerslagtekort⁴ kan ook gebruikt worden als indicator voor droogte: de neerslag minus de potentiële verdamping over een langere periode (KNMI 2010).

Het maximale neerslagtekort gemiddeld over een aantal jaren stijgt in alle vier KNMI'06-scenario's (figuur 2.22; tabel 2.1; tabel 2.2). Hierbij is de stijging het grootst in de G+- en W+-scenario's, waarin de temperatuur stijgt – en daarmee de verdamping toeneemt – terwijl de neerslag afneemt. In het W+-scenario neemt dat neerslagtekort mogelijk toe van gemiddeld 144 millimeter per jaar gedurende de afgelopen eeuw naar gemiddeld 220 millimeter per jaar rond 2050 (+50 procent) en zelfs ruim 290 millimeter per jaar (+100 procent) rond 2100 (KNMI 2009b). Het mogelijke neerslagtekort gemiddeld over een aantal jaren zal in 2100 nog wel minder groot zijn dan in 1976, toen het hoogste neerslagtekort in de afgelopen eeuw (361 millimeter) werd waargenomen. Ook in de toekomst zullen zeer droge jaren voorkomen. Het is de verwachting dat het neerslagtekort dan vooral stijgt als de luchtcirculatie verandert. Onder het W+-scenario kan dit extreme neerslagtekort in individuele, droge jaren toenemen tot 440 millimeter (Van Beek et al. 2008). De toename in neerslagtekort in de scenario's waarin de

Figuur 2.19
Neerslag in Nederland



Bron: KNMI (2006)

Voor de winterneerslag (links) in Nederland laten de scenario's een eenduidige trend zien. De trend voor zomerneerslag (rechts) is meer divers.

Tabel 2.3

Neerslagextremen (in mm) in De Bilt in het huidige en mogelijk toekomstige klimaat voor de vier KNMI'06-scenario's, rond 2050

Neerslagperiode	1 uur					1 dag					10 dagen				
	Huidig	G	G+	W	W+	Huidig	G	G+	W	W+	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

Bron: KNMI (2009a)

De tabel moet zo gelezen worden dat er bijvoorbeeld gemiddeld eens in de 100 jaar 43mm neerslag valt in een uur bij het huidige klimaat en 53 mm (+23 procent) in 2050 bij het W-scenario.

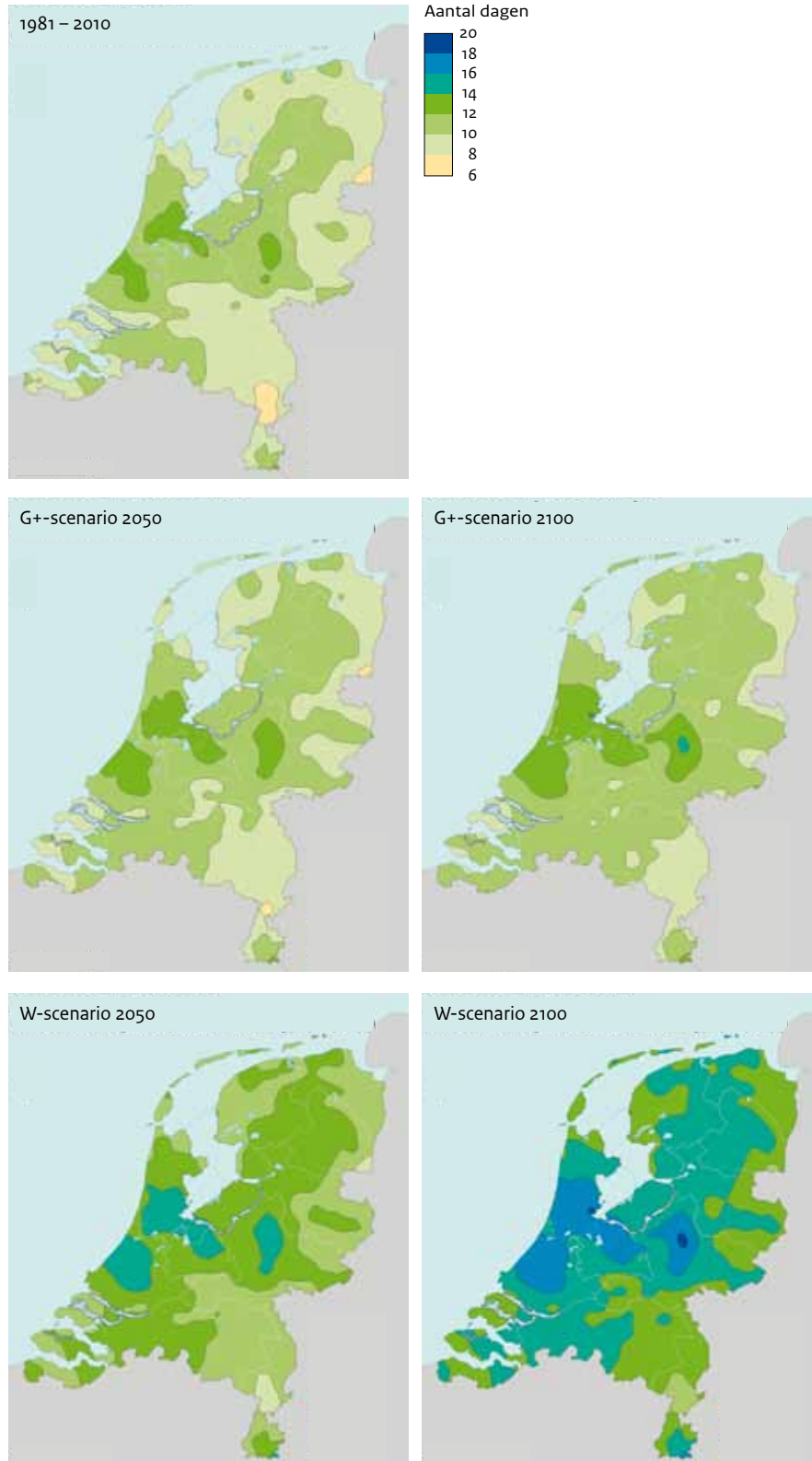
circulatie niet verandert (G-/W-scenario), is beperkt tot maximaal 10 procent in 2050.

Door het toenemende neerslagtekort – in combinatie met lagere rivierafvoeren (zie hoofdstuk 3) – zullen naar verwachting in veel delen van Nederland ook droogteperiodes frequenter en intensiever worden, vooral in de G+- en W+-scenario's (Kwadijk et al. 2008). Een zomer als in 2003 – die nu als droog ervaren wordt

– zou rond 2050 onder het W+-scenario vrij normaal kunnen zijn (KNMI 2009b).

De ruimtelijke verschillen voor het toekomstige maximale neerslagtekort in de KNMI'06-scenario's (figuur 2.22) worden veroorzaakt door de al aanwezige ruimtelijke verschillen in het huidige klimaat. Doordat er aan de kust minder neerslag valt en de verdamping (iets) groter is, is het maximale tekort en de kans op droogte daar groter dan in het binnenland (figuur 2.22; KNMI 2009b).

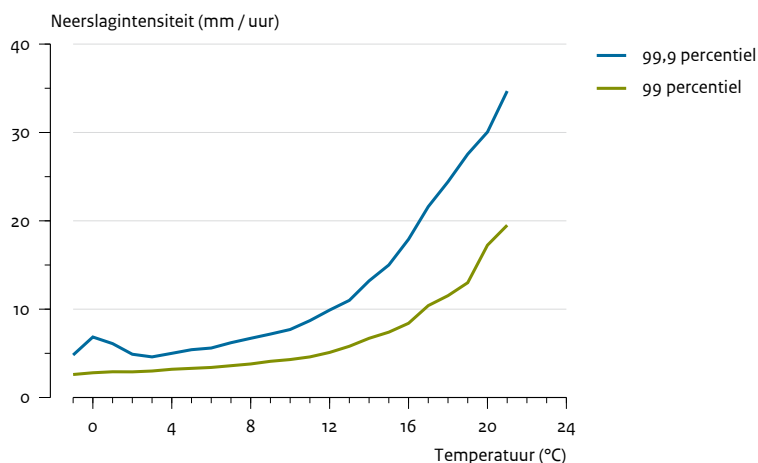
Figuur 2.20
Aantal dagen per jaar met 15 mm neerslag of meer



Bron: KNMI (2009b)

Het aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in de periode 1976-2005 (linksboven), rond 2050 (midden) en 2100 (rechts) voor het gematigde G+-scenario (midden) en het warme W-scenario (onder). De twee scenario's geven de bandbreedte aan van veranderingen binnen de KNMI'06-scenario's.

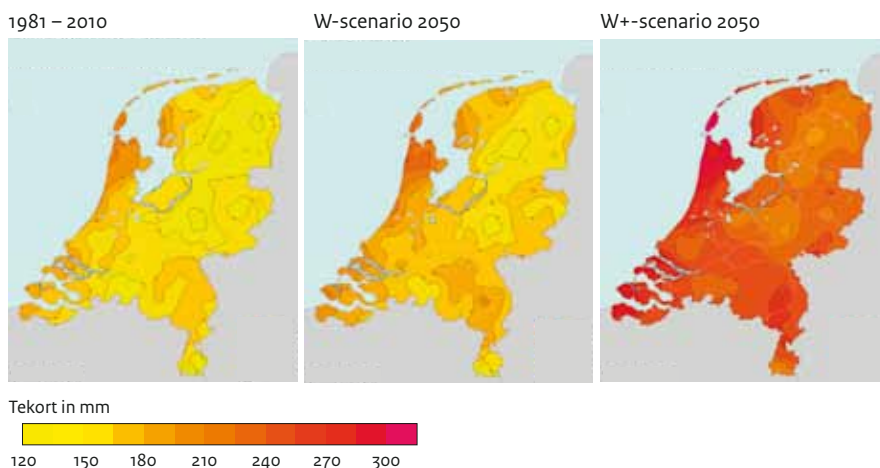
Figuur 2.21
Neerslagintensiteit naar dagtemperatuur



Bron: KNMI (2009a)

De 99 en 99,9 percentielen zijn de extremen die gemiddeld eens per 100 en eens per 1.000 neerslaguren worden overschreden. Bij hogere temperaturen (in zomerhalvjaar) neemt de extreme buienintensiteit sterk toe met de temperatuur (ongeveer 14% per °C).

Figuur 2.22
Maximaal neerslagtekort per jaar



Bron: KNMI (2011)

Het maximale neerslagtekort (ofwel potentieel neerslagtekort; april-september) per jaar neemt in alle scenario's toe.

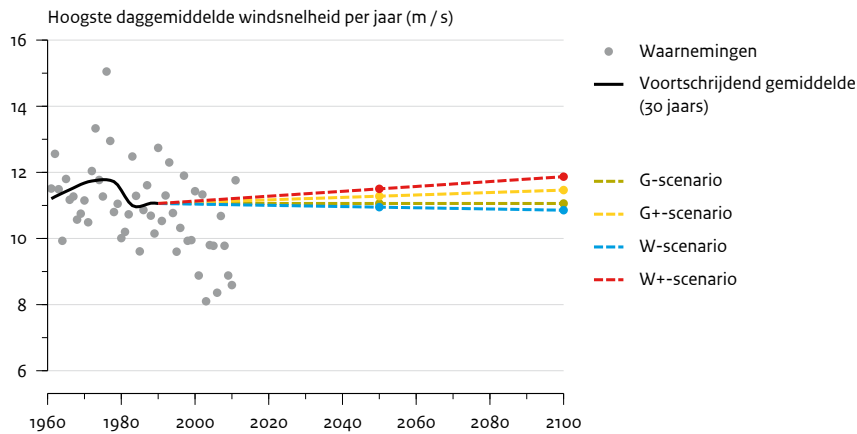
Veranderingen in wind en stormen klein en onzeker

De vier KNMI'o6-scenario's laten een zeer kleine afname (<1 procent per graad temperatuurstijging in de wereld) tot beperkte toename (+2 procent per graad mondiale temperatuurstijging) zien van de windsterkte in de winter. Zo kan de hoogste daggemiddelde windsnelheid die maar eens per winter optreedt, tot 2100 dalen met 2 procent of stijgen met 4 tot 8 procent (figuur 2.23;

tabel 2.1; tabel 2.2). Een daling zoals waargenomen in de afgelopen decennia, zet dan ook mogelijk niet door. De veranderingen zijn klein ten opzichte van de waargenomen jaar-tot-jaarvariaties en natuurlijke schommelingen op lange termijn (figuur 2.23).

Nader onderzoek naar de achterliggende processen is nodig om meer te kunnen zeggen over de frequentie van

Figuur 2.23
Windsnelheid in De Bilt



Bron: KNMI (2006)

toekomstige stormen, inclusief het voorkomen van zeer zware stormen (die zeer weinig optreden maar wel grote gevolgen hebben, zoals de storm in 1953). Op dit moment zijn er geen aanwijzingen voor meer en/of sterkere stormen uit noordelijke of noordwestelijke richting, die zorgen voor grote wateropstuwing langs de Nederlandse kust (KNMI 2009b). Overigens is het wel zo dat de verwachte waterstand bij stormvloed zal toenemen als gevolg van de geprojecteerde zeespiegelstijging (zie ook hoofdstuk 3).

Noten

- 1 Daarnaast bepalen afstand en stand ten opzichte van de zon de cycli over eeuwen, millennia en langer.
- 2 Weer en klimaat zijn niet hetzelfde. Het weer is de toestand van de atmosfeer op een bepaald moment, het klimaat is het gemiddelde weer over een langere periode, meestal 20 tot 30 jaar (KNMI 2011)
- 3 Tropische dagen hebben een maximumtemperatuur van 30°C of hoger.
- 4 Neerslagtekort is de som van de neerslag minus de potentiële verdamping over een periode vanaf 1 april. Het grootste tekort wordt meestal bereikt aan het eind van een zomer (het maximale neerslagtekort). Neerslagtekort wordt vaak gebruikt als indicatie voor droogte.

Effecten rond waterveiligheid, -beschikbaarheid en -kwaliteit

Waargenomen veranderingen

- De zeespiegel voor de Nederlandse kust is de afgelopen eeuw circa 20 centimeter gestegen. Tot op heden is geen versnelde zeespiegelstijging aantoonbaar.
- De *gemiddelde* afvoeren van de Nederlandse rivieren zijn meetbaar toegenomen in de winter en afgenomen in de zomer. Voor de *piekafvoeren* is geen trend waarneembaar. Recent is gebleken dat ook omstandigheden die niet extreem zijn tot dreigende situaties kunnen leiden. Zo veroorzaakte de combinatie van storm en een forse Rijnafvoer in januari 2012 een zodanig overstromingsrisico voor de Drechtsteden dat de rivierafvoer naar de Zuidwestelijke delta werd afgeleid.
- Door de toename aan piekbuien zijn de risico's op wateroverlast in zowel het stedelijk als landelijk gebied de afgelopen decennia toegenomen. Dit brengt nu al opgaves met zich mee voor de inrichting van de watersystemen in het stedelijk en landelijk gebied.
- Voor de afname van de waterbeschikbaarheid en de toename van droogteperiodes zijn – ondanks waargenomen trends voor neerslag en temperatuur – geen trends in de extremen waarneembaar.
- Gekoppeld aan de stijging van de luchttemperatuur is ook de watertemperatuur van regionale wateren, rivieren en de Noordzee gestegen. De stijging van de watertemperatuur versterkt de al bestaande problemen op het gebied van eutrofiëring en ecologische kwaliteit.

Mogelijke toekomstige veranderingen

- De marges voor de mogelijke zeespiegelstijging tot 2100 zijn groot. Op basis van de KNMI'06-scenario's kan deze voor Nederland liggen tussen 15 en 35 centimeter tot 2050 en tussen 35 en 80 centimeter tot 2100. Zogenaemde worst case-scenario's (extreme ontwikkeling met een zeer kleine kans) geven een extreme zeespiegelstijging aan van 105 centimeter in 2100.
- De toekomstige zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is vooral voor de periode na 2100 mede afhankelijk van de veranderende zwaartekracht door afsmeltend landijs. Netto zal Nederland door het afsmelten van de ijskappen van Groenland en Antarctica waarschijnlijk te maken krijgen met een minder sterke zeespiegelstijging dan mondiaal gemiddeld.
- Voor zowel de Rijn als de Maas wordt een verdere toename van de piekafvoeren verwacht en een verdere afname van de zomerafvoeren. Wat op termijn als maatgevende hoogwaterafvoer bij de Rijn geldt (18.000 kubieke meter per seconde), kan tot 2100 vijf tot vijftig keer vaker optreden dan nu. Het toekomstige risico voor Nederland van hogere piekafvoeren door de Rijn is echter in grote mate afhankelijk van het veiligheidsbeleid bovenstrooms. Door lagere veiligheidsnormen bovenstrooms zal – bij ongewijzigd beleid hier – de hoogwatergolf die Nederland via de Rijn bereikt, gedempt worden.
- Door meer frequente extreme neerslag zal de kans op wateroverlast verder toenemen, zowel in het stedelijk

als landelijk gebied. In hoeverre de wateroverlast daadwerkelijk zal toenemen, zal sterk afhangen van de inrichting van het stedelijk en landelijk gebied en de werking van de stedelijke en regionale watersystemen.

- Over de verwachte ontwikkelingen rond droogte bestaan nog grote onzekerheden: deze kunnen maar beperkt veranderen (G- en W- scenario's) of in de drogere G+- en W+- scenario's sterk toenemen. De rivierafvoeren en de waterbeschikbaarheid in de regionale watersystemen nemen vooral af in het W+-scenario van het KNMI, en zouden – uitgaande van het huidige gebruik en de huidige waterinfrastructuur – rond 2050 tot knelpunten in de zoetwatervoorziening kunnen leiden.
- Scenariostudies laten zien dat de verzilting zal toenemen in de kustgebieden van Zuidwest- en Noord-Nederland en dat sommige inlaatpunten in West-Nederland te maken kunnen krijgen met frequentere en langere overschrijding van de zoutnormen, vooral in zeer droge jaren met lage rivierafvoeren. De verwachting is dat de verzilting via het grondwater niet noemenswaardig zal veranderen als gevolg van klimaatverandering.
- Onzekerheden rond toekomstige, watergerelateerde veranderingen worden vooral bepaald door scenario-onzekerheden en statistische onzekerheden. Met name rond de langetermijn-zeespiegelstijging geeft de nog beperkte kennis over het afsmeltgedrag van het landijs op de polen een grote onzekerheid over de mogelijke zeespiegelstijgingsscenario's.

3.1 Inleiding

Nederland is een delta, waar vier bevaarbare rivieren de Noordzee instromen: Rijn, Maas, Schelde en Eems. Water is overal om ons heen en omgaan met dit water is bepalend geweest voor de ontwikkeling van ons land. Zo hebben wij ons met dijken beschermd tegen een teveel aan water, en we hebben een uitgebreid waternetwerk ontworpen gericht op het beheersen van het water en het voorkomen van wateroverlast en droogte. En in het zomerseizoen zijn we voor onze zoetwatervoorziening voor een belangrijk deel afhankelijk van het water dat via de Rijn ons land binnenstroomt.

De opgaven rond water verschillen in de lager en hoger gelegen gebieden in Nederland. In Laag-Nederland komen veel van deze uitdagingen samen: veiligheid tegen overstroomingen, wateroverlast, droogte, verzilting en waterkwaliteit. In Hoog-Nederland speelt in relatie tot klimaatverandering vooral de problematiek rond overlast en droogte. In dit hoofdstuk analyseren we de problematiek van het water in relatie tot de klimaatverandering. Daarbij kijken we naar de waterveiligheid,

de waterbeschikbaarheid en de waterkwaliteit. We kijken terug (welke veranderingen zijn al waargenomen?) en vooruit (welke veranderingen komen er mogelijk op ons af?). De vooruitblik is gebaseerd op de KNMI'o6-scenario's (hoofdstuk 2) en – waar relevant – op enkele meer extreme scenario's. Ook geven we voor elk van de onderwerpen aan waar de onzekerheden liggen.

3.2 Veiligheid tegen overstroming

Inleiding

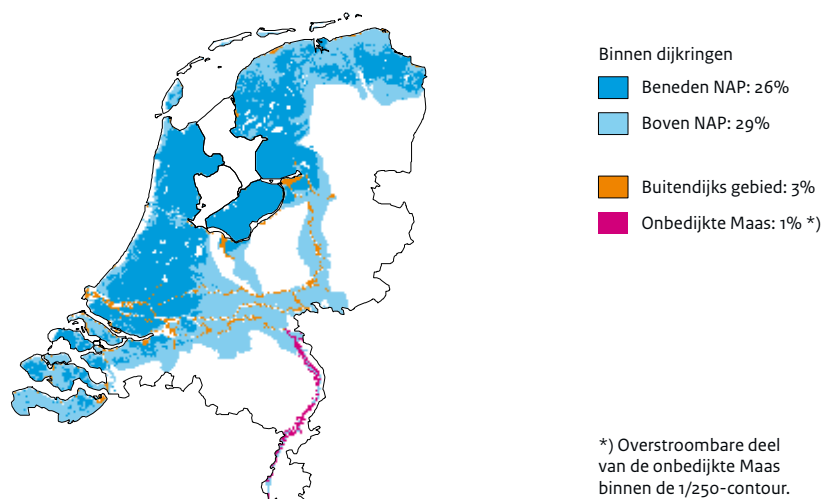
Bijna 60 procent van Nederland is overstromingsgevoelig (figuur 3.1; PBL 2009). 55 procent van dit gebied omvat het binnendijs gebied, dat is beschermd door duinen en dijken, en 3 procent is buitendijs gebied, dat niet wordt beschermd door waterkeringen. Wat betreft overstromingen kan klimaatverandering de veiligheid van Laag-Nederland op verschillende manieren beïnvloeden. Zo zijn zeespiegelstijging, al dan niet in combinatie met een mogelijke veranderende stormintensiteit boven zee, en mogelijk toenemende piekafvoeren van rivieren belangrijke factoren die de kans op en de omvang van overstromingen kunnen doen toenemen. Hiervoor hoeven situaties niet extreem te zijn. Zo veroorzaakte de combinatie van storm en een forse rivierafvoer in januari 2012 een overstromingsrisico voor de Drechtsteden. De situatie was dermate ernstig dat de waterafvoer van de Rijn moest worden afgeleid via het Volkerak. De kans op dergelijke situaties kan toenemen als klimaatverandering vaker tot hogere rivierafvoeren leidt (Klijn et al. 2010). De beschermingsopgave neemt ook toe, doordat de bevolking en de economische waarde in het overstromingsgevoelige gebied sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw sterk zijn gestegen. Naar verwachting zal deze opgave de komende decennia nog met een factor twee tot drie toenemen, afhankelijk van de groei van de bevolking en de economie (PBL 2007; PBL 2011; Te Linde et al. 2011). Op basis van de toegenomen potentiële economische schade en het risico op slachtoffers wordt op dit moment binnen het Deltaprogramma bekeken of, en in hoeverre, het veiligheidsbeleid zou moeten worden aangepast (Deltaprogramma 2010, 2011).

Zeespiegelstijging

Zeespiegel in de afgelopen eeuw ongeveer 20 cm gestegen; tot op heden geen versnelling langs de Nederlandse kust

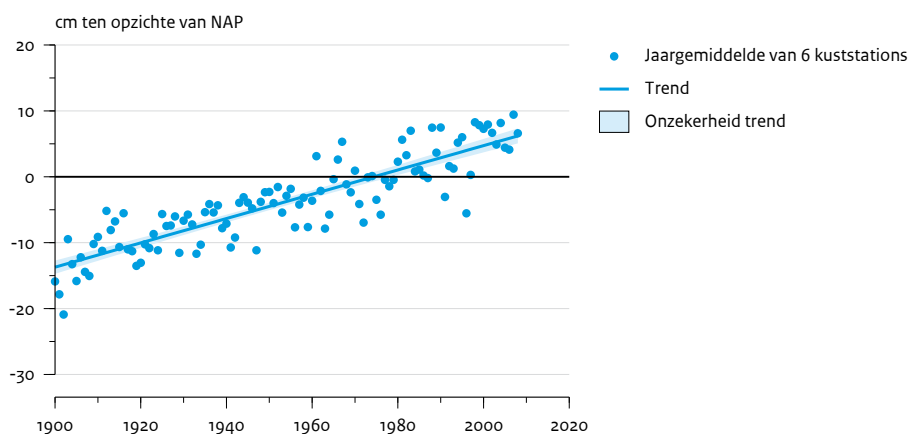
Wereldwijd is de zeespiegel in de twintigste eeuw gestegen met ongeveer 17 centimeter; dat is gemiddeld 1,7 millimeter per jaar (IPCC 2007, 2011). In de Noordzee langs de Nederlandse kust bedroeg de stijging rond de 20 centimeter (Katsman et al. 2008; Dillingh et al. 2010; CBS et al. 2011a; figuur 3.2). Belangrijke oorzaken van de

Figuur 3.1
Overstromingsgevoelig gebied, 2005



Bron: PBL (2009)

Figuur 3.2
Zeespiegel aan kust van Nederland



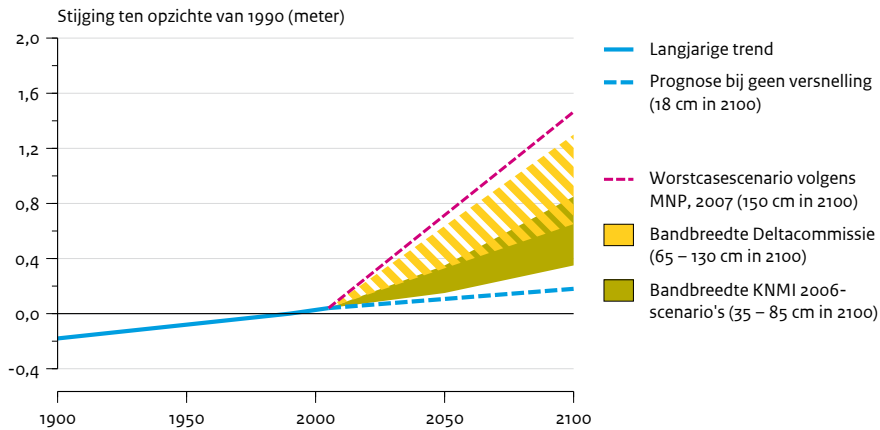
Bron: CBS et al. (2011a)

De zeespiegel voor de Nederlandse kust is de afgelopen eeuw gemiddeld met circa 20 cm gestegen ten opzichte van NAP. Er is geen versnelling van de stijging waarneembaar.

zeespiegelstijging zijn de uitzetting van het oceanwater (door de hogere zeewatertemperatuur) en het afsmelten van landijs op Groenland en de Zuidpool/ Antarctica en van gletsjers. Het afsmelten van de ijskappen van Groenland en Antarctica draagt momenteel naar schatting voor 0,5 millimeter per jaar bij aan de totale zeespiegelstijging (Katsman et al. 2008).

De wereldgemiddelde zeespiegel stijgt de laatste decennia sneller dan daarvoor, namelijk met ongeveer 3 millimeter per jaar sinds 1993 (Katsman et al. 2008). Omdat deze waarnemingenreeks op basis van satellietgegevens kort is, is het nog onduidelijk of hier daadwerkelijk sprake is van een trendbreuk of dat deze versnelling tijdelijk van aard is.

Figuur 3.3
Zeespiegelstijging



Bron: PBL (2009)

Een versnelling van de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust is tot op heden niet waargenomen (Katsman et al. 2008; Dillingh et al. 2010). Wel opvallend is dat zich zelfs langs een betrekkelijk korte Nederlandse kust grote verschillen voordoen in de zeespiegelstijging; voor de twintigste eeuw loopt deze uiteen van 13 centimeter bij Harlingen tot 24 centimeter bij Hoek van Holland (CBS et al. 2011a). Deze geografische variatie hangt deels samen met menselijke ingrepen – vooral ontwikkelingen in het Waddengebied als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee en baggerwerkzaamheden. Verder zijn ook de jaar-op-jaarvariaties in de zeespiegelstand aanzienlijk. Die variaties worden veroorzaakt door verschillen in windsnelheid, luchtdruk, watertemperatuur en zoutgehalten onder invloed van de instroom van rivieren. Ten slotte brengen wisselende afstanden tot de maan variaties met zich mee van enkele centimeters (een cyclus van ruim 18 jaar).

Grote onzekerheid rond toekomstige zeespiegelstijging

Hoe de zeespiegel zich verder zal ontwikkelen, is onzeker. Dit komt doordat er kennisleemtes zijn over het klimaatsysteem en over het smeltgedrag van de ijskappen op Groenland en West-Antarctica. Daarnaast hebben we te maken met onzekerheden over de toekomstige uitstoot van broeikasgassen IPCC 2007; IPCC 2011; Dilling et al. 2010; EEA 2012). Wel geven alle scenario's een versnelling weer ten opzichte van de huidige zeespiegelstijging (KNMI 2006; PBL 2007; Deltacommissie 2008). Hoe hoog de mogelijke zeespiegelstijging is, verschilt tussen de scenario's (figuur 3.3). Alle scenario's geven ook aan dat de versnelde zeespiegelstijging nog vele decennia en zelfs eeuwen kan doorgaan. Immers, veel factoren die invloed hebben op

de zeespiegel – bijvoorbeeld het afsmelten van de ijskappen in de wereld en het opwarmen van de zee –, reageren langzaam op veranderingen in het klimaat. Ook als emissiebeperkingen ertoe leiden dat de temperatuur minder stijgt, zal dit dus pas na vele decennia en zelfs eeuwen een effect hebben op de zeespiegel (zie onder andere IPCC 2007, 2011).

KNMI'06-scenario's

De KNMI'06-scenario's geven een mogelijke zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust van 15 tot 35 centimeter tot 2050 en 35 tot 85 centimeter tot 2100 (figuur 3.3; tabel 3.1). In de periode na 2100 zal de zeespiegel naar verwachting blijven doorstijgen en mogelijk uitkomen op circa 1 tot 2,5 meter in 2300. In deze schattingen is de uitzetting van het zeewater meegenomen, evenals de verandering van oceaanstromingen in de Atlantische Oceaan, het smelten van gletsjers en kleine ijskappen en het slinken van de grote ijskappen op Groenland en Antarctica (KNMI 2006; Katsman et al. 2011a).

Niet meegenomen in de KNMI'06-scenario's is het mogelijk effect van de verandering in zwaartekracht of gravitatie als gevolg van het afsmelten van landijsmassa's op Groenland, Antarctica, gletsjers en kleine ijsmassa's (zie tekstbox 3.1 over het gravitatie-effect). Toen deze scenario's werden opgesteld, bestond er nog grote onzekerheid over de grootte van dit gravitatie-effect. Inmiddels is de verwachting dat Nederland door het afsmelten van de ijskappen waarschijnlijk te maken zal krijgen met een minder sterke zeespiegelstijging dan mondiaal gemiddeld. Dit komt doordat Nederland relatief dicht bij Groenland ligt. Uitgaande van de huidige

Tabel 3.1

KNMI'o6-scenario's voor zeespiegelstijging in 2050 en 2100 (in cm)

		G/G+		W/W+	
		2050	2100	2050	2100
Wereldwijde temperatuurstijging 2100		+1°C	+2°C	+2°C	+4°C
Zeespiegel	Stijging voor Nederlandse kust zonder bodemdaling (=absolute stijging)	15-25 cm	35-60 cm	20-35 cm	40-85 cm
	Stijging voor Nederlandse kust, gecorrigeerd voor gravitatie-effect (gebaseerd op Katsman et al. 2008)	15-25 cm	30-55 cm	20-35 cm	40-80 cm

Bron: KNMI (2006), Katsman et al. (2008, 2011a)

kennis en scenario's zal het afsmelten van ijskappen resulteren in een zeespiegelstijging die langs de Nederlandse kust netto kleiner is dan het mondiale gemiddelde. In een extreem scenario bijvoorbeeld zal de mogelijke zeespiegelstijging rond 2200 daardoor niet op 2 tot 4 meter uitkomen (Deltacommissie 2008), maar respectievelijk 40 tot 60 cm lager (Katsman et al. 2011). Tot 2100 zal het gravitatie-effect beperkt zijn: de zeespiegelstijging volgens de KNMI'o6-scenario's zal voor de Nederlandse kust maximaal 5 centimeter lager uitkomen (Katsman et al. 2011b; tabel 3.1). Dit komt doordat tot 2100 afsmeltende ijskappen slechts beperkt bijdragen aan de mondiale zeespiegelstijging (ten opzichte van andere factoren die de zeespiegelstijging bepalen).

Ook is in de KNMI-scenario's niet meegenomen dat een afzakken of zelfs wegvallen van de warme golfstroom de zeespiegel voor de Nederlandse kust kan verhogen. Dit omdat het volstrekt onduidelijk is wat de golfstroom gaat doen. In het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan, inclusief Nederland, zou de warme golfstroom op de termijn tot 2100 een extra stijging van 0 (bij geen verandering) tot ongeveer 20 centimeter (beste schatting 3 centimeter) tot gevolg kunnen hebben (Katsman et al. 2008, 2011b), en tot 2200 een stijging van 0 tot 60 centimeter (bij volledig wegvallen van de golfstroom). Vanwege de onzekerheid wordt deze volledige bandbreedte meegenomen in de toekomstige scenario's rond zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust (zie ook Katsman et al. 2011b).

Worst case-scenario's: extreme zeespiegelstijging met hele kleine kans

De KNMI'o6-klimaatscenario's geven een mogelijk beeld van de zeespiegelstijging dat past binnen een reikwijdte van 80 procent van het toekomstige klimaat (KNMI 2006). Dat betekent dat extreem hoge en zeer beperkte zeespiegelstijging niet zijn meegenomen, omdat deze zeer onwaarschijnlijk zijn. De extreem hoge maar zeer onwaarschijnlijke zeespiegelstijging is wel meegenomen in enkele andere studies, die de mogelijke risico's voor

Nederland in dergelijke situaties beschouwen. De extreme scenario's moeten dan ook worden gezien als aanvulling op – en niet vervanging van – de KNMI'o6-scenario's. Mogelijke oorzaken van een sterk versnelde zeespiegelstijging zijn het versneld afsmelten en/of afkalven van de grote ijskappen van Groenland en Antarctica (dit zou tot 20 centimeter extra stijging kunnen leiden in 2100) en een grotere mondiale temperatuurstijging – p tot 6°C in 2100).

In 2007 heeft het PBL samen met het KNMI plausibele extreme scenario's voor de zeespiegelstijging bekeken. Op basis van paleogegevens in de literatuur – werd toen een stijging met 1,5 meter per eeuw als indicatie gegeven voor een *worst case*-zeespiegelstijging voor Nederland (MNP 2007). Een andere extreme projectie is die van de Deltacommissie (Deltacommissie 2008; Vellinga et al. 2008), met een geschatte zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust van 55 tot 120 centimeter in 2100 (exclusief een bodemdaling van 10 centimeter) en 200 tot 400 centimeter in 2200.

Zoals hiervoor gemeld, komen deze schattingen van de Deltacommissie gecorrigeerd voor het gravitatie-effect respectievelijk 40 tot 60 cm lager uit. Het is de verwachting dat – uitgaande van het langzame proces van zeespiegelstijging – het adaptief vermogen van Nederland voldoende is om de toenemende overstromingsrisico's te blijven beheersen, zelfs bij dergelijke *worst case*-scenario's (PBL 2011). Wel zijn extra maatregelen en investeringen nodig ten opzichte van de huidige inspanningen. De traagheid in het oceaanstelsel en de traagheid van de zeespiegelstijging geeft het beleid de tijd om te blijven monitoren en tijdig te anticiperen op mogelijke ongunstige ontwikkelingen.

Rivierafvoeren

Hogere rivierafvoeren vooral waargenomen in winter; geen trend in extreme afvoeren

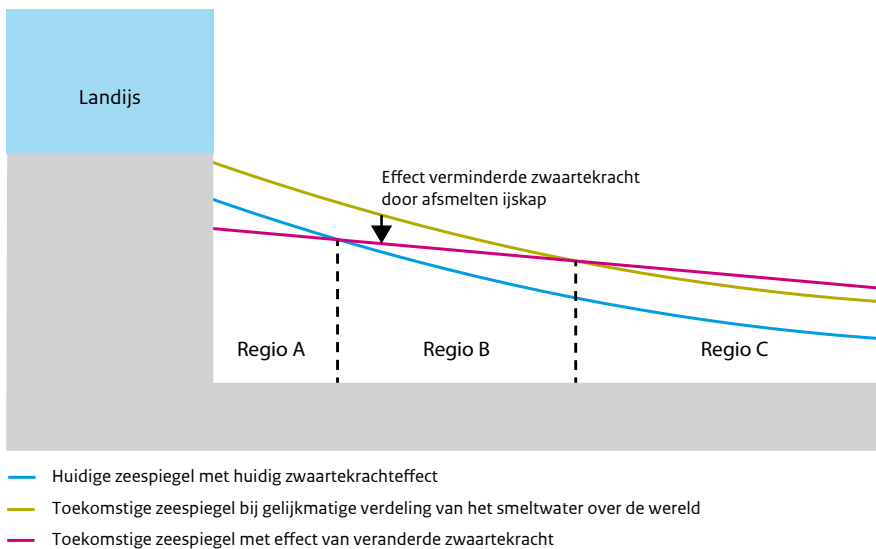
De afvoeren van de Maas en de Rijn zijn (mede) relevant voor de overstromings- en droogterisico's van Nederland.

Box 3.1 Het gravitatie- of zwaartekrachteffect

Gravitatie is het verschijnsel dat twee massa's elkaar aantrekken. Bekend is de aantrekkingskracht tussen aarde en maan, waardoor het getij ontstaat. In het geval van de zeespiegel gaat het om de aantrekkingskracht die een boven het zeeniveau uitstekende ijsmassa, zoals op Groenland en Antarctica, uitoefent op het omringende water (Mitrovica et al. 2001). De zeespiegel loopt daardoor richting ijsmassa omhoog (zie figuur 3.4). Als nu (een deel van) de ijskap afsmelt, stijgt de zeespiegel gemiddeld over de wereld door het smeltwater. Tegelijkertijd vermindert de massa van de ijskap, waardoor de aantrekkingskracht op het omliggende zeewater afneemt en er een kanteling in het zeeniveau optreedt. Dichtbij de ijskap kan de zeespiegel hierdoor zelfs dalen (regio A in figuur 3.4). Iets verder weg (regio B) zal de zeespiegel wel stijgen, maar minder dan gemiddeld over de wereld. Op grotere afstand (regio C) zal de regionale zeespiegelstijging juist groter zijn dan het wereldgemiddelde.

Dit gravitatie- of zwaartekrachteffect is een fysisch proces dat snel doorwerkt op de lokale zeespiegel. Gemiddeld over de aarde heeft de verandering in gravitatie geen effect op het zeeniveau. Het zorgt alleen voor een ongelijkmatige verdeling van het smeltwater van de ijskappen. Nederland ligt op een dusdanige afstand van Groenland dat de lokale zeespiegelstijging langs onze kust door het afsmelten van Groenland slechts 20 procent is van de wereldgemiddelde zeespiegelstijging (regio B, figuur 3.4) (KNMI 2009b; Katsman et al. 2011). Zo zou bijvoorbeeld een zeespiegelstijging van 2 meter, door het afsmelten van Groenland, voor de Nederlandse kust 'slechts' een stijging van 40 cm opleveren. Ook voor de bijdrage van gletsjers en kleine ijskappen aan zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is de verwachting dat de stijging lager is (ongeveer -20 procent) dan de wereldgemiddelde stijging (regio B). Daarentegen is de afstand tussen Nederland en Antarctica zodanig groot dat de lokale zeespiegelstijging door het afsmelten van die ijskap juist groter (ongeveer 10 procent) zal zijn dan het mondiaal gemiddelde (regio C) (Dillingh et al. 2010; Katsman et al. 2011a). Netto zal Nederland door het afsmelten van de ijskappen naar verwachting te maken krijgen met een minder sterke zeespiegelstijging dan mondiaal gemiddeld. Pas wanneer de bijdrage van Antarctica meer dan acht keer zo groot is als die van Groenland, resulteert dit netto in een groter dan gemiddelde zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust. Omdat het afsmelten van verschillende ijskappen in de eenentwintigste eeuw nog een relatief geringe bijdrage aan de mondiale zeespiegelstijging levert (ten opzichte van andere factoren die de zeespiegelstijging bepalen), zal het beschreven gravitatie-effect vooral op de lange termijn, na 2100, een rol gaan spelen.

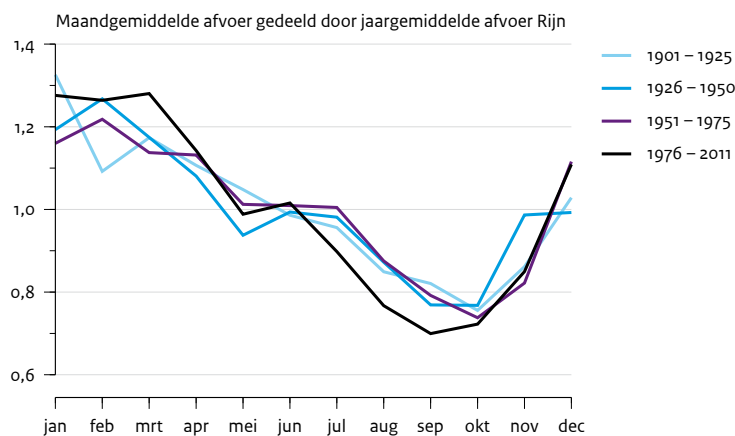
Figuur 3.4
Zwaartekrachteffect op regionale zeespiegelstijging



Bron: (KNMI 2009b)

Illustratie van het gravitatie-effect op de regionale zeespiegelstijging Ten opzichte van Groenland ligt Nederland in vak B, ten opzichte van Antarctica in vak C.

Figuur 3.5
Rivierafvoer van Rijn bij Lobith



Bron: Buiteveld (2005)

De afgelopen decennia is de winterafvoer van de Rijn toegenomen en de zomerafvoer afgenomen.

De jaargemiddelde afvoer van beide rivieren is de afgelopen decennia nauwelijks veranderd. Wel zijn er de afgelopen eeuw veranderingen waargenomen in de maandgemiddelde rivierafvoeren. Zo is de afvoer van de Rijn in de winter deze eeuw toegenomen met 9 procent en die in de zomermaanden is met 9 procent afgenomen (figuur 3.5).

Er zijn tot op heden geen trends waarneembaar voor extreem lage en hoge rivierafvoeren van zowel de Rijn als de Maas (figuur 3.6). De extreem hoge piekafvoeren zijn maatgevend voor het overstromingsrisico; extreem lage afvoeren zijn van belang voor de zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland. Dat er tot nu toe in deze reeksen geen trend is waar te nemen, komt door de grote natuurlijke variabiliteit in rivierafvoeren (Deltares 2010). Ook voor veel andere rivieren in Europa is tot op heden geen toenemende trend in extreme rivierafvoeren waargenomen (EEA 2008, 2011).

Rivierafvoeren nemen naar verwachting verder toe in de winter en af in de zomer

De vier KNMI'o6-scenario's laten zien dat een verdere opwarming en veranderende neerslagpatronen tot weer verdere veranderingen kunnen leiden in de afvoer van de Nederlandse rivieren (zie ook Deltares 2010). Dit geldt voor zowel de jaar- en de maandgemiddelde afvoeren, als ook voor de extreem hoge en lage afvoeren.

Gemiddelde rivierafvoeren

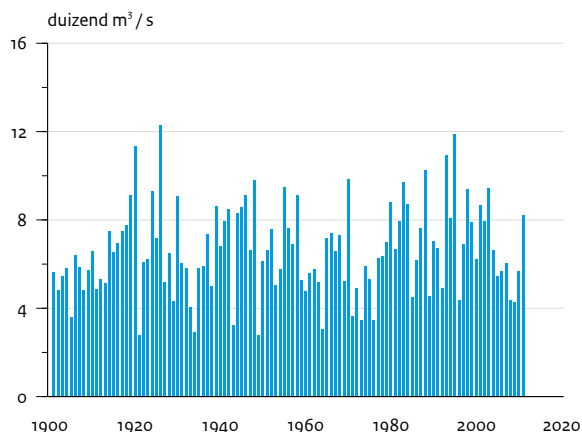
De vier KNMI'o6-scenario's geven voor de Rijn en de Maas een eenduidige toename in de gemiddelde afvoer in de winter. Voor de Rijn ligt de toename tot 2100 in de

marge van 12 tot 27 procent; voor de Maas ligt deze tussen 6 en 18 procent (tabel 3.2; figuur 3.7). Dit beeld voor de winterafvoeren is consistent tussen de scenario's en is te verklaren door stijgende temperaturen en neerslag in het gehele stroomgebied van beide rivieren. Zo zullen hogere temperaturen in de Alpen er toe leiden dat daar meer regen valt in plaats van sneeuw. Ook zal de sneeuw eerder in het jaar smelten, waardoor de afvoer in de Rijn in de winter en het voorjaar toeneemt.

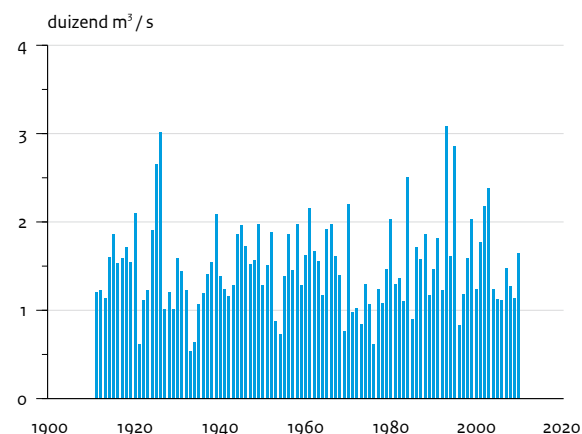
Voor de zomer en het najaar is het beeld tussen de scenario's meer gevarieerd (figuur 3.7). Dit komt door de verschillen in verwachte neerslag. In de G- & W-scenario's wordt een afnemend effect van de hogere temperaturen (en toenemende verdamping en minder sneeuw) op de rivierafvoeren gecompenseerd door de toenemende neerslag in het stroomgebied (hoofdstuk 2), waardoor de rivierafvoeren nauwelijks veranderen. Anders ligt dit voor de scenario's waarin de luchtstroming verandert (G+ en W+). In deze scenario's neemt de zomerneerslag fors af, en daarmee ook de rivierafvoeren in de zomer en de herfst (hoofdstuk 2). In het extreme W+-scenario gaat de zomerafvoer van de Rijn (nu gemiddeld 1.800 kubieke meter per seconde) tot 2100 met meer dan 40 procent terug naar minder dan 1.000 kubieke meter per seconde (tabel 3.2), en in de herfst is dat percentage nog hoger: tot ongeveer 60 procent in oktober (Kwadijk 2008; Klijn et al. 2011). De Maas voert in de zomer al weinig water af, maar ook die geringe afvoer daalt in de G+- en W+-scenario's fors. Voor 2100 laat het W+-scenario grofweg een daling zien in de rivierafvoer van ruim 25 procent tijdens de zomermaanden (tabel 3.2), en zelfs 50 procent tijdens het najaar (Kwadijk 2008; Klijn et al. 2011). Dergelijke lage rivierafvoeren in de zomer kunnen grote gevolgen

Figuur 3.6
Maximale waterafvoer

Rijn bij Lobith



Maas bij Borgharen



Bron: Klijn et al. (2010)

Tabel 3.2

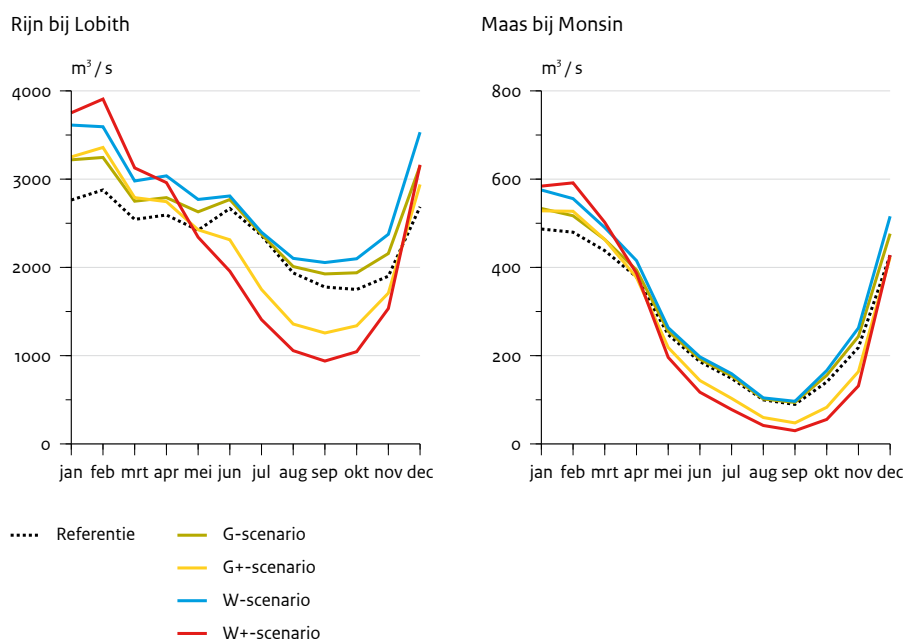
Verandering in het afvoerregime (maandgemiddelde afvoeren) van de Rijn en de Maas, gebaseerd op de vier KNMI'o6-klimaatscenario's, in percentage van de afvoeren in de twintigste eeuw.

		G		G+		W		W+	
		2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Jaargemiddeld	Rijn	+3%	+6%	-4%	-8%	+6%	+12%	-8%	-12%
	Maas	+3%	+6%	-6%	-10%	+6%	+14%	-10%	-11%
Zomer ¹	Rijn	+0%	+0%	-13%	-24%	+0%	+1%	-24%	-41%
	Maas	+2%	+5%	-13%	-20%	+5%	+11%	-20%	-26%
Winter ¹	Rijn	+7%	+14%	+6%	+12%	+14%	+27%	+12%	+22%
	Maas	+5%	+9%	+3%	+6%	+9%	+18%	+6%	+11%

Bron: Kwadijk (2008), Klijn et al. (2011)

¹ De zomerafvoer is gedefinieerd als afvoeren gemiddeld over de maanden juni, juli, augustus; de winterafvoer is gemiddeld over de maanden december, januari, februari.

Figuur 3.7
Rivierafvoer van Rijn en Maas, 2100



Bron: Kwadijk (2008), Klijn et al. (2011).

hebben, vooral in combinatie met hogere temperaturen. Zo kan een lage rivierafvoer de scheepvaart hinderen en is er een negatieve invloed op de waterkwaliteit en de beschikbare hoeveelheid zoet water en koelwater in grote delen van Nederland. De mogelijke veranderingen in de rivierafvoer zijn groter voor de Rijn dan voor de Maas, die immers een regenrivier is en daardoor minder afhankelijk is van smeltende sneeuw.

Piekafvoeren nemen naar verwachting toe, afhankelijk van maatregelen bovenstrooms

Voor de hoogwaterbescherming van Nederland is het van belang een inschatting te hebben van hoe de klimaatverandering van invloed kan zijn op de extreem hoge of piekafvoeren van de Rijn en de Maas. Op dit moment is de veiligheidsnorm in het rivierengebied 1/1.250 per jaar, dat wil zeggen dat de dijken een situatie moeten kunnen weerstaan die zich eens in de 1.250 jaar voordoet. Om de waterstanden te berekenen die de dijken moeten kunnen keren, zijn zogeheten maatgevende afvoeren gedefinieerd als de potentiële afvoeren die gemiddeld eens per 1.250 jaar optreden (Q_{1250}). Op dit moment is deze maatgevende afvoer op de Rijn (bij Lobith) 16.000 kubieke meter per seconde en voor de Maas (bij Borgharen) 3.800 kubieke meter per seconde (Kwadijk 2008). Met de geplande maatregelen en ruimtelijke reserveringen in bijvoorbeeld het programma 'Ruimte voor de Rivier' zou deze maatgevende afvoer van de Rijn

op termijn verhoogd worden naar 18.000 kubieke meter per seconde.

Hoewel er tot op heden geen trendmatige verandering waarneembaar is in de piekafvoeren van Rijn en Maas (zie boven), wordt een toename als gevolg van verdere klimaatverandering wel mogelijk geacht, vooral in de winter en in het voorjaar. Deze inschatting is gebaseerd op de neerslag, die vooral in deze seizoenen in het stroomgebied van beide rivieren verder kan toenemen. Daarnaast wordt er minder water vastgehouden, doordat er door de hogere temperaturen meer regen en minder sneeuw valt. Dit beeld komt naar voren in alle KNMI'o6-scenario's.

Onder een gematigd G-scenario zou de maximale afvoer in de periode tot 2100 kunnen stijgen van 16.000 tot 18.500 kubieke meter per seconde, en onder het meest extreme W+-scenario tot zelfs 21.500 kubieke meter per seconde (tabel 3.3) (Kwadijk 2008; Klijn et al. 2011). In alle scenario's wordt dus rond 2100 een maximale afvoer van 18.000 kubieke meter per seconde (ruim) overschreden. En de huidige maatgevende afvoer van 16.000 kubieke meter per seconde, die nu eens in de 1.250 jaar bij de Rijn voorkomt, zou in 2100 tussen eens in de 250 jaar (G-scenario) en eens in de ruim 50 jaar (W+-scenario) kunnen optreden. Piekafvoeren die nu als (zeer) hoog beschouwd worden, zouden in 2100 dus veel vaker kunnen voorkomen.

Tabel 3.3

Bereik van maximale rivierafvoeren (in m³/s) van de Rijn in 2100 voor de KNMI'06-scenario's bij verschillende herhalings tijden. Hierbij is geen rekening gehouden met mogelijke overstromingen bovenstrooms van Nederland.

Rijn	Herhalings tijd (jaren)				
	50	100	250	500	1250
Controle (1901-2004)	11.500	12.500	14.000	15.000	16.000
Minimale schatting 2100 (G)	13.000	14.500	16.000	17.000	18.500
Maximale schatting 2100 (W+)	15.500	17.000	18.500	20.000	21.500

Bron: Kwadijk (2008), Klijn et al. (2011)

Voor de Maas zijn de verwachte veranderingen van de piekafvoeren kleiner. Een afvoer die eens in de 1.250 jaar op de Maas voorkomt, ligt nu bij 4.100 kubieke meter per seconde. Tot 2100 kan dit toenemen tot 4.250 kubieke meter per seconde in het G+-scenario en tot 4.850 kubieke meter per seconde in het W-scenario. De huidige norm van 3.800 kubieke meter per seconde zal dus naar verwachting steeds vaker worden overschreden (Kwadijk 2008).

De hoeveelheid water die ons via de Rijn en de Maas bereikt, wordt in belangrijke mate ook bepaald door het waterbeheer in het bovenstrooms gebied. Niet alleen de klimaatverandering is dus van invloed op de rivierafvoeren bij Lobith, maar ook de ontwikkelingen in het bovenstrooms gebied van Rijn en Maas. De extreem hoge piekrivierafvoeren, zoals hierboven gepresenteerd, gaan ervan uit dat al het water Nederland kan bereiken. In werkelijkheid hangt dit voor de Rijn ook af van de maatregelen die Duitsland tegen overstromingen neemt. Ook na het uitvoeren van het huidige verbeteringsprogramma is er in Duitsland een lager beschermingsniveau van kracht dan in Nederland. Hierdoor zijn daar afvoergolven van meer dan 15.000 kubieke meter per seconde moeilijk te verwerken en treden er overstromingen op. Deze overstromingen zullen de hoogwatergolf die Nederland bereikt, dempen. Voert Duitsland geen aanpassingen door in het overstromingsbeheer en verhoogt het de veiligheidsnormen niet extra, dan zal de maximale afvoer van de Rijn bij Lobith dan ook lager liggen dan de schattingen zoals gegeven in tabel 3.3. Bij een potentiële afvoergolf van 22.000 kubieke meter per seconde zou die een marge hebben van 15.500 tot 17.500 kubieke meter per seconde (Deltacommissie 2008; Te Linde 2009; figuur 3.8). De kans dat een toekomstige maatgevende afvoer van 18.000 kubieke meter per seconde (na uitvoeren 'Ruimte voor Rivieren') wordt overschreden, zou in dat geval minimaal zijn (tabel 3.4). Zelfs de 16.000 kubieke meter per seconde (de huidige maatgevende afvoer) zal nog maar eens in de 178 jaar in plaats van eens

in de 53 jaar worden overschreden.

Het water zou Nederland mogelijk wel buiten de rivieren om kunnen bereiken. Dit is het geval als zich overstromingen voordoen in het gebied vlak langs Nederlandse grens of als in dat gebied meer water wordt vastgehouden. En zou Duitsland in de toekomst het veiligheidsniveau verhogen, waardoor er daar minder ruimte komt voor overstromingen, dan zullen hogere piekafvoeren ook ons land bereiken. Voor de Maas ligt dit anders, aangezien deze rivier bovenstrooms van Nederland door een relatief smal dal stroomt. Aftopping van een hoogwatergolf is dan minder mogelijk.

Omdat de zeespiegelstijging slechts traag verloopt, zal het beheersen van de piekafvoeren de grootste uitdaging zijn voor de waterveiligheid in Nederland (zie ook PBL 2007, 2009). Wel hangt de verandering ook af van het waterbeheer bovenstrooms. Naar verwachting zal er meer ruimte nodig zijn voor het verwerken van hogere piekafvoeren. Keuzes over met name de stedelijke ontwikkeling in het rivierengebied zullen de komende decennia dan ook mede bepalend zijn voor de toekomstige oplossingsruimte in het rivierengebied (PBL 2011).

3.3 Wateroverlast en droogte

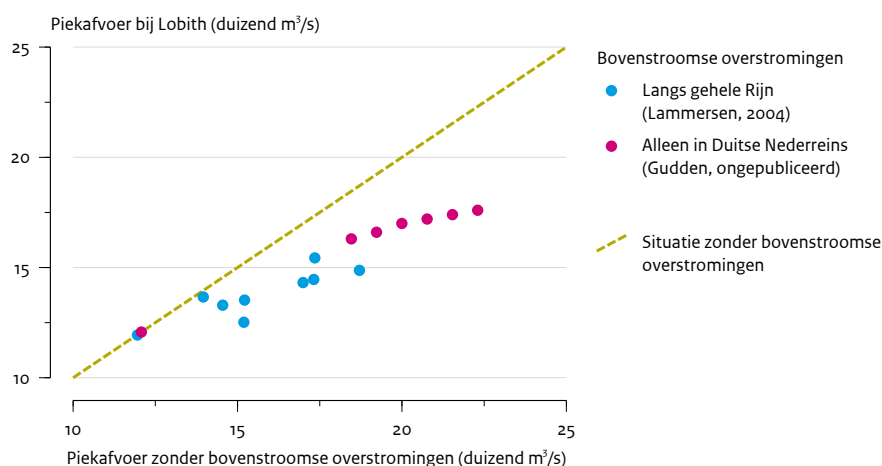
Inleiding

Klimaatverandering heeft ook invloed op de beschikbaarheid van zoet water in Nederland. Dit kan zich zowel uiten in een teveel aan water (leidend tot wateroverlast) als in een tekort (leidend tot droogte). Van wateroverlast is er sprake als, in het stedelijk en landelijk gebied, het water niet snel genoeg kan worden afgevoerd. Het teveel aan water zorgt dan voor schade aan bijvoorbeeld gebouwen en gewassen en hinder voor het verkeer (RIZA 2007).

Wateroverlast kan over heel Nederland plaatsvinden en wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door

Figuur 3.8

Effecten van bovenstroomse overstromingen in Duitsland op piekafvoeren bij Lobith



Bron: Vellinga et al. (2008)

Zou dit veiligheidsniveau in Duitsland gehandhaafd blijven, dan nemen de piekafvoeren die Nederland kunnen bereiken vrijwel niet toe, ook niet als de klimaatverandering zou leiden tot hogere piekafvoeren in het bovenstroomse gebied.

Tabel 3.4

Geschatte herhalingsstijden (in jaren) voor de Rijn voor huidige en toekomstige condities (rond jaar 2100), met (boven) en zonder (onder) het effect van overstromingen in Duitsland

	Bij huidig veiligheidsniveau (15.000 m ³ /s) (in jaren)	Bij Ruimte voor de Rivier (16.000 m ³ /s) (in jaren)	Bij Ruimte voor de Rivier (18.000 m ³ /s) (in jaren)
Huidig klimaat	2.267	>8.000	>8.000
G-scenario	615	2.667	>8.000
G+-scenario	222	1.000	>8.000
W-scenario	186	667	>8.000
W+-scenario	66	178	4.000 – 8.000

	Bij huidig veiligheidsniveau (15000 m ³ /s) (in jaren)	Bij Ruimte voor de Rivier (16.000 m ³ /s) (in jaren)	Bij Ruimte voor de Rivier (18.000 m ³ /s) (in jaren)
Huidig klimaat	667	1.333	
G-scenario	211	500	
G+-scenario	108	190	
W-scenario	87	154	
W+-scenario	31	53	

Bron: Kwadijk (2008), Vellinga et al. (2008)

Het effect van overstromingen in Duitsland boven wel en onder niet meegenomen. Voor het veiligheidsniveau in Duitsland is uitgegaan van de situatie zoals die zal zijn nadat voorgenomen maatregelen zijn uitgevoerd.

¹ RvR = PKB Ruimte voor Rivieren

Tabel 3.5

Werknormen voor de kans op wateroverlast door inundatie vanuit oppervlaktewater voor verschillende vormen van landgebruik

Landgebruik	Frequentie van voorkomen (jaar ⁻¹)
Grasland	1/10
Akkerbouw	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1/50
Glastuinbouw	1/50
Bebouwd gebied	1/100

Bron: V&W (2003)

plaatselijke hevige regenval of piekbuien. Soms kan ook droogte tot wateroverlast leiden, bijvoorbeeld als de droogte ertoe leidt dat de veendijken het begeven (zoals in 2003 in Wilnis). En waar in sommige gevallen een kleine hoeveelheid extra neerslag al voor overlast kan zorgen, geeft een grote hoeveelheid neerslag op een andere plek helemaal geen problemen. Dit hangt veelal samen met de inrichting en werking van het watersysteem. In het landelijk gebied van laag Nederland bepalen de sloten, boezemvaarten en meren in samenhang met de stuwen en gemalen de bergingscapaciteit en de afvoercapaciteit van het systeem. In hoog Nederland zijn het vooral de beeklopen en zandsloten in combinatie met stuwbeheer die de werking bepalen, en in het stedelijk gebied de afvoercapaciteit van de riolen en de bergingscapaciteit in het rioolsysteem, op straten en pleinen en in vijvers en grachten. .

Droogte kan ontstaan in periodes met weinig neerslag en veel verdamping, al of niet in combinatie met lage rivierafvoeren (Deltares 2010). Droogte treedt op als de watervraag het wateraanbod overtreft. Bij frequente droogte kunnen zich problemen voordoen voor functies die afhankelijk zijn van voldoende beschikbaar water. Denk aan de scheepvaart, drinkwatervoorziening, waterbeschikbaarheid voor het doorspoelen van het watersysteem, waterbeschikbaarheid om te voorkomen dat (zout) zeewater vanuit de Noordzee binnendringt, irrigatiewater voor de landbouw en industrieel koelwater. Over het algemeen komen droge situaties in Nederland minder vaak voor dan de jaarlijks plaatselijk optredende piekbuien en daaraan gekoppelde risico's op wateroverlast. Droge jaren komen eens in de tien jaar voor tot eens in de honderd jaar (extreem droog jaar).

Het aanbod van water, en de daarmee samenhangende droogte in een regio, hangt niet alleen af van de neerslag binnen die regio of zelfs binnen Nederland, maar ook van de aanvoer van zoet water via de rivieren (Rijn, Maas). In de zomer vormt de Rijn verreweg de grootste zoetwaterbron voor Nederland en een groot deel van laag Nederland wordt in de zomerperiode ook voorzien van

water uit de Rijn. Dit Rijnwater wordt in de regionale watersystemen gebruikt voor het handhaven van de waterpeilen, doorspoelen van regionale wateren ter bestrijding van verzilting en ter bestrijding van algenbloei, en voor direct gebruik in de landbouw.

Waargenomen trend en mogelijke toekomstige veranderingen

Toegenomen wateroverlast, niet meer droogte

Wateroverlast is in de laatste jaren op verschillende plaatsen in Nederland veel voorgekomen (Klijn et al. 2010). Neem bijvoorbeeld de zomer van 2006 en de herfst van 2007 in Noord-Holland. Deze toename hangt samen met de zeer hevige regenbuien die de afgelopen jaren in de late zomer frequenter voorkwamen dan vroeger, vooral langs de Nederlandse kust (hoofdstuk 2). Deze hevige regenbuien zijn weer het gevolg van – onder andere – de hogere watertemperaturen van de Noordzee (KNMI 2009b). De toename in piekbuien en wateroverlast betekent dat er nu al een opgave ligt voor het stedelijk en het landelijk gebied om de veranderingen te pareren. Er zijn in 2003 werknormen opgesteld voor de geaccepteerde kans op wateroverlast door inundatie vanuit oppervlaktewater (tabel 3.5). Deze werknormen zijn afhankelijk van het type landgebruik en variëren van 1maal per tien jaar voor grasland tot 1 maal per honderd jaar voor bebouwd gebied. In het Nationaal Bestuursakkoord Water is afgesproken dat de watersystemen in laag en hoog Nederland en in het stedelijk gebied in 2015 aan deze normen zullen voldoen, mede in het licht van klimaatverandering (V&W 2003).

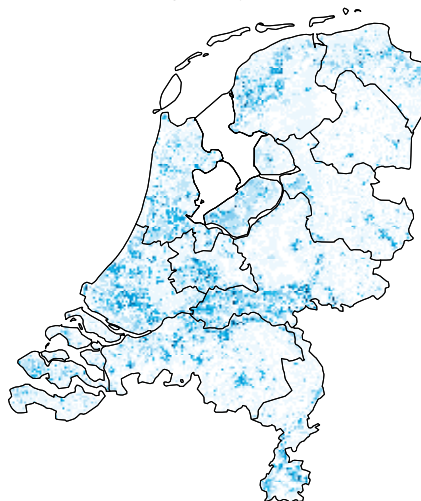
In het landelijk gebied hebben de Waterschappen al maatregelen doorgevoerd in het kader van het programma 'Waterbeheer 21^{ste} eeuw'. In het stedelijk gebied zal de komende jaren bij onderhoud en vervanging (riolering), herstructurering en nieuwbouw aandacht nodig zijn voor een klimaatbestendige inrichting en bouw van wijken (PBL 2011).

Figuur 3.9
Kans op wateroverlast

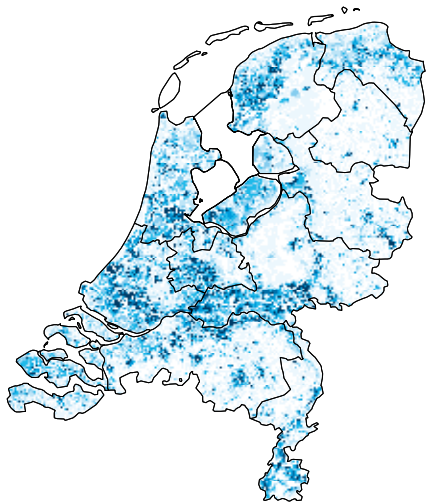
1981 – 2010; 1 keer per 25 jaar



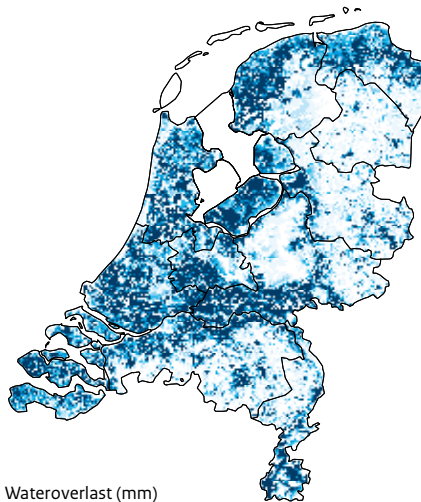
1981 – 2010; 1 keer per 100 jaar



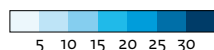
W-scenario 2100; 1 keer per 25 jaar



W-scenario 2100; 1 keer per 100 jaar



Wateroverlast (mm)



Bron: Immerzeel et al. (2010), Van de Sandt et al. (2010)

Wateroverlast met een herhalingsstijd van eens in de 25 jaar ($T = 25$) en eens in de 100 jaar ($T = 100$), in de huidige situatie en in het W-scenario.

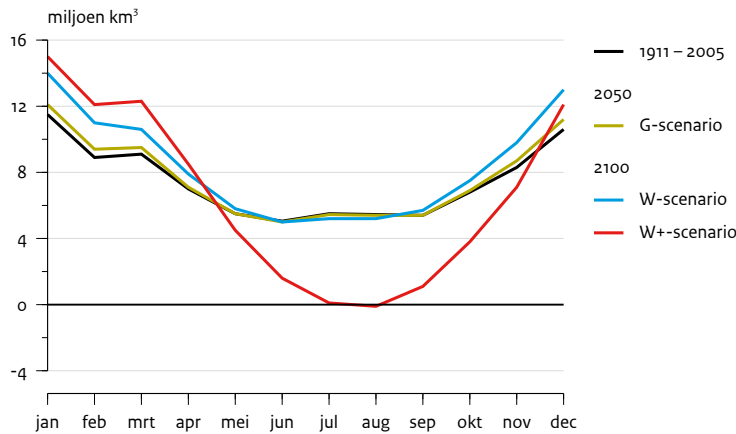
Hoewel de temperaturen stegen, is er gemiddeld over Nederland tussen 1906 en 2007 *geen trend* waarneembaar in de extreme droogte in een jaar. Wel is de gemiddelde waterbeschikbaarheid in de zomerperiode verminderd door een toegenomen verdampingsoverschot en een afname van de gemiddelde rivierafvoer van de Rijn (figuur 3.5). Er zijn regionale verschillen. De Nederlandse kustzone is in het voorjaar en de vroege zomer relatief droger dan de rest van het land, terwijl de situatie in de late zomer en het najaar precies omgekeerd is (KNMI 2008). Deze regionale verschillen komen vooral doordat

de neerslag- en verdampingspatronen regionaal verschillen (hoofdstuk 2).

Kans op wateroverlast en droogteperiodes nemen verder toe

Op basis van de gevonden relaties tussen temperatuur en neerslag is de verwachting dat de kans op extreme neerslag in de eenentwintigste eeuw verder toeneemt. In alle KNMI'o6-scenario's stijgt de temperatuur namelijk (hoofdstuk 2), waardoor de lucht meer water kan bevatten. En als het dan gaat regenen, kan er per bui dan

Figuur 3.10
Waterbalans voor Nederland



Bron: Kwadijk (2008)

ook meer neerslag vallen. Door meer extreme neerslag zal ook de kans op wateroverlast toenemen, in zowel het stedelijk als het landelijk gebied (PBL 2009). De grootste toename wordt verwacht in die scenario's waarin de luchtcirculatie gelijk blijft (G-/W-scenario's). De mogelijk kortdurende neerslagextremen (die vaak bepalend zijn voor wateroverlast) stijgen in die scenario's het meest (zie hoofdstuk 2). In de G+- en W+-scenario's zullen de effecten minder groot zijn.

Om de kans op wateroverlast te kunnen kwantificeren zijn de veranderingen in het neerslagpatroon gecombineerd met modellen die ontwatering en afwatering beschrijven. Deze studies laten zien dat de kans op wateroverlast in grote delen van Nederland toeneemt (figuur 3.9). De berekeningen geven aan dat de grootste toename in de lage delen van Nederland en langs de rivieren te verwachten is. In deze gebieden komen hogere grondwaterstanden voor; hierdoor is er een geringe bergingscapaciteit in de bodem. In hoeverre de veranderingen in de piekbuien daadwerkelijk tot wateroverlast zullen leiden zal echter sterk afhangen van de lokale werking van de watersystemen.

Uit de G+- en W+-scenario's komt de verwachting naar voren dat droogte-intervallen tijdens de zomer in heel Nederland vaker zullen voorkomen en ook intensiever worden. In de G- en W-scenario's blijven dergelijke droogte-intervallen min of meer gelijk aan nu (figuur 3.10; Kwadijk 2008; Klijn et al. 2011). De hogere frequentie in de G+- en W+-scenario's wordt veroorzaakt door de sterke daling van de zomerneerslag (hoofdstuk 2), in combinatie met lagere rivierafvoeren (dat wil zeggen: minder wateraanvoer) in de zomer.

Voor de lage rivierafvoeren stijgt de kans dat de Rijn minder dan 1.000 kubieke meter per seconde afvoert van rond de 10 procent nu tot ruim 80 procent in het W+-scenario in 2100. Ook kunnen volgens dit scenario eens in de vijf jaar zelfs afvoeren voorkomen van minder dan 500 kubieke meter per seconde – dergelijke afvoeren komen nu bijna niet voor (Kwadijk 2008). Droogte-intervallen die nu in een relatief droog jaar voorkomen, kunnen in een G+-scenario voorkomen in een matig droog jaar en in een W+-scenario zelfs gewoon worden (Klijn et al. 2010). Hierdoor zal bijvoorbeeld het water in sloten en meren in Nederland in de zomer dalen als het grondwater niet kunstmatig op peil wordt gehouden, zal de landbouw vaker moeten irrigeren, en zullen scheepvaart en energievoorzieningen last ondervinden. Delen van Zeeland, Friesland, Groningen en Flevopolder kunnen brakker worden, wat weer (indirecte) gevolgen heeft voor met name de landbouw (hoofdstuk 5; Van Beek et al. 2008; Klijn et al. 2010). Gezien de onzekere ontwikkelingen rond droogte en verzilting in relatie tot klimaatverandering is het op dit moment nog niet duidelijk in hoeverre structurele aanpassingen in de watervoorziening nodig zijn. Wel is het zo dat de problematiek versterkt kan worden als er bovenstrooms meer water wordt gebruikt, en er dus minder water via de Rijn en de Maas Nederland bereikt. De waterbeschikbaarheid in Nederland hangt immers in belangrijke mate samen met het water dat ons land binnenkomt via (vooral) de Rijn. Voor het stroomgebied van de Maas hebben Nederland en België in het Maasafvoeroverdrag afspraken gemaakt over de verdeling van het Maaswater bij lage afvoeren. Voor de Rijn bestaan geen internationale afspraken over de

watervdeling ten tijde van droogte. Het is overigens nog onduidelijk om hoeveel water het gaat.

3.4 Waterkwaliteit: verzilting en eutrofiëring van grond- en oppervlaktewateren

Inleiding

Door klimaatverandering kunnen bestaande problemen rond de waterkwaliteit en de gevolgen voor, de landbouw, de recreatie en de natuur worden versterkt. Dit komt:

- doordat watertemperatuur een sterk effect heeft op de ecologische gesteldheid van rivieren, sloten en meren. Dergelijke effecten treden vooral op tijdens lage waterstanden en zeer warme perioden. Bij watertemperaturen van 20 tot 26°C wordt een knippunt bereikt. Daarboven verandert voor veel diersoorten de fysiologie (bijvoorbeeld groei en reproductie) en neemt de kans op sterfte toe (Zwolsman & Van Vliet 2007; Kwadijk et al. 2008; Witte et al. 2009). De reikwijdte wordt bepaald door de gevoeligheid van soorten, die immers verschilt;
- doordat er als gevolg van een hogere gemiddelde temperatuur meer nutriënten vrij kunnen komen in de oppervlaktewateren (Andersen et al. 2006; Kastea et al. 2006; Malmaeus et al. 2006). Hierdoor kan onder meer sneller bloei ontstaan van de 'gewone' groene alg en de blauwalg. Algen verstikken het aquatisch milieu; blauwalg veroorzaakt bovendien ziektes. Bij een watertemperatuur van boven de 25°C zal de blauwalg gaan domineren;
- doordat de verzilting in de laaggelegen gebieden van Nederland toeneemt. Dit heeft te maken met (i) minder wateraanvoer via rivieren vooral in de zomer; (ii) zeespiegelstijging waardoor de zoutindringing via de rivieren toeneemt; (iii) toenemende (zoute) kwel – door zeespiegelstijging en inklinking van het land – in de zones achter de duinen en dijken. Op zich kan deze verzilting worden tegengegaan door het watersysteem door te spoelen met zoet water, maar de beschikbaarheid van dat zoete water kan – vooral in de zomer – een probleem gaan vormen;
- doordat meer frequente en/of intensieve droogtes leiden tot lagere rivierafvoeren. Hierdoor neemt de concentratie toe van stoffen zoals zware metalen en nutriënten (Van Vliet & Zwolsman 2008)
- doordat de concentratie van nutriënten toeneemt in stilstaande of eindwateren, zoals de Noordzee, meren en rivierarmen. Tijdens intense piekbuien spoelen immers meer nutriënten weg (*first flush events*). Deze nutriënten kunnen dan niet meer direct worden

opgenomen door de landbouwgewassen, maar komen terecht in de oppervlaktewateren.

Een aantal van deze problemen zal aan bod komen in hoofdstuk 6, waar het gaat om de directe effecten rond de menselijke gezondheid. Hier kijken we vooral naar watertemperatuur en verzilting.

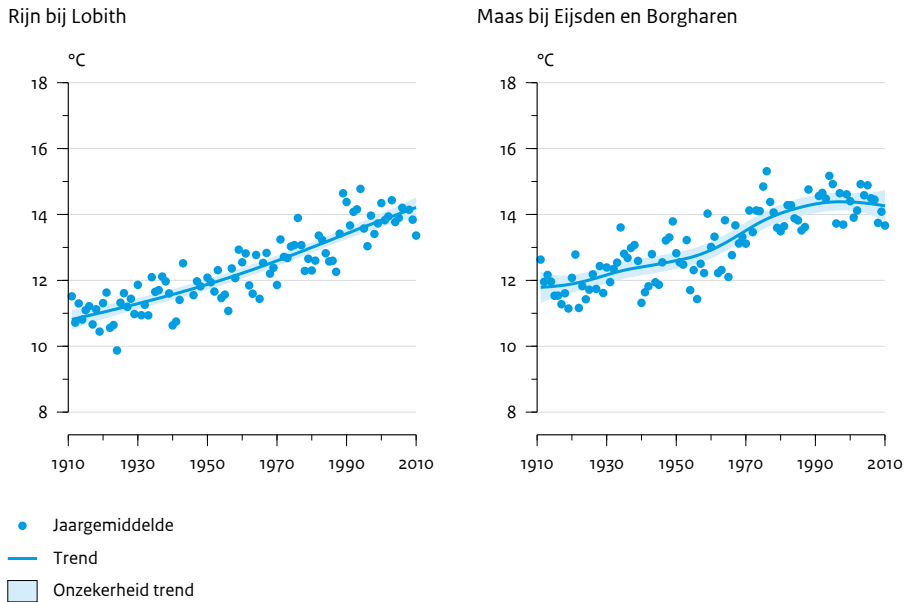
Het zijn vooral de meren in Nederland die een risico lopen door de oplopende watertemperatuur. Zowel de water- als de ecologische kwaliteit worden immers gestuurd door de temperatuur. Verzilting in polderwateren treedt vooral op in droge perioden, doordat er dan meer zoute kwel is en ook het inlaatwater vanuit het hoofdwatersysteem hogere zoutconcentraties kent. In het zomerhalfjaar is er bovendien sprake van 'indampen', waardoor het zoutgehalte in de sloten nog verder toeneemt (Klijn et al. 2011). Dit alles leidt tot zouter oppervlaktewater, met mogelijke problemen voor de landbouw, het drinkwater en het doorspelen van het watersysteem. Hoe groot de zouttolerantie is, verschilt tussen gewassen (zie ook hoofdstuk 5). En ook voor andere vormen van watergebruik lopen de grenswaarden uiteen (Kwadijk et al. 2008):

- 1.000 mg/l voor grasland en veeteelt;
- 300 mg/l voor sierteelt in volle grond;
- 200 mg/l voor drinkwaterbereiding;
- 150 mg/l voor sommige industriële producties.

Mede op basis van de zouttolerantie van de verschillende functies hanteren afzonderlijke waterschappen verschillende normen (PBL 2011). Oplossingen om verzilting tegen te gaan worden gezocht in (i) het aanvoeren van zoet water uit andere bronnen; (ii) het mengen van verzilt water met zoet water; (iii) het doorspoelen van het (door brakke kwel) verzilt oppervlaktewatersysteem; (iv) het verbeteren van de doorstroming van het boezemsysteem; (v) het verhogen van het polderpeil om de kwel te verminderen. Deze maatregelen echter zijn veelal weinig robuust en bovendien eindig in hun toepassingsperspectief (PBL 2011).

Het probleem van toenemende zoute kwel in Laag-Nederland en in de droogmakerijen wordt verkleind door de aanwezigheid van deklagen. De kans op het snel doorbreken van deze deklagen is gering, ook wanneer de zeespiegel meters zou stijgen, zoals in het scenario van de Deltacommissie (Kwadijk et al., 2007). De oplopende kweldruk vraagt in de droogmakerijen wel om een steeds grotere voorzichtigheid bij bouw- en graafactiviteiten, omdat deklagen daarbij doorbroken zouden kunnen worden.

Figuur 3.11
Watertemperatuur van rivieren



Bron: CBS et al. (2011)

De jaargemiddelde watertemperatuur van de Rijn (links) en de Maas (rechts) is tussen 1909-2009 met ongeveer 3°C gestegen.

Waargenomen trends en mogelijke toekomstige veranderingen

Watertemperatuur gestegen

De temperatuur van veel meren, beken en sloten in Nederland volgt de luchttemperatuur en neemt dus toe (Van Vliet & Zwolsman 2008; Loewe et al. 2008). Hierdoor is een verhoogde concentratie aan voedingsstoffen en een vervroegde opkomst van blauwalg waargenomen (Witte et al. 2009). Zo is de jaargemiddelde watertemperatuur in de Rijn met bijna 3°C gestegen in vergelijking met 1910; die van de Maas steeg met 2,5°C (figuur 3.11). Ongeveer twee derde van de stijging van watertemperatuur in de Rijn is het gevolg van het toegenomen koelwatergebruik in Duitsland, en een derde van de gemeten temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering (VenW 2008). Door deze stijging neemt ook het aantal dagen toe dat een bepaalde normtemperatuur voor het rivierwater wordt overschreden, waardoor functies (bijvoorbeeld koelwater) frequenter in de problemen komen.

Ook beken, meren en vennen zijn de afgelopen decennia warmer geworden. Zo is de jaargemiddelde temperatuur van vennen en meren in Drenthe tussen 1974 en 2009 gestegen met gemiddeld 1,5°C en zijn beken 0,8°C warmer geworden (Wanningen et al. 2010; De Vries 2011). De geringere stijging in de beken hangt samen met hun natuurlijke stroming. Ook de gemiddelde temperatuur

van het water in de Noordzee is in de afgelopen tien jaar ruim 1°C hoger dan het gemiddelde van de dertig jaar ervoor, al was de watertemperatuur in 2011 wel weer relatief laag.

Watertemperatuur zal naar verwachting verder stijgen: functies onder druk

Gegeven de verwachte temperatuurstijging (volgens de KNMI-scenario's) en de toename van warme periodes in de zomer (hoofdstuk 2), is de verwachting dat de watertemperatuur in Nederlandse rivieren, meren en sloten verder zal stijgen (Van Vliet & Zwolsman 2008). Omdat ook lozing van koelwater in grote mate bijdraagt aan de stijging van de watertemperatuur, is het van belang dat bij het verlenen van vergunningen voor koelwaterlozing rekening wordt gehouden met een temperatuurstijging van het rivierwater door klimaatverandering. Zo kan worden voorkomen dat de norm van 25°C langdurig overschreden wordt.

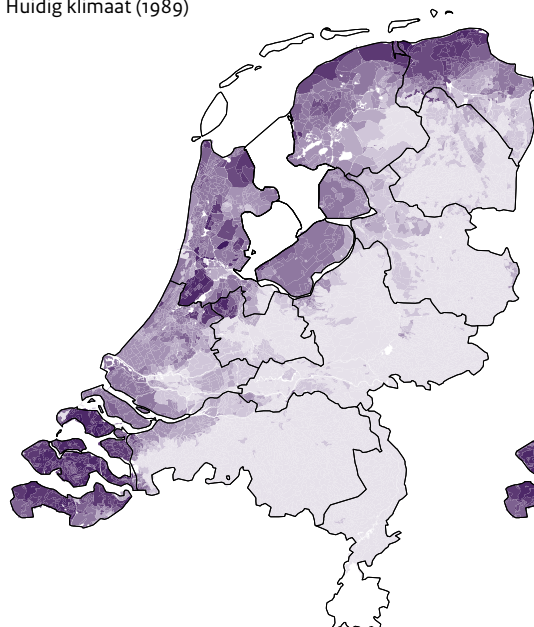
Verzilting van oppervlaktewateren, niet van grondwater

Verzilting is vooral een waterkwaliteitsprobleem voor de landbouw in de laaggelegen delen van Nederland. Het zoutgehalte van (grote) wateren, sloten en meren varieert sterk tussen de jaren. Dit heeft te maken met variaties in weer en klimaat, en variërende rivierafvoeren (Van Beek et al. 2008; Klijn et al. 2011). Vooral in droge perioden neemt het zoutgehalte toe, doordat er dan meer invloed

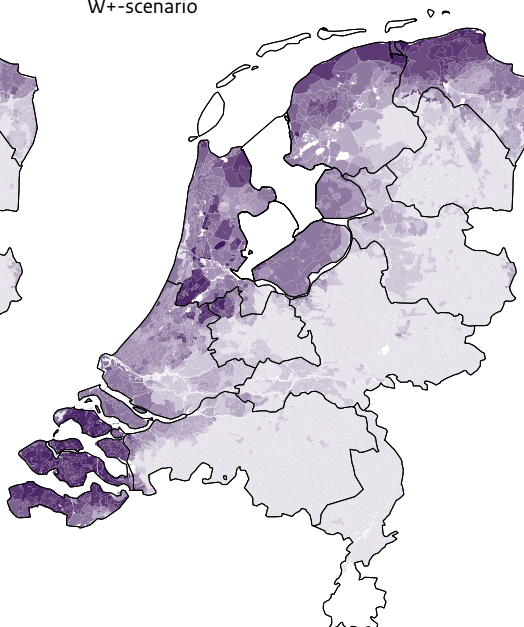
Figuur 3.12

Zoutconcentratie in oppervlaktewater, op 1 juli van een droog jaar

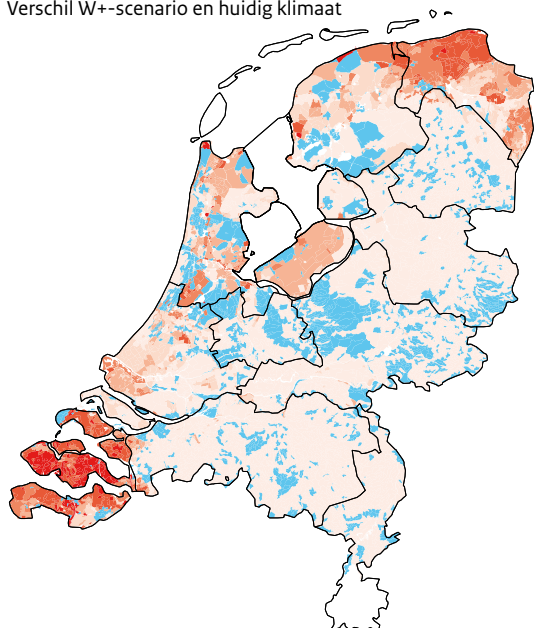
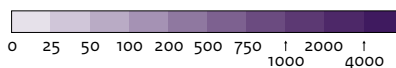
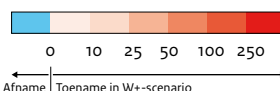

Huidig klimaat (1989)



W+-scenario



Verschil W+-scenario en huidig klimaat

Zoutconcentratie in mg Cl⁻ per literVerandering zoutconcentratie in mg Cl⁻ per liter
 Geen gegevens (Zuid-Limburg; Wadden)

Bron: Klijn et al. (2011)

van zoute kwel is en ook het inlaatwater hogere zoutconcentraties kent. Periodes met hoge (zoals in de zomer van 2003) en zeer hoge (zoals in de zomer van 1976) zoutgehalten komen relatief weinig voor (Beersma et al. 2005). Figuur 3.12 laat de zoutconcentraties zien voor een relatief droog jaar zoals 1989. Verhoogde

zoutconcentratie komen dan vooral voor de kustgebieden van Zeeland en Noord-Nederland (Klijn et al. 2011).

In tijden met (extreme) droogte en hoge zoutconcentraties moeten sommige inlaatpunten van rivierwater voor het landbouw- en drinkwater de waterinlaat stoppen (Beersma et al. 2005). Dit geldt

Figuur 3.13

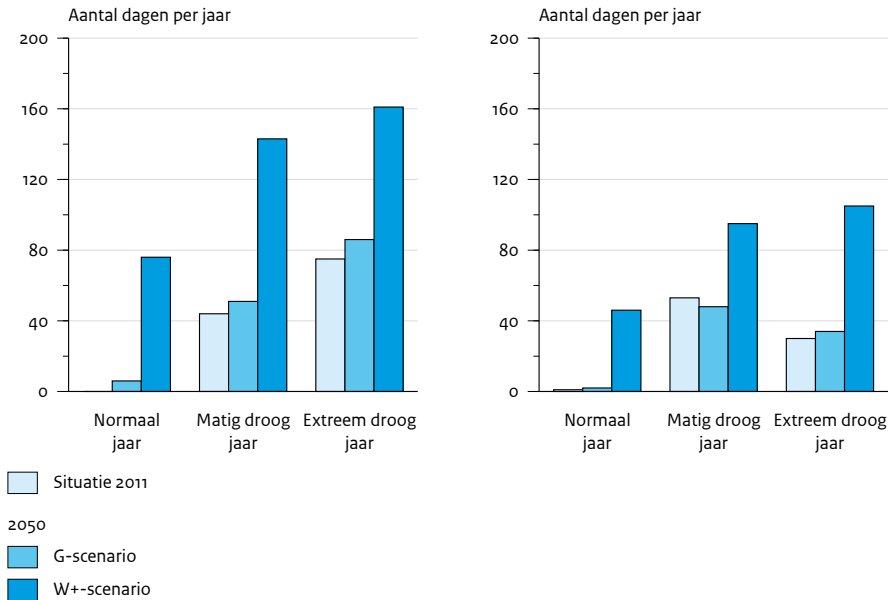
Duur van overschrijding van verziltingsgrenswaarde

Inlaat Gouda

(langer dan 48 uur boven 250 mg Cl per liter)

Inlaat Bernisse

(langer dan 7 uur boven 150 mg Cl per liter)



Bron: Deltares (2010), Deltaprogramma (2011)

Tabel 3.6

Herhalingstijden van karakteristieke zoutcondities in Rotterdam bij het huidige en het toekomstige klimaat (gebaseerd op een scenario vergelijkbaar met het KNMI'o6 G-scenario)

Karakteristiek	Voorbeeld jaar	Herhalingstijd (jaren)	
		Bij huidig klimaat	Bij mogelijk toekomstig klimaat in 2050
Matig brak	2002	1,2	1,1
Brak	1994	1,6	1,4
Gemiddeld zout	1996	3,3	2,5
Zout	2003	11,1	6,9
Extreem zout	1976 en 1990	32,1	17,6

Bron: Beersma et al. (2005)

vooral voor de inlaatpunten van Gouda en Bernisse (figuur 3.13). Andere inlaatpunten ondervinden minder problemen in dergelijke droge periodes..

Problemen rond verzilting zullen naar verwachting toenemen

Als gevolg van een voortschrijdende klimaatverandering, zeespiegelstijging en afnemende rivierafvoeren in de zomer kan de verzilting in de loop van deze eeuw verder toenemen. Vooral in gebieden in Zeeland, waar nu al

regelmatig hoge waarden worden waargenomen, en – zij het in mindere mate – in de droogmakerijen van Noord- en Zuid-Holland en de laaggelegen gebieden in Friesland en Groningen (figuur 3.12). Ook de inlaatpunten van rivierwater zullen frequenter te maken krijgen met – op basis van de huidige normering – te hoge zoutconcentraties (Beersma et al. 2005). Bij inlaatpunten als Bernisse en Gouda zal al onder een gematigd G-scenario (KNMI'o6) de frequentie van zoute en extreem zoute periodes veranderen van een lichte toename tot

Tabel 3.7

Inschatting van onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering op de waterhuishouding in Nederland

Bron: Wardekker & Van der Sluijs (2010)

	Statistisch ¹	Scenario ¹	Onwetendheid ¹
Zeespiegelstijging	++	2050: ++ 2100: ++(+ ^a)	2050: ++ 2100: +++
Hoge rivierafvoer			
- Rijn	++	2050: +(+ ^a) 2100: ++(+ ^a)	+(+)
- Maas	++	+	+
Lage rivierafvoer en droogte			
- Rijn	+	++	K
- Maas	+	++	K
Wateroverlast door extreme buien	++	++	k
Droogte		++	+

K (klein), + (redelijk), ++ (groot) of +++ (zeer groot). Een grijs gekleurd veld geeft het dominante type onzekerheden aan.

¹Zie hoofdstuk 2 voor definities

^a Wanneer het gaat om impacts en sociaaleconomische scenario's dus sterk meespelen (relevant voor het risico, wellicht minder voor de wateropgave).

bijna een verdubbeling (figuur 3.13; tabel 3.6). Meer extreme scenario's (zoals het W+-scenario bij een maximale zeespiegelstijging) leiden ertoe dat het inlaatpunt van Gouda de huidige norm gedurende bijna de helft van het jaar niet haalt (figuur 3.13). De verwachting is dat de kwaliteit van het grondwater niet noemenswaardig verandert als gevolg van klimaatverandering (Kwadijk et al. 2008).

3.5 Onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering op waterveiligheid, -beschikbaarheid en -kwaliteit

In dit hoofdstuk hebben we beschreven hoe verschillende aspecten rond het thema water veranderd zijn als gevolg van de klimaatverandering en wat Nederland op dit thema mogelijk nog te wachten staat. Voor de mogelijke toekomstige effecten laten de scenario's zeer verschillende uitkomsten zien en zijn de onzekerheden substantieel. Wel geven de scenario's meestal een eenduidig beeld en varieert vooral de grootte en snelheid van de veranderingen. Een uitzondering hierop is de Rijnafvoer in de zomermaanden. Voor de scenario's met een veranderende luchtcirculatie (G+ en W+) wordt tijdens de zomer een forse afname van de rivierafvoeren verwacht, doordat ook de zomerneerslag fors afneemt. Bij de G- en W-scenario's daarentegen wordt vrijwel geen verandering verwacht.

De onzekerheden rond het thema water worden bepaald door verschillende factoren (tabel 3.7). In het algemeen is de scenario-onzekerheid (zie hoofdstuk 2) een belangrijke factor voor de toekomstige ontwikkelingen, zeker op de lange termijn (Wardekker & Van der Sluijs 2010). Zo verschillen de scenario's aanzienlijk in hun verwachtingen voor de rivierafvoeren, de extreme neerslag en wateroverlast, en de droogte, al nemen deze wel in alle scenario's toe. Voor de neerslag in Nederland en bovenstrooms laten de klimaatscenario's een gevarieerd beeld zien. Zo neemt de tiendaagse neerslagsom die maar eens in de tien jaar wordt overschreden, tot 2100 toe met 10 procent in het G+-scenario en met 54 procent in het W-scenario (hoofdstuk 2). Verder hangt de toekomstige watervraag sterk af van de sociaal-economische ontwikkelingen (Deltaprogramma 2011).

Onzekerheden als gevolg van onwetendheid/kennisleemte spelen vooral rond het afsmelten van de grote ijskappen op de polen en de daarmee gepaard gaande gevolgen voor de zeespiegel. Om verrassingen te voorkomen is monitoring een bruikbare aanpassingsstrategie (PBL 2011). Deze vorm van onzekerheid speelt echter nauwelijks een rol bij droogte en laagwaterafvoeren.

Statistische onzekerheid speelt een rol bij de piekafvoeren van de Rijn en de Maas. Dit komt doordat de lengte van de meetreeksen nog beperkt is in vergelijking met de grote jaar-tot-jaarvariatie. Hetzelfde speelt ook rond de wateroverlast door een grote ruimtelijke en temporele variabiliteit. Want extreme neerslag is vaak iets zeer lokaals.

Effecten van klimaatverandering op natuur

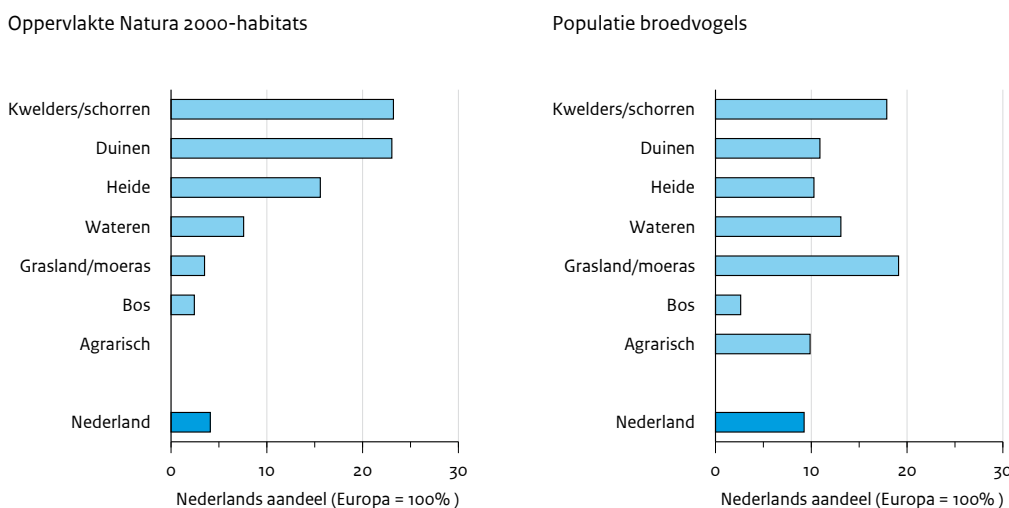
- De natuur in Nederland staat al onder druk van de klimaatverandering. Bij gelijkblijvend beleid nemen de effecten naar verwachting verder toe:
 - Koude-minnende soorten nemen in aantal af, warmte-minnende soorten nemen toe. Het Nederlandse klimaat wordt geschikt voor nieuwe soorten.
 - Migratiepatronen van trekvogels veranderen. Doordat het groeiseizoen vroeger begint, kunnen relaties in de voedselketens worden verstoord. Deze veranderingen zijn al waargenomen maar hebben nog niet geleid tot dalende populaties.
 - De soortensamenstelling van de natuur kan aanzienlijk veranderen. Ook kunnen veel standplaatscondities, zoals waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit, beïnvloed worden, wat indirecte gevolgen heeft voor de natuur.
- Klimaatverandering versterkt de effecten van andere drukfactoren op de natuur en vice versa. Zo versterkt klimaatverandering de effecten van verdroging en versterkt versnippering de effecten van klimaatverandering.
- De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en het Natura 2000-netwerk bieden goede bouwstenen om de Nederlandse natuur meer klimaatbestendig te maken. Dit vraagt wel om een herijking van de rijksvisie op de EHS, waarbij de voorkeur wordt verlegd naar bepaalde gebieden. Hierbij gaat het erom zowel gebieden binnen internationale klimaatcorridors (moeras en duin & kust) als ook gebieden binnen samenhangende clusters (heide, bos) te verbinden, te vergroten en te verbeteren. De klimaatbestendigheid van de corridors kan verder worden vergroot door aan te sluiten bij het Europese Natura 2000-netwerk in landen om ons heen. Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen omdat de huidige natuurdoelen statisch zijn gedefinieerd. Met een verdergaande klimaatverandering zal de haalbaarheid van deze doelen namelijk afnemen, evenals de kans dat Nederland aan zijn internationale verplichtingen zal kunnen voldoen.
- Onzekerheden rond de toekomstige effecten van klimaatverandering op de natuur zijn groot. Bij natuur gaat het vooral om onwetendheid of kennisleemtes die te maken hebben met verbanden tussen de vele factoren die de natuur beïnvloeden.

4.1 Inleiding

Natuur is een belangrijke gebruiksfunctie in het landelijk gebied. Daarbij moet 'natuur' gezien worden als een breed begrip met veel facetten: planten en dieren, stofkringlopen en relaties in de voedselketen, koolstof en energie, het afsterven, verplaatsen en opkomen van soorten, en de ontwikkeling van ecosystemen.

Duinen, heide, kwelders/schorren en enkele watertypen, waaronder de Waddenzee, zijn karakteristiek voor Nederland als delta van Europa; zij zijn veelal aangewezen als Natura 2000-gebied (figuur 4.1). De natte ecosystemen in ons land – kwelders, schorren, wateren,

Figuur 4.1
Internationaal belang van Nederlandse natuur, 2000



Bron: PBL (2010)
De natuur in Nederland is in Europese context bijzonder te noemen

moerassen en graslanden – zijn internationaal van belang voor broedvogels. Een relatief groot deel van de (Noord-Atlantisch) Europese populatie broedt in Nederland of gebruikt ons land als tussenstop tijdens hun trek van Arctische broedgebieden naar overwinteringsgebieden in Afrika. Nederland heeft dan ook een internationale verantwoordelijkheid om deze typen natuur te behouden. Bovendien verleent de natuur in Nederland allerlei andere diensten, zoals recreatie, drinkwatervoorziening en bescherming tegen overstromingen.

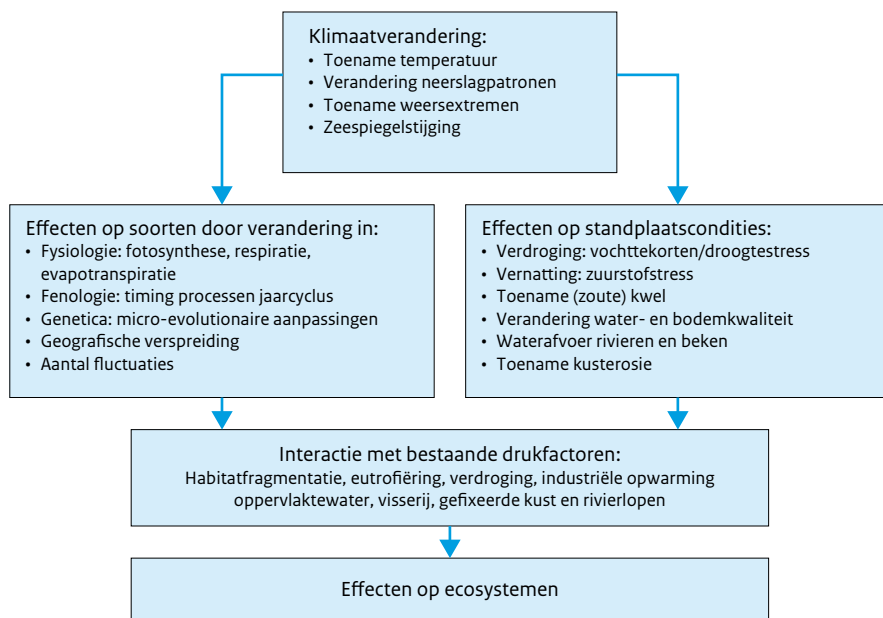
Dankzij het milieu- en natuurbeleid is de milieudruk op de natuur in Nederland afgenomen en zijn natuurgebieden vergroot en verbonden. Ondanks deze verbetering blijven verdroging, vermessing, verzuring, klimaatverandering en een te grote versnippering belangrijke knelpunten voor de natuur (PBL 2009, 2010). Hierdoor neemt in veel ecosystemen de biodiversiteit nog steeds af (PBL 2008). Vooral populaties van kwetsbare en veelal zeldzame soorten gaan nog steeds achteruit. Deze achteruitgang wordt deels gecompenseerd door de toename van algemenere soorten. In hoeverre ecosystemen anders zullen gaan functioneren als de soortensamenstelling verandert, hangt af van de rol die de verdwenen soorten in de ecosystemen vervulden (Kramer & Geijzenorffer 2009).

Dit hoofdstuk geeft een actueel beeld van de waargenomen en mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering op de natuur. Hierbij moet steeds in het achterhoofd worden gehouden dat

klimaatverandering maar één van de drukfactoren is die de natuur beïnvloedt.

Klimaatverandering biedt kansen voor bepaalde vormen van natuur en bedreigingen voor andere. Hierbij is de gevoeligheid van soorten sterk verschillend (Blom et al. 2009), onder andere door een verschil in de afstand waarover soorten kunnen migreren. Ook heeft klimaatverandering op verschillende manieren invloed op de natuur (figuur 4.2). Enerzijds beïnvloedt de klimaatverandering de standplaatscondities van soorten, zoals vocht- en nutriëntenbeschikbaarheid en bodemkwaliteit. Zo kunnen nutriëntarme ecosystemen in de problemen komen door versnelde bodemprocessen, waardoor meer voedingsstoffen vrijkomen (Heijmans & Berendse 2009). Anderzijds heeft klimaatverandering ook een directe invloed op het doen en laten van soorten. Temperatuurstijging, veranderingen in neerslag en weersextremen zoals droogtes kunnen tot schommelingen leiden in populatiegrootte. Dit doordat het klimaat doorwerkt op de fysiologie/groei, de timing van fenologische processen zoals startdatum van eileg en bloei van soorten, en de geografische verspreiding van soorten. Ook reageren soorten verschillend op veranderingen in het klimaat. Dit kan weer leiden tot een verandering van de concurrentieverhoudingen tussen soorten binnen ecosystemen, tot een verstoring van relaties in voedselketens en een veranderende gevoeligheid ten opzichte van andere drukfactoren (PBL 2010). Een aantal van deze effecten komt in dit hoofdstuk aan de orde.

Figuur 4.2
Effecten van klimaatverandering op natuur



Bron: PBL (2010)

Ecosystemen zijn gevoelig voor een combinatie van klimaatverandering en bestaande drukfactoren, zoals habitatfragmentatie.

4.2 Waargenomen veranderingen

Koudeminnende soorten gaan achteruit, nieuwe soorten nemen toe

Door temperatuurstijging en verandering in neerslagpatronen kunnen planten en dieren in de verdrinking komen voor wie Nederland de zuidkant van hun verspreidingsgebied vormt (dat wil zeggen: de koudeminnende soorten). Daarentegen kunnen soorten waarvoor het klimaat in Nederland voorheen te koud was, hun leefgebied juist uitbreiden (de warmteminnende soorten). Dit geldt tenminste als de soorten voldoende mobiel zijn, hier een geschikt leefgebied hebben en de concurrentie met bestaande soorten aankunnen. Verder kan, naast de verandering in geografische verspreiding, ook de populatieomvang op bestaande locaties veranderen.

Ruim 7 procent van de kenmerkende soorten in Nederland is koudeminnend (Vos et al. 2008). De verdeling van koude- en warmteminnende soorten verschilt sterk over de natuur in Nederland. Typen natuur met een groot aandeel koudeminnende soorten zijn:

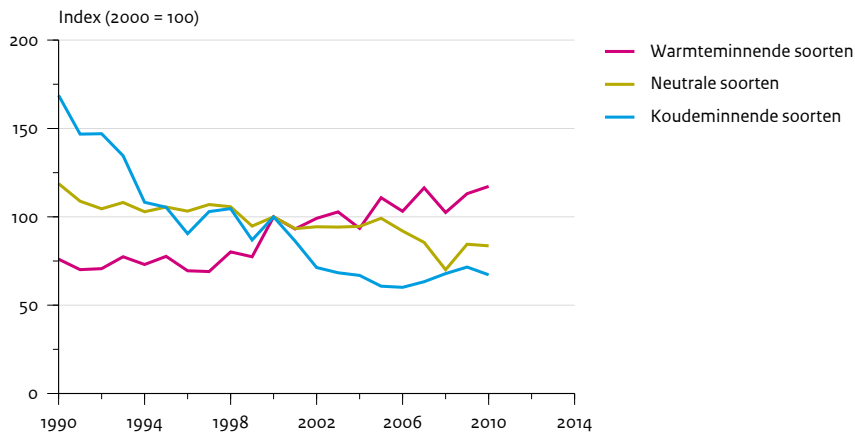
- natte heide en hoogveen (inclusief vennen);
- zandverstuiving;

- bos van arme zandgronden;
- natte graslanden (zowel schaal als matig voedselrijk).

Deze typen natuur lopen dus een grotere kans om soorten te verliezen doordat het klimaat in Nederland minder geschikt wordt. Met name kleine populaties kunnen in de problemen komen (Vos et al. 2007; Jentsch & Beierkuhnlein 2008).

Veranderingen in verspreidingsgebied en populatieomvang zijn veelvuldig waargenomen in Nederland (Nijhof et al. 2007; CBS et al. 2011b). Figuur 4.3 laat zien dat koudeminnende soorten vooral in de jaren negentig – toen de temperatuur in de wereld, inclusief Nederland, relatief sterk toenam – in aantal achtergingen, terwijl warmteminnende soorten profiteren van de gestegen temperatuur. Een verschuiving in populatieomvang is waargenomen voor allerlei soortgroepen, zoals vogels, insecten en amfibieën (figuur 4.3), kostmossen (CBS et al. 2010), paddenstoelen (Arnolds & Veerkamp 2008) en planten (Tamis et al. 2005). Voor enkele koudeminnende soorten, zoals enkele kikkersoorten, geldt dat zij in aantal achteruit zijn gegaan, al is deze achteruitgang in afgelopen tien jaar door effectieve beschermingsmaatregelen tot stilstand gekomen (CBS et al. 2011c).

Figuur 4.3
Invloed klimaatverandering op soorten



Bron: Nijhof et al. (2007), CBS et al. (2011b)

Koudeminnende soorten gaan de laatste decennia in aantal achteruit, al is de situatie sinds 2006 stabiel dan daarvoor. Warmteminnende soorten nemen in aantal toe. Neutrale soorten laten een kleine achteruitgang zien. Deze gegevens zijn gebaseerd op een steekproef van 60 soorten vogels, vlinders en amfibieën.

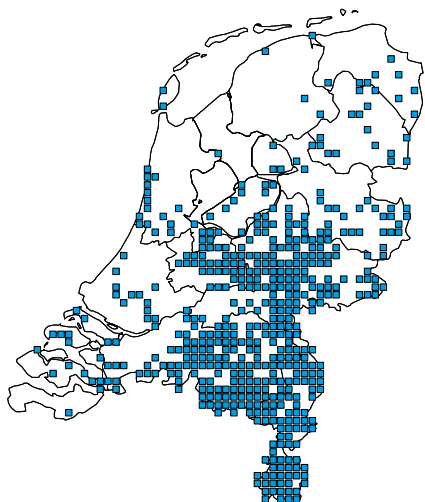


Het is nu al zichtbaar dat koudeminnende soorten als de heikikker in aantal achteruitgaan. Warmteminnende soorten, zoals de vlindersoort koninginpage, zijn in aantal vooruitgegaan

Het Nederlandse klimaat wordt door de opwarming geschikt voor veel soorten waarvoor het voorheen te koud was. Bekende warmteminnende nieuwkomers zijn de wespenspin (figuur 4.4), de eikenprocessierups en enkele krekellosoorten. De wespenspin kwam tot jaren tachtig/negentig van de vorige eeuw niet of alleen in het zuiden van ons land voor. Intussen komen ze voor in grote delen van ons land, inclusief de Waddeneilanden (Moraal et al. 2004; Van Oudenhoven 2008; CBS et al. 2011e).

Ook in de Noordzee zijn soortenveranderingen waargenomen die deels gerelateerd kunnen worden aan de klimaatverandering (ICES 2009; Brander 2010; Teal 2011; Van Hal et al. 2011). Dit geldt voor veel soortgroepen van zoöplankton tot sommige vissoorten, maar niet voor marine zoogdieren zoals dolfijnen en zeehonden (Van Hal et al. 2011). Zo zijn planktonsoorten van gematigde gebieden toegenomen in de Noordzee, terwijl de subarctische soorten in aantal zijn afgenomen (ICES 2009; Brander 2010). Door een combinatie van warmer Noordzeewater en een afname van de predatiedruk door

Figuur 4.4
Verspreiding wespenspin, 2006



Bron: CBS et al. (2011e)

De wespenspin breidt zich uit over Nederland. Deze soort werd in Nederland voor het eerst waargenomen in 1980 in Zuid-Limburg.

grote vissen, als gevolg van de intensieve visserij, hebben vooral kleine zuidelijke vissoorten hun leefgebied naar de Noordzee kunnen uitbreiden (Tasker 2008; Hiddink & Ter Hofstede 2008; Van Hal et al. 2011). Het totaal aantal vissoorten is toegenomen doordat nieuwe (zuidelijke) soorten erbij zijn gekomen, maar bestaande soorten niet zijn verdwenen (Hiddink & Ter Hofstede 2008). De veranderingen in de vispopulaties zijn niet uitsluitend aan klimaatverandering toe te schrijven; door de selectieve druk van de intensieve visserij staan sommige soorten onder druk, terwijl andere soorten hiervan profiteren. Dit heeft ook gevolgen voor het verspreidingspatroon van vissoorten (Brander 2010).

Migratiepatronen van trekvogels veranderen

Nederland wordt door zijn geografische ligging en goede mogelijkheden om te foerageren en te rusten, aangedaan door grote aantallen winter- en trekvogels. Wijzigingen in het weer en het klimaat hebben ook invloed op de migratiepatronen van trekvogels. Het aantal vogels vanuit het noorden dat in Nederland overwintert is afgenomen, terwijl een steeds groter deel van de Nederlandse broedvogels in Nederland blijft en niet meer naar zuidelijker streken weg trekt (SOVON 2011). Deze verschuivingen hangen waarschijnlijk samen met de mildere winters. Als reactie op de hogere wintertemperaturen is het centrum van de winterverspreiding van steltlopers geleidelijk opgeschoven in (voornamelijk) noordoostelijke richting, bij de zilverplevier zelfs met 115 kilometer (Maclean et al. 2008; Devictor et al. 2008). In warmere winters blijven

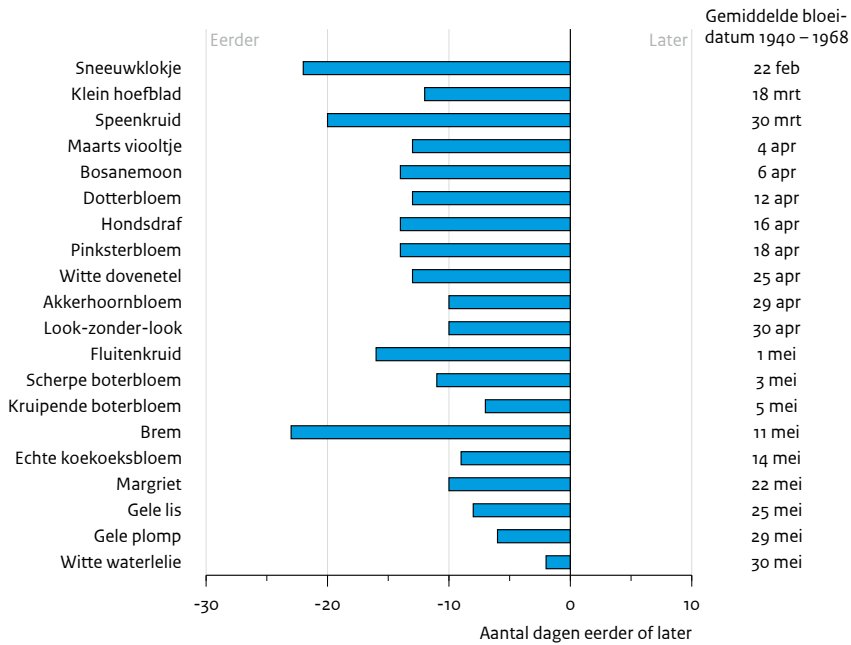
veel trekvogels (vooral kortereafstandstrekkingen) dichter bij huis dan in koude winters (Visser et al. 2009).

Groeiseizoen begint steeds vroeger

Een van de meest duidelijke effecten van klimaatverandering op de natuur in Nederland is een verschuiving van de groeiseizoenen (zie ook de Natuurkalender, www.natuurkalender.nl; CBS et al. 2010c). Planten bloeien nu eerder dan rond 1950 (figuur 4.5), insecten verschijnen vroeger, en vogels leggen vroeger hun eieren (figuur 4.6). Zo is de bloei van voorjaarsplanten zoals speenkruid in de laatste vijftig jaar met twee tot drie weken vervroegd. Veel zangvogels zijn over de periode 1986 tot 2009 bijna tien dagen eerder begonnen met de eileg; de grootste verandering hierbij vond plaats begin jaren negentig en een meer beperkte vervroeging vond plaats in afgelopen vijf jaar. Hogere temperatuur in het voorjaar spelen hierbij met grote waarschijnlijkheid een belangrijke rol (SOVON 2011).

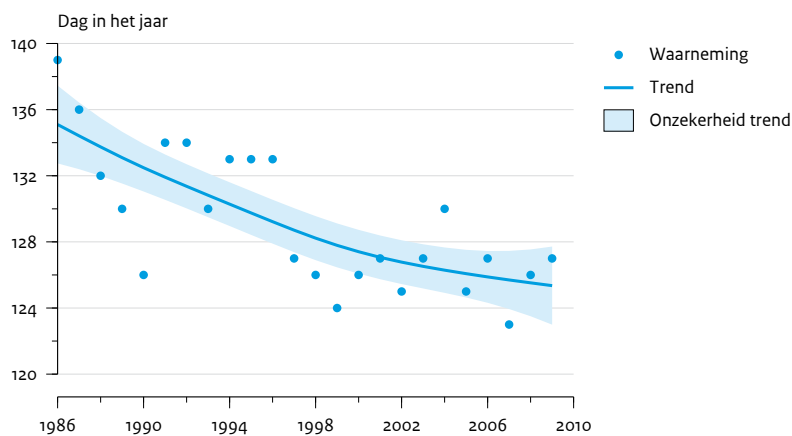
Wat deze verschuiving in het groeiseizoen voor consequenties heeft voor de biodiversiteit en het functioneren van de natuur, is onduidelijk. Er kunnen mismatches in de voedselketen ontstaan doordat planten en dieren niet hetzelfde reageren op een warmer voorjaar (Both et al. 2009; Durant et al. 2007). Verschijnselen die eerst goed in de tijd samenvielen, kunnen dan minder goed op elkaar gaan aansluiten. Zo kunnen jonge vogels op een ander moment geboren worden dan dat er een piekaanbod in het voedsel aanwezig is (Schweiger 2008). Sommige vogels – zoals veel zangvogels en de

Figuur 4.5
Verandering van bloei in periode 2001 – 2005 ten opzichte van periode 1940 – 1968



Bron: CBS et al. (2010c)
Planten bloeien nu eerder dan rond 1950.

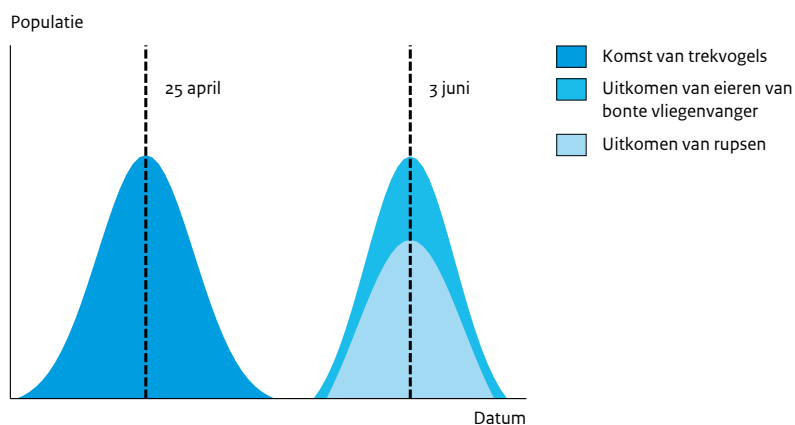
Figuur 4.6
Eilegdatum zangvogels



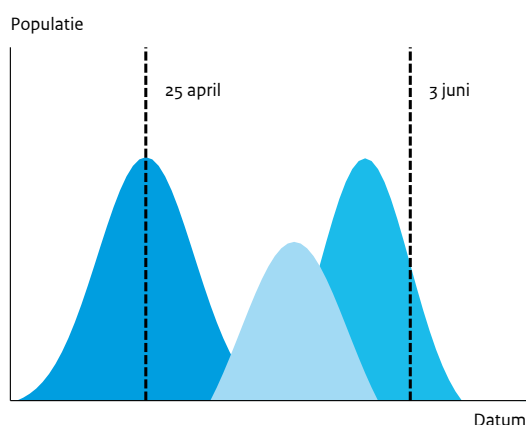
Bron: CBS et al. (2012)
Veel zangvogels zijn bijna tien dagen eerder begonnen met de eileg, ten opzichte van 1986. De grootste verandering hierbij vond plaats begin jaren negentig.

Figuur 4.7
Effecten van klimaatverandering op voedselketen van bonte vliegenvanger

Match (1980)



Mismatch (2000)



Bron: SOVON (2007)

Effecten van de klimaatverandering op de voedselketen van de bonte vliegenvanger. De vogel heeft zijn legtijd onvoldoende kunnen vervroegen om het verschijnen van de jongen te laten samenvallen met de piek in het rupsenaanbod.

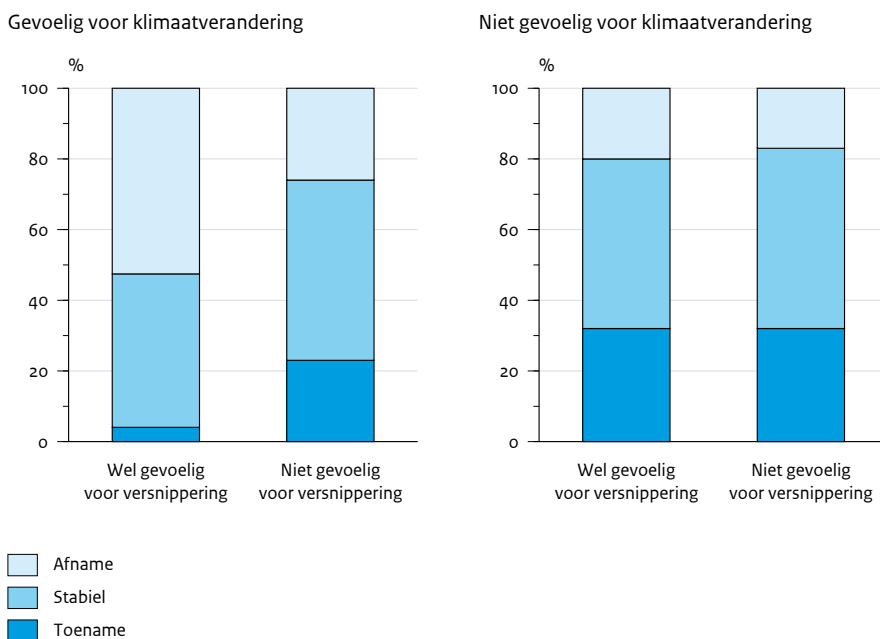
pimpelmees – passen zich aan door hun eieren veel eerder te leggen. Andere soorten doen dit niet (voldoende). Dit geldt bijvoorbeeld voor veel trekvogels, zoals de bonte vliegenvanger. Deze heeft zijn legtijd nog maar met tien dagen kunnen vervroegen, terwijl de piek in het rupsenaanbod nu vijftien dagen eerder is dan in de jaren tachtig van de vorige eeuw (SOVON 2007, 2011; figuur 4.7). Dit komt omdat de vogels pas bij aankomst in Nederland merken dat ze de insectenpieken dreigen te gaan missen. De vogels komen namelijk nauwelijks vroeger terug dan gebruikelijk. In een poging dat te compenseren beginnen de vogels sneller na aankomst te broeden (zonder eerst op krachten te komen). Desondanks komen de jongen veelal te laat uit om van de rupsenpieken te kunnen profiteren. Deze mismatch heeft

tot op heden nog niet geleid tot dalende aantallen van de bonte vliegenvanger (PBL 2010; CBS et al. 2011d; SOVON 2011). De vogels hebben zich kunnen aanpassen, bijvoorbeeld door andere voedselbronnen te vinden en het broedgebied aan te passen (SOVON 2011). Het is echter onzeker of een verdere aanpassing mogelijk is wanneer de klimaatverandering verder doorzet.

Klimaatverandering beïnvloedt standplaatscondities

Klimaatverandering, bijvoorbeeld temperatuurstijging en verandering van neerslagpatronen, werkt door op lokale standplaatscondities. Afhankelijk van hoe de totale klimaatverandering zal uitpakken, kan dit positief of negatief uitwerken voor het functioneren van soorten en

Figuur 4.8
Plantensoorten, 1988 – 1999 ten opzichte van 1975 – 1987



Bron: Ozinga et al. (2007)

De helft van de Nederlandse plantensoorten die gevoelig zijn voor versnippering én voor klimaatverandering, vertoont een negatieve trend. Bij soorten die alleen gevoelig zijn voor versnippering is dit 20 procent.

ecosystemen. Dit geldt zowel voor de natuur op het land als voor de waternatuur.

In het algemeen geldt dat de klimaatverandering tot op heden beperkte effecten heeft op de standplaatsfactoren, zeker ten opzichte van wat in de komende decennia mogelijk op de natuur afkomt (zie volgende paragraaf). Standplaatscondities die de afgelopen decennia, mede door de al waargenomen klimaatverandering, zijn veranderd, hebben vooral te maken met water. Neem bijvoorbeeld de hogere watertemperatuur in de rivieren en de Noordzee (Puijenboek et al. 2009; Van Hal et al. 2011) en de verzilting in vooral Zuidwest-Nederland (Witte et al. 2009a; PBL 2010).

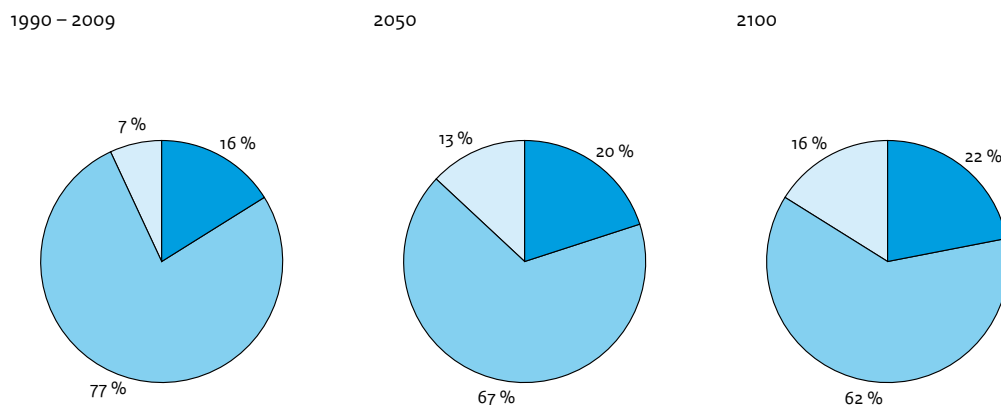
Bij een hogere watertemperatuur kan het water minder zuurstof bevatten. Lage zuurstofconcentraties zijn waargenomen langs de Noordzeekust (Pörtner & Knust 2007) en in de Nederlandse rivieren, al heeft dat in de rivieren nog weinig geleid tot kritieke situaties (Deltares 2008). Mogelijk houdt dit verband met een algehele verbetering van de waterkwaliteit (CBS et al. 2011f). Hogere watertemperaturen kunnen bij koudbloedige soorten zoals vissen leiden tot een verhoging van de interne temperatuur, waardoor ze slechter gaan functioneren. Grotere organismen hebben in het

algemeen meer zuurstof nodig en zullen dus eerder last ondervinden van een dalende zuurstofbeschikbaarheid. Vooral 's zomers kunnen de omstandigheden minder gunstig worden voor de nu aanwezige soorten. Hoe de watertemperatuur en het zuurstofgehalte in het water zich in de toekomst zullen ontwikkelen, is onzeker. De uiteindelijke effecten zullen veelal afhangen van de keuzes die waterbeheerders maken met betrekking tot veranderende waterbeschikbaarheid en -kwaliteit, en van het gebruik van het water, bijvoorbeeld voor koeling door de industrie.

Klimaatverandering versterkt de huidige drukfactoren

Klimaatverandering is maar één van de drukfactoren die de natuur in Nederland beïnvloedt. Factoren als verdroging, verzilting, eutrofiëring en versnippering spelen tot op heden vaak een dominante rol (PBL 2009, 2010). Klimaatverandering kan de effecten van deze drukfactoren versterken en dit geldt ook omgekeerd (Piessens et al. 2008). Zo helpt het creëren van grotere leefgebieden, bedoeld om versnippering tegen te gaan, soorten om te blijven overleven bij een (snelle) klimaatverandering (Schippers et al. 2011). Dat de effecten van klimaatverandering en versnippering elkaar kunnen versterken, blijkt ook uit een trendanalyse van de

Figuur 4.9
Verdeling van soorten naar geschikte klimaatzone



Soorten die voorkomen in Nederland in de periode 1990 – 2009 en waarvan de geschikte klimaatzone in Nederland

- Uitbreidt
- Centraal blijft
- Krimpt

Bron: Van der Veen et al. (2010); bewerking PBL (2010) (gebaseerd op verschillende klimaatscenario's en empirische data)

Een aanzienlijke verandering in soortensamenstelling van de natuur is mogelijk. De verdeling van soorten naar geschikte klimaatzones is weergegeven bij het huidige en mogelijke klimaat in 2050 en 2100.

Nederlandse planten (figuur 4.8). Ongeveer de helft van de onderzochte Nederlandse plantensoorten, die zowel gevoelig zijn voor versnippering als voor klimaatverandering, vertoont een negatieve trend over afgelopen veertig jaar; bij soorten die alleen gevoelig zijn voor versnippering is dit maar ongeveer 20 procent (Ozinga et al. 2007). Ook zal klimaatverandering het effect van verdroging kunnen versterken. Zo neemt door het vaker voorkomen van droge periodes de kans op herstel van een hoogveen af (Bijlsma et al. 2011). En de effecten van de visserij op kabeljauw zijn versterkt door een omslag in de stromingspatronen in de Noordzee (Brander 2010).

4.3 Mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering op de natuur

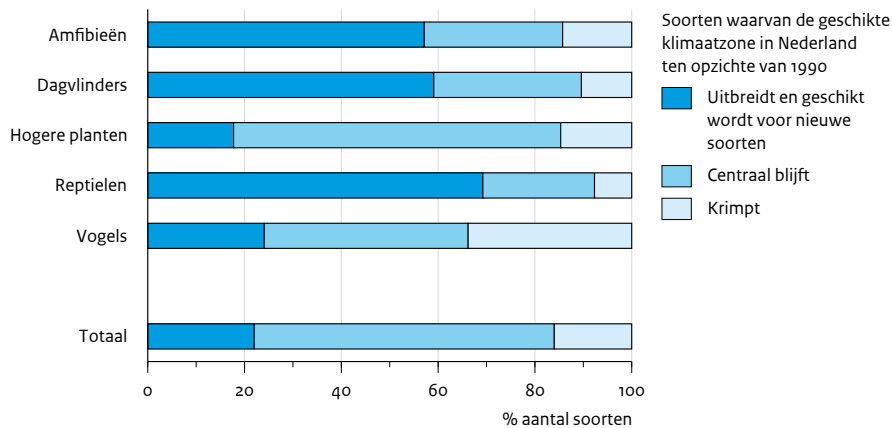
De onzekerheid over de toekomstige effecten van klimaatverandering op de natuur in Nederland is groot. Maar de verwachting is dat, gezien de mogelijke klimaatverandering (hoofdstuk 2), de effecten in de toekomst groter zullen zijn dan tot op heden is waargenomen. Ook hiervoor geldt dat de veranderingen voor

sommige plant- en diersoorten gunstig zullen zijn, en voor andere negatief. Daarbij is het aanpassingsvermogen van soorten belangrijk. Soorten die zich snel vermenigvuldigen of die zich snel kunnen verplaatsen, hebben in het algemeen een hoog aanpassingsvermogen en zullen van de klimaatverandering kunnen profiteren. Andere soorten zullen het moeilijker krijgen. De snelheid waarmee de klimaatverandering zal optreden, bepaalt eveneens het effect. Als een geschikte klimaatzone erg snel opschuift, kunnen soorten het tempo minder bijhouden en krimpt hun verspreidingsgebied (Schippers et al. 2011). In sommige gevallen kan een temperatuurstijging van tot 0,2°C per tien jaar nog positief uitwerken; een snellere verandering kan soorten en ecosystemen uit evenwicht brengen, en daarbij ook gevoeliger maken voor niet-klimaatgerelateerde factoren.

Verandering in geografische verspreiding

Modellsimulaties helpen om in kaart te brengen hoe leefgebieden van soorten kunnen verschuiven en waar eventuele onderbrekingen in leefgebieden de verschuiving in verspreiding kunnen blokkeren. Dit soort studies laat zien dat geschikte klimaatzones van veel plant- en diersoorten verschuiven doordat de temperatuur verder stijgt en neerslagpatronen veranderen. Afhankelijk van de mate en het tempo

Figuur 4.10
Verdeling naar geschikte klimaatzone, 2100



Bron: Van der Veen et al. (2010); bewerking PBL (2010) (gebaseerd op verschillende klimaatscenario's en empirische data)

Het aantal soorten waarvoor het klimaat in Nederland in 2100 geschikt wordt, neemt volgens de modellen toe voor amfibieën, dagvlinders en reptielen. Voor hogere planten blijft de verdeling vrijwel gelijk, terwijl het klimaat in Nederland voor een relatief groot deel van de vogels ongeschikt wordt.

waarin klimaatverandering optreedt, kan deze verschuiving groot of juist klein zijn (Geertsema et al. 2009; Van der Veen et al. 2010; figuur 4.9). Bij een extreem klimaatscenario zou in 2100 bijna 40 procent van de huidige kenmerkende soorten in Nederland 'in beweging' kunnen komen, omdat de klimaatzone in Nederland krimpt (16 procent) of juist uitbreidt (22 procent). Naar verwachting zal deze ontwikkeling tot een aanzienlijke verschuiving in de soortensamenstelling van de natuur leiden. Relatief grote verschuivingen worden verwacht voor soorten in de natteheide- en hoogveen-gebieden en binnen de soortgroep vogels (Van der Veen et al. 2010). Voor deze soorten zal het klimaat in Nederland minder geschikt worden. Voor amfibieën, dagvlinders en reptielen daarentegen wordt Nederland potentieel meer geschikt (figuur 4.10). Hierbij gaat het zowel om een uitbreiding van soorten die nu al in Nederland voorkomen als om nieuwe soorten waarvoor Nederland voorheen te koud was. Voorbeelden van mogelijke nieuwe soorten zijn de cetti's zanger en de marmersalamander (PBL 2010). Voor deze soorten geldt wel dat er leefgebieden beschikbaar moeten zijn. Ook bepalen soorteninteracties en de aanwezigheid van prooidieren de kans of dit soort soorten zich daadwerkelijk in ons land gaan vestigen.

Verandering in standplaatscondities en effecten op natuur

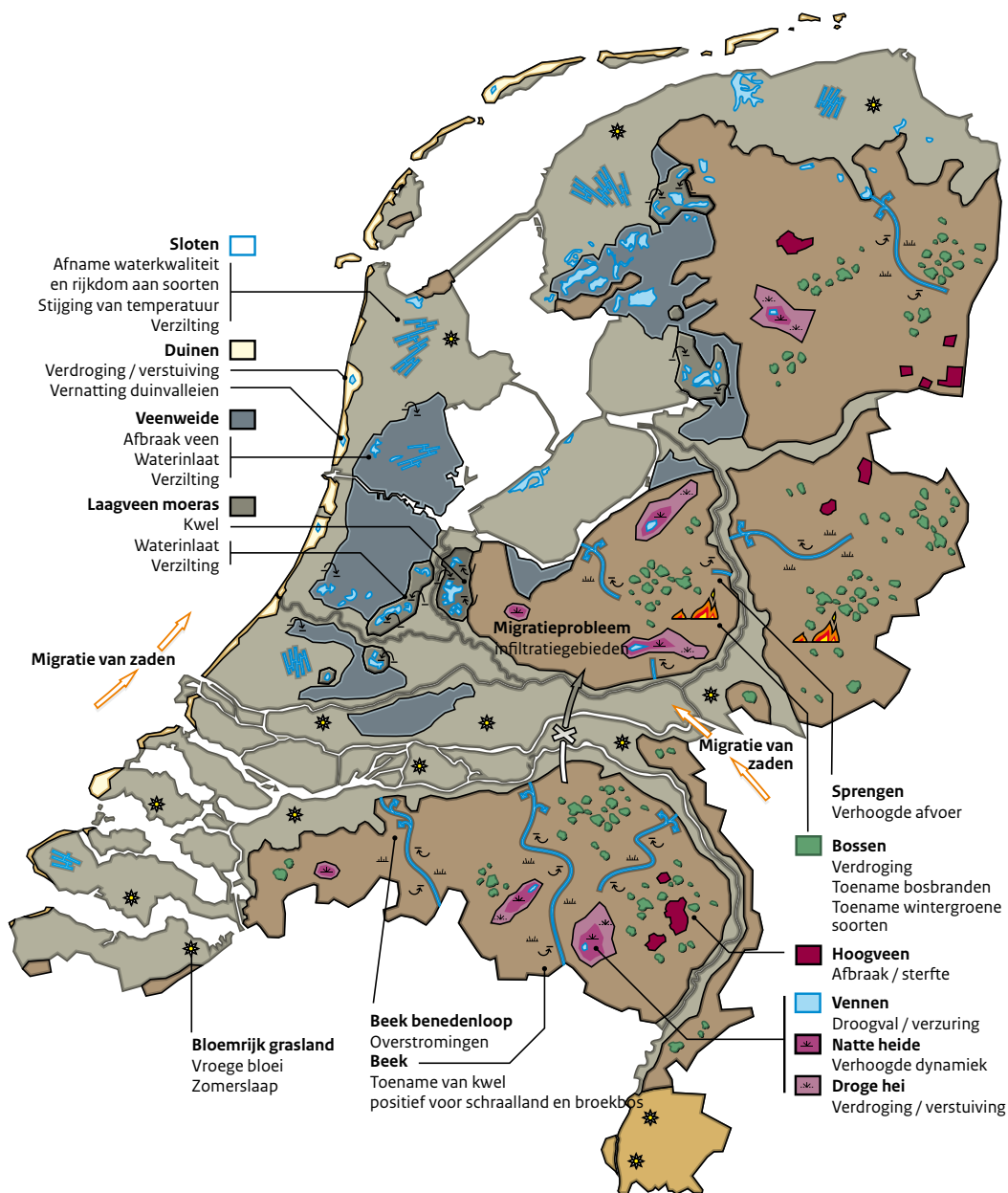
De verwachting is dat de voortschrijdende klimaatverandering ook zal doorwerken op de beschikbaarheid en de kwaliteit van water. Onder de

KNMI'o6 G- en W-scenario's – waarbij geen verandering in luchtcirculatie optreedt (hoofdstuk 2) – zal de frequentie van zomerdroogte gelijk blijven of licht toenemen. In de scenario's met circulatieverandering (KNMI'o6 G+- en W+-scenario's) daarentegen zal het watertekort aanzienlijk toenemen. Deze mogelijke veranderingen hebben directe of indirecte consequenties op de natuur in Nederland (figuur 4.11). Vooral ecosystemen die sterk afhankelijk zijn van regenwater, worden beïnvloed (Witte et al. 2009a, 2009b, 2012). Hierbij gaat het bijvoorbeeld om ecosystemen op de hogere zandgronden en stuwwallen, zoals droge heide en droge bossen. Deze zullen te maken krijgen met een (sterk) toenemend vochttekort in het groeiseizoen. Dit zal leiden tot een opener vegetatie en een toename van het aandeel vroege bloeiers en soorten die in zomerslaap gaan.

Verder kan de ontwikkeling van natte ecosystemen, zoals hoogveen en natte heide, onder met name het W+-scenario moeilijk worden (PBL 2010). Dit door een toenemende vochtdynamiek, waardoor zeer natte en droge periodes elkaar frequenter zullen afwisselen. Onder de andere scenario's is deze verandering veel kleiner.

Ten slotte zal bij een toenemende frequentie van aanhoudende droge periodes (dus vooral mogelijk onder de G+- en W+-scenario's) de bodem vaker uitdrogen. In die situaties is er, bijvoorbeeld, sprake van een verhoogd risico op natuurbranden (Boosten et al. 2009; zie tekstbox 4.1). Nu valt het in Nederland over het algemeen wel mee met de risico's op natuurbranden. Maar in een

Figuur 4.11
Watercondities en vegetatie na klimaatverandering



Bron: Witte et al. (2009a, 2009b)

Klimaatverandering zal vooral gevolgen hebben voor vegetaties die voor hun watervoorziening geheel zijn aangewezen op de atmosfeer.

zeer droog jaar zoals 2003 was het aantal berm-, bos-, en heidebranden drie keer hoger dan gemiddeld (CBS 2004). Een zomer als die van 2003 zou rond 2050 in het W+-scenario vrij normaal zijn (KNMI 2009; zie ook hoofdstuk 2). Of dit ook daadwerkelijk leidt tot meer en grotere natuurbranden is grotendeels nog onduidelijk, omdat hierbij veel andere factoren een rol spelen, zoals vegetatietypen (Schelhaas & Moriono 2007). Er zal in

ieder geval sprake zijn van een verhoogd risico. Een risico dat weer te beperken is door het mee te nemen in het beheer, en door de effectiviteit te verbeteren waarmee branden kunnen worden voorkomen, opgespoord en bestreden.

Daar staat tegenover dat de biodiversiteit van laagveenmoeras, bijvoorbeeld aan de westelijke Utrechtse

4.1 Natuurbranden: een onderschat omgevingsrisico

In Nederland hebben de afgelopen jaren diverse grote natuurbranden gewoed. Voorbeelden zijn de duinbranden bij Bergen/Schoorl in Noord-Holland (nazomer 2009, april 2010 en april 2011), op de Strabrechtseheide in Noord-Brabant (juli 2010), in het Drentse Fochteloërveen (april 2011) en de veenbrand in natuurgebied Aamsveen bij Enschede (juni 2011).

Uit onderzoek is gebleken dat de kans op een grote natuurbrand aanzienlijk is. In het grootste bos- en natuurgebied van ons land, de Veluwe, is deze kans gemiddeld eens in de 25 jaar, en een keer per twee jaar in jaren met grote droogte (Van Gulik 2008). Deze kans is daarmee aanzienlijk groter dan maatschappelijk aanvaardbaar wordt geacht voor andere omgevings-*risico's*, zoals overstromingen en vervoer, opslag en gebruik van gevaarlijke stoffen.

In de Nationale Risicobeoordeling (BZK 2009) zijn acht scenario's uitgewerkt die kunnen leiden tot maatschappelijke verstoring en aantasting van de vitale belangen van Nederland. Eén ervan is het scenario 'Onbeheersbare natuurbrand en grootschalige evacuatie'. De waarschijnlijkheid van dit scenario is geclassificeerd als 'zeer voorstelbaar' en is representatief bevonden voor gebieden als de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en Sallandse Heuvelrug. Gesteld is dat aanvullend onderzoek nodig is naar de representativiteit van dit scenario voor andere natuurgebieden (duin, heide, loofbos en veen). De rapporteurs constateren: "Een onbeheersbare natuurbrand kan zich snel uitbreiden tot een grootschalig incident met een niet te onderschatten impact" (BZK 2009). Immers: natuurgebieden in Nederland zijn intensief verweven met uiteenlopende gebruiksfuncties en vitale infrastructuur. Een natuurbrand heeft dan ook niet alleen gevolgen voor de natuur, maar brengt ook *risico's* met zich en effecten op de economie, de recreatie en de samenleving als geheel. Zo halen – wellicht verrassend – drinkwaterbedrijven een substantieel deel van hun drinkwater uit putten die in natuurgebieden liggen.

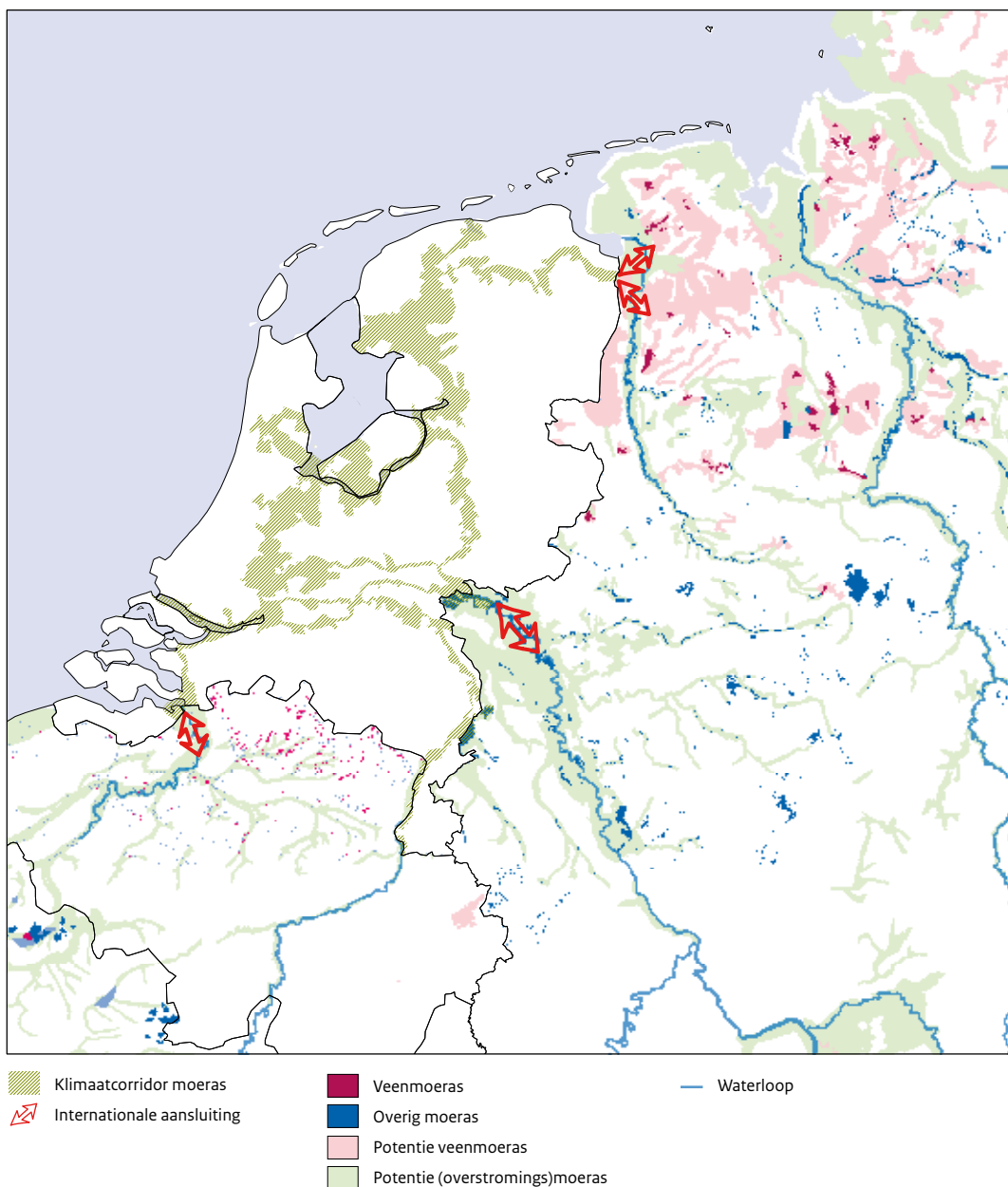
O oplossingen om de *risico's* van natuurbranden te verlagen, raken aan veel beleidsterreinen, vooral op het gebied van de ruimtelijke ordening en natuurbeheer en -onderhoud, zoals het al dan niet laten liggen van omgevallen bomen en snoeihout. Toch vormen natuurbranden in Nederland een beleidsarm dossier in vergelijking met andere fysieke veiligheidsrisico's. Een heldere verantwoordelijkheidsverdeling ontbreekt tussen diverse publieke en private partijen die een rol spelen in de veiligheidsketen. Provincies en gemeenten hebben een belangrijke regisserende rol, gezien hun verantwoordelijkheden op het gebied van natuur, ruimtelijke ordening, leefomgeving, economie en recreatie. Grote vraag is wat deze verantwoordelijkheid inhoudt met het oog op de decentralisatie van rijkstaken op het terrein van ruimtelijke ordening, natuur en recreatie naar de provincie (I&M 2011). Onduidelijk is of en in welke mate het Rijk systeemverantwoordelijkheid in deze blijft houden. De Inspectie Openbare Orde en Veiligheid (IOOV) heeft in haar recente themarapport *Natuurbranden* (2011) de wenselijkheid van een heldere verantwoordelijkheidsverdeling en interbestuurlijke samenwerking aangegeven. Ook heeft de Inspectie het belang van onderzoek en een goede natuurbrandregistratie benadrukt. Objectieve statistieken en onderzoeksgegevens ontbreken grotendeels om de relatie tussen natuurbeheer, klimaatverandering en natuurbranden te kunnen onderbouwen.

Om meer helderheid te krijgen over de verantwoordelijkheidsverdeling tussen de diverse bestuurslagen bij natuurbranden is in december 2009 het landelijk project Interbestuurlijke Samenwerking Natuurbranden gestart. Tijdens een conferentie op 10 november 2011, waaraan alle bestuurslagen deelnamen, is het oplossen van het vraagstuk van de verantwoordelijkheidsverdeling centraal gesteld. Ook is er een gezamenlijk actieprogramma tussen publieke en private partijen getekend. Recent is het Nationaal Informatieknooppunt Natuurbranden ingericht (www.infopuntnatuurbranden.nl).

Heuvelrug, door de klimaatverandering juist kan verbeteren. Dit doordat de kwel in deze lage gebieden met beekdalen en duinvalleien kan toenemen (PBL 2010). Dit kan vooral gebeuren in het meer natte W-scenario, maar zal ook mogelijk zijn in het meer droge W+-scenario. In de zomer loopt immers de verdamping door de vegetatie terug, waardoor toch meer water het grondwater kan bereiken.

Klimaatverandering beïnvloedt niet alleen de waterbeschikbaarheid, maar ook de watertemperatuur en de nutriëntenbeschikbaarheid, en daarmee de natuur. Zo is de temperatuur van veel rivieren en meren al gestegen; een stijging die in de toekomst verder zal doorzetten. Bij hogere temperaturen wordt het zuurstofgehalte van het water lager. Dit kan een probleem vormen voor vissen, die sterven bij een temperatuur tussen de 23 en 26°C (PBL 2010).

Figuur 4.12
 Internationale aansluiting klimaatcorridor moeras



Bron: PBL (2010)

Door hogere winterafvoeren van rivieren en beken (in alle KNMI'06-scenario's) kunnen gebieden langs de rivieren (met name de uiterwaarden) vaker en langer onder water komen te staan. Hierdoor zal de nutriëntenbeschikbaarheid toenemen, wat weer leidt tot een verandering in de soortensamenstelling (van voedselarme ecosystemen naar meer voedselrijke systemen; Heijmans & Berendse 2009).

Ten slotte kan in grote delen van laag Nederland de verzilting toenemen. Hoewel verzilting ook zonder klimaatverandering kan toenemen (bijvoorbeeld door bodemdaling), kan de klimaatverandering, met daaraan gekoppeld zeespiegelstijging en lage waterafvoeren, dit proces wel versnellen. Bovendien kan de mogelijkheid afnemen om het watersysteem met zoet water door te spoelen om zo de verzilting te beperken, doordat er

minder zoet water beschikbaar is. Dit zal zich vooral voordoen onder het meest droge W+- scenario, en beperkt zijn onder het G-scenario (Kwadijk et al. 2008).

Ruimtelijke aanpassing als mogelijkheid voor klimaatbestendige natuur

Een klimaatbestendige natuur vraagt om een hoge biodiversiteit, het vergroten en verbinden van gebieden, ruimte voor natuurlijke processen, heterogeniteit en gradiënten en het verbeteren van standplaatscondities (PBL 2010). De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en op Europese schaal het Natura 2000-netwerk bieden goede bouwstenen om de Nederlandse natuur meer klimaatbestendig te maken. Bij optrekkende klimaatzones kan een aangepaste EHS met goede verbindingzones en met optimale standplaatscondities soorten helpen te migreren naar gunstiger gebieden en klimaatzones. Dit vraagt wel om een herijking van de rijkswisatie op de EHS, waarbij de voorkeur wordt verlegd naar bepaalde gebieden. Hierbij gaat het erom zowel gebieden binnen internationale klimaatcorridors (moeras en duin & kust) als ook gebieden binnen samenhangende clusters (heide, bos) te verbinden, te vergroten en te verbeteren (Vos et al. 2010). Aanpassing van de EHS is bijvoorbeeld mogelijk door nog aan te kopen of nog in te richten EHS-hectares bij voorkeur te concentreren binnen deze voorgestelde klimaatcorridors en clusters. De klimaatbestendigheid van de corridors kan verder worden vergroot door aan te sluiten bij het Europese Natura 2000-netwerk in landen om ons heen. Dat geldt bijvoorbeeld voor de Nederlandse moerasgebieden, die een belangrijk bolwerk vormen in Noordwest-Europa (PBL 2010; figuur 4.12).

Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbelief om een herziening van de natuurdoelen omdat de huidige natuurdoelen statisch zijn gedefinieerd. Met een verdergaande klimaatverandering zal de haalbaarheid van deze doelen namelijk afnemen, evenals de kans dat Nederland aan zijn internationale verplichtingen zal kunnen voldoen. Het nieuwe beleid zou zich meer moeten richten op het functioneren van ecosystemen en het vergroten van het adaptief vermogen van de natuur, en minder op het voorkomen van specifieke soorten op specifieke plaatsen.

Het beleid voor een klimaatbestendige natuur kan worden gekoppeld aan ander beleid voor verschillende functies en doelen. Deze kans ligt onder andere bij de ontwikkeling en uitvoering van het Deltaprogramma, het programma 'Ruimte voor de Rivier' en de aansluiting bij vergelijkbare programma's in de buurlanden. Er zijn ook kansen om natuur en landbouw te koppelen, al is dit niet altijd het geval – doordat beide soms verschillende eisen stellen aan hun omgeving (PBL 2011).

4.4 Onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering op de natuur

De onzekerheid over hoe klimaatverandering de natuur in Nederland beïnvloedt, is in het algemeen groot (Wardekker & van der Sluijs 2010). Die onzekerheid is groot omdat alle typen onzekerheid – statistische onzekerheid, scenario-onzekerheid en onzekerheid ten gevolge van onwetendheid/kennisleemtes – een rol spelen.

Een voorbeeld van statistische onzekerheid is de variabiliteit in het weer en de timing van seizoenen en dergelijke. Dit kan leiden tot een onzekerheidsmarge in bijvoorbeeld de waargenomen veranderingen in de natuur, zoals rond de verschuiving van het begin van de bloei. De snelheid van de klimaatverandering – die bepaalt in welke mate de natuur zich kan aanpassen – is een vorm van scenario-onzekerheid.

Bij de klimaatinvloeden op de natuur spelen vooral onzekerheden door onwetendheid en kennisleemtes een rol. Zo is er onwetendheid over het toekomstig belang en effect van klimaatverandering ten opzichte van de vele andere factoren die de natuur beïnvloeden. Nu zijn het veelal de andere drukfactoren die dominant zijn voor de natuur. Maar hoe zal dit veranderen als de klimaatverandering doorzet? Andere drukfactoren zoals beheer en verdroging hebben vaak een complexe interactie met klimaatverandering. Wat is bijvoorbeeld de bijdrage van het verlies van geschikte leefgebieden aan het verdwijnen van koudeminnende soorten uit Nederland? In welke mate dragen natuurontwikkelings-projecten, zoals langs de rivieren (CBS et al. 2010b), bij aan het uitbreiden van nieuwkomers? Wat is het belang van beheer in bijvoorbeeld de visserij? Zeker voor vissen in de Noordzee geldt dat de visserij een (nog) dominante rol speelt bij de verspreiding en omvang van de populaties. Zo heeft de visserij ertoe geleid dat predatoren (roofdieren) zoals kabeljauw zijn weggevangen, waardoor de predatiedruk op kleine vissoorten afnam en deze zich gemakkelijker kunnen uitbreiden (Hiddink & Ter Hofstede 2008). Klimaatverandering speelt hier mogelijk een (faciliterende) rol, maar deze is niet los te zien van de visserijdruk. Daarnaast is nog weinig bekend over het aanpassingsvermogen van soorten en interacties tussen soorten, bijvoorbeeld in voedselketens, waardoor een klimaateffect versterkt kan worden of juist kan afnemen. Zo hebben studies laten zien dat de verspreidingsgebieden van veel soorten langzamer verschuiven dan het klimaat. Dit zou een uiting van aanpassing van soorten kunnen betekenen, waardoor soorten minder hard achteruitgaan dan ze op basis van fysieke veranderingen verondersteld worden te doen. Maar geschikt leefgebied elders kan de kans op overleven vergroten. Dit soort ruimtelijke afhankelijkheden zijn tot op heden beperkt bekend (PBL 2010).

Effecten van klimaatverandering op de landbouw in Nederland

- Voor de Nederlandse landbouw is klimaatverandering eerder een kans dan een bedreiging, zeker in verhouding tot de mogelijke negatieve gevolgen van klimaatverandering in Zuid-Europa.
- De landbouwsector is het meest beducht voor de effecten van extreme weersomstandigheden (zoals verlate vorst, piek- en hagelbuien), en voor een toename aan ziektes en plagen.
- Klimaatverandering heeft nu al effecten op de landbouw in Nederland. Deze effecten zullen naar verwachting toenemen:
 - klimaatverandering vergroot de al bestaande opgaven met betrekking tot waterbeschikbaarheid, wateroverlast en verzilting. Dit geldt vooral voor Laag-Nederland, waarin zich het merendeel van de *greenports* bevindt;
 - de kans op ziektes, plagen en onkruiden zal naar verwachting toenemen. Ook natuurlijke vijanden kunnen frequenter voorkomen. Door de wisselwerking met klimaatverandering blijft het lastig de extra overlast goed in te schatten.
- De effecten op de landbouw – zowel positief als negatief – verschillen sterk tussen de bedrijfsvormen en de regio's in Nederland. Hoogwaardige intensieve vormen van landbouw zijn vaak minder gevoelig dan veel open teelten en grondgebonden landbouw.
- Klimaatverandering versterkt andere drukfactoren voor de landbouw en vice versa.
- Onzekerheden rond de toekomstige effecten van klimaatverandering op de landbouw zijn groot. Hierbij gaat het om onwetendheid en kennisleemtes en

daarnaast om onzekerheid rond de sociaaleconomische ontwikkelingen die de marktvrage naar de Nederlandse landbouwproducten bepalen.

5.1 Inleiding

Circa 65 procent van Nederland bestaat uit landbouwgrond (PBL 2011). Landbouw is als zodanig een belangrijke gebruiksfunctie in ons land. Landbouw is een overkoepelende aanduiding voor verschillende, al dan niet grondgebonden, sectoren en activiteiten als veehouderij, akkerbouw en (glas)tuinbouw.

Landbouw is een economische activiteit, met als belangrijkste functie de productie van voedsel, biomassa, grondstoffen voor verdere productie en sierteelt. De landbouwontwikkelingen hebben geleid tot een modern en flexibel systeem, dat produceert voor zowel de lokale, de regionale als de wereldmarkt. Als productiefunctie draagt de landbouwsector bij aan de economie. Daarnaast draagt de sector bij aan de kwaliteit van het landelijk gebied in Nederland en het in stand houden van het landschap, de biodiversiteit en de sociale cohesie. De belangrijkste drijvende krachten achter de landbouw in Nederland zijn de economie – in het bijzonder de wereldmarkt –, het Europees landbouwbeleid (GLB) en het daaraan gekoppelde subsidiebeleid, wensen van de consument en eisen vanuit het milieu. De rol van het GLB zal hoogst waarschijnlijk langzaam worden afgebouwd, waarmee de rol van de markt zal toenemen.

Tabel 5.1
Mogelijke effecten van klimaatverandering op de landbouw

Klimaatfactor		Effecten	Pos/neg.	
Verandering temperatuurpatronen	Stijgende temperaturen	Productieverhoging	+	
		Toename ziektes en plagen	-	
		Opkomst nieuwe soorten, inclusief onkruiden	?	
			Niet gelijk oplopen van gewasontwikkeling en bestuiving door insecten	-
			Een lagere energierekening in de glastuinbouw Een hogere energierekening in de veeteelt door de noodzaak stallen te koelen	+ -
			Meer problematische opslag van aardappelen	-
			Langer groeiseizoen, meerdere oogsten	+
		Meer frequente hittegoven	Gewasschade of zelfs afsterven van gewassen	-
		Late vorst	Doodvriezen bloem(knopp)en;	-
	Veranderende neerslagpatronen	Vernatting	Oogstverliezen door meer schimmels en insectenplagen	-
				Zaai- en oogstproblemen
			Uitspoeling/verlies nutriënten (Europese Kader Richtlijn water KRW)	-
			Kwaliteitsverlies door langdurig onder water staan.	-
		Meer extreme buien en hagel	glas- en gewasschade (bijv. legering bij graan) door extreme regen (ook met hagel)	-
		Droogte	Productieverlies door (extreme) droogte	-
			Productieverlies en kwaliteitsverandering door verzilting	-
			Kwaliteitsverbetering	
Andere klimaatsvariabelen		Luchtvochtigheid	Meer schimmels	-
		Veranderende windpatronen	Meer insecten	-
CO ₂ -verhoging		Productieverhoging	+	
Zeespiegelstijging & bodemdaling	Overstroming	Zie vernatting	-	
		Toenemende verzilting	Productieverlies bij sommige gewassen resp. kansen bij andere	-/+

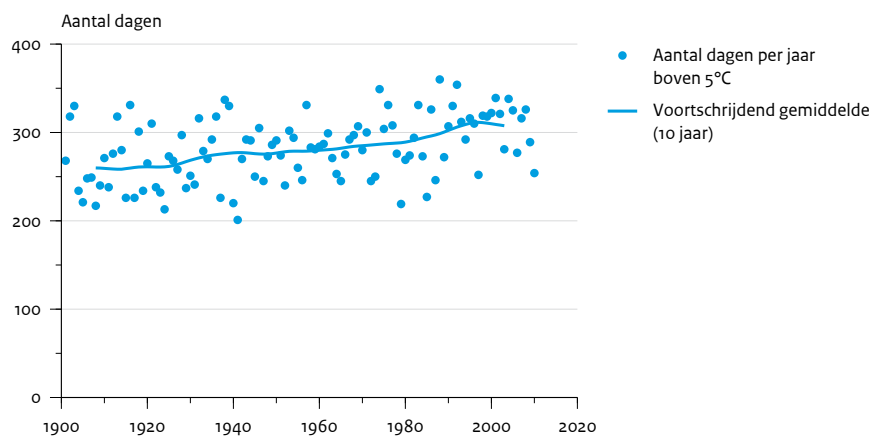
Bron: Blom et al. (2008)

Naast veranderingen in de markt en het subsidiebeleid is klimaatverandering medebepalend voor de strategische en operationele keuzes binnen de landbouwsector. Weer en klimaat grijpen op meerdere manieren in op de landbouw in Nederland; in het bijzonder geldt dit voor de open teelten en de grondgebonden landbouw. Klimaatverandering kan zowel positieve als negatieve effecten hebben voor de productieniveaus en/of de economische prestatie van de landbouw. Dit hoofdstuk geeft een actueel beeld van de waargenomen en mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering op de landbouw. In het algemeen is de verwachting dat de landbouwsector in Nederland goed kan inspelen op natuurlijke en economische veranderingen, waardoor risico's op bijvoorbeeld oogstverlies kunnen afnemen en kansen kunnen toenemen (PBL 2011).

5.2 Wat merkt de landbouw van klimaatverandering?

Klimaatverandering kan de landbouw op verschillende manieren beïnvloeden (tabel 5.1). Positieve effecten zijn de hogere productie – een gevolg van een hogere temperaturen, een hogere CO₂-concentratie en een langer groeiseizoen –, kansen voor nieuwe gewassen en een lagere energierekening, vooral in de glastuinbouw. Een toenemende droogte kan een kwaliteitsverbetering van bepaalde gewassen opleveren (zoals een hoger suikergehalte in suikerbieten), waardoor de economische waarde verhoogd en de concurrentiepositie verbeterd kan worden (Blom et al. 2008; Schaap et al. 2009). Ook vernatting kan een positief effect hebben op ziektes en plagen, doordat zij een grondontsmettende werking heeft. Tegelijkertijd kan vernatting in sommige groeistadia

Figuur 5.1
Lengte groeiseizoen in De Bilt



Bron: KNMI (2011)

van gewassen leiden tot meer schimmel-ziektes (Blom et al. 2008). Of deze positieve effecten daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden, hangt mede af van de ontwikkelingen op de wereldmarkt. Naast de kansen zijn er ook tal van negatieve effecten (zie tabel 5.1).

Bij een geleidelijke klimaatverandering zijn de positieve effecten voor de Nederlandse landbouw naar verwachting dominant. De gunstige ligging van Nederland in Europa (in de gematigde zone) en de goede concurrentiepositie geven de Nederlandse landbouwsector een voorsprong ten opzichte van de landbouw in andere delen van Europa (Agricola 2010; Hermans et al. 2010).

De effecten van klimaatverandering op de landbouw verschillen per regio, gewas en bedrijfssysteem. Zo heeft een beperkte temperatuurstijging (en daaraan gekoppeld een verlenging van het groeiseizoen) een positief effect op de akkerbouw; voor andere bedrijfsvormen kan het effect echter anders zijn (IPO 2009). In dit hoofdstuk zullen we de meest relevante effecten beschrijven aan hand van de mate waarin zij nu al voorkomen en van mogelijke ontwikkelingen naar de toekomst. Waar mogelijk maken we onderscheid tussen de zand-, veen- of kleigronden. Ook gaan we in op de onzekerheden die spelen rond de effecten van klimaatverandering op de landbouw.

Hogere temperaturen en CO₂-concentratie: veelal kansen voor Nederlandse landbouw

Het CO₂-gehalte in de atmosfeer is in de afgelopen eeuw met 100 ppm toegenomen tot 380 ppmv in 2010 (deeltjes per miljoen, op basis van volume). De gemiddelde

temperatuur in Nederland is in dezelfde periode 1,7°C gestegen (zie hoofdstuk 2); vooral de winters warmer zijn geworden. Waar een CO₂-stijging een potentieel positief effect heeft op de Nederlandse landbouw, heeft de temperatuurstijging uiteenlopende effecten.

Voor de intensieve veehouderij leidt een toename in de gemiddelde temperatuur tot hogere kosten, namelijk om de stallen te koelen. Het is wel zo dat de energiekosten maar een beperkt deel uitmaken van de totale kosten in deze sector (5 procent in 2005; Van Everdingen & Van der Knijff 2005). De stijgende temperatuur heeft ook voordelen voor een gemiddeld melkveebedrijf: omdat de hogere temperatuur leidt tot een hogere gras- en maïsproductie, hoeft minder ruwvoer te worden aangekocht. Voor de glastuinbouw nemen de stookkosten af (vooral in winter). Verder biedt de hogere buitentemperatuur de glastuinbouw mogelijkheden om nieuwe gewassen te verbouwen.

Hogere opbrengsten zijn vooral mogelijk doordat de stijging van temperaturen het groeiseizoen van planten verlengt. Over de afgelopen decennia zijn planten eerder in het voorjaar gaan uitlopen, zijn (fruit)bomen eerder gaan bloeien en duurde het groeiseizoen langer doordat de winter later begint. Het groeiseizoen duurt de afgelopen vijftien jaar gemiddeld ruim drie weken langer dan in de periode 1961-1990, en ruim vijf weken langer dan aan het begin van de twintigste eeuw (KNMI 2011; figuur 5.1). De verwachting is dat onder het KNMI'o6 G-scenario het gemiddelde groeiseizoen in 2050 nog zes dagen eerder kan beginnen; in het W+-scenario is dit zelfs negentien dagen (Schaap et al. 2009).

Verschillende studies laten zien dat een hogere CO₂-concentratie in de atmosfeer bij bepaalde gewassen leidt tot een productieverhoging (Lavallo et al. 2009). Voor de mogelijke toekomst geven de klimaatveranderingsscenario's voor Nederland een verdere toename van de CO₂-concentratie aan tot een niveau van tussen de 400 tot 800 ppm in 2100. Een verhoging van de CO₂-concentratie in de lucht kan leiden tot een verhoging van de fysieke landbouwproductie. Dit vereist wel goede teeltcondities. Bovendien is deze opbrengstverhoging gewasafhankelijk: waar zogeheten C3-gewassen, zoals graan, kunnen profiteren van de hogere CO₂-concentratie, geldt dit niet voor C4-gewassen, zoals maïs. Bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie – in combinatie met een temperatuurstijging van 3°C – kan de opbrengst van graan 8 procent stijgen; voor bieten is dit 35 procent en voor grasland 50 procent. Voor maïs geldt juist dat de productie onder dergelijke omstandigheden 17 procent kan dalen (Schapendonk et al. 1997).

Meer dynamiek in neerslag en zoetwaterbeschikbaarheid als uitdaging voor de landbouw

De beschikbaarheid van zoet water is essentieel voor de Nederlandse landbouw. Dit water is nodig voor beregening tijdens droge periodes, voor peilbeheer en voor het doorspoelen van voor verzilting gevoelige gebieden. Opbrengstderving en economische schade kan voortkomen uit een teveel aan water (wateroverlast) of juist een gebrek aan water door een neerslagtekort of beperkingen in de aanvoer van zoet water naar de landbouwgebieden.

In Nederland is 30 procent van het totaal aan beschikbaar zoet water afkomstig van neerslag. Het overgrote deel (70 procent) komt beschikbaar via de Rijn en de Maas (Klijn et al. 2010). Veranderingen in de rivierafvoeren en de neerslagpatronen kunnen dan ook een groot effect hebben op de waterbeschikbaarheid.

Wateroverlast

Meer neerslag en hogere piekafvoeren in de rivieren kunnen leiden tot vernatting, vooral bij klei- en veengronden. Natte grond is moeilijk te bewerken en het gebruik van zware landbouwmachines is of niet goed mogelijk of leidt tot schade aan de bodem (verdichting teeltlaag). Bij een te hoge grondwaterstand of onvoldoende drainage zal het bemesten, poten, zaaien en oogsten dan ook lastiger worden, met oogstverliezen tot gevolg. Hoe deze natschade zich zal ontwikkelen, is onzeker. Dit hangt ervan af hoe de neerslag in de verschillende seizoenen zich zal ontwikkelen. De natschade kan toenemen als de jaartotale neerslag toeneemt (hoofdstuk 2) – vooral in het voorjaar en vooral

in gebieden waar de grondwaterstand nu al hoog is. De toename is beperkt in het G-scenario en behoorlijk in het W-scenario (Haskoning, 2008; Geijzendorffer et al. 2011). Maar de kans op natschade in de zomer kan ook (licht) afnemen. Dit gebeurt vooral in de G+- en W+-scenario's, omdat daarin de zomerneerslag en de rivierafvoeren in de zomer afnemen.

Zoetwatertekorten en droogte

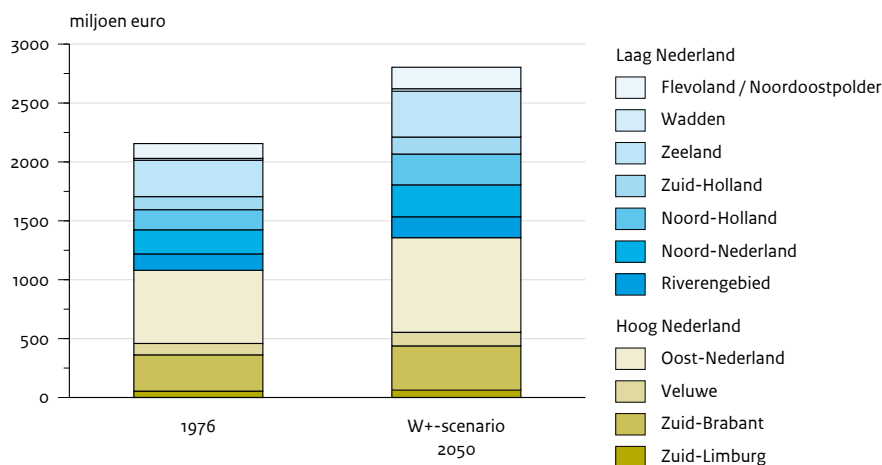
Nederland kent in het groeiseizoen geregeld ook een neerslagtekort¹, dat in sommige jaren leidt tot extreem droge omstandigheden (zie ook hoofdstuk 2). Hierdoor kunnen gewassen minder goed groeien en verzilt de grond in sommige delen van Nederland (vooral in de kustregio's).

Normaal is het jaarlijkse neerslagtekort in Nederland gemiddeld 144 millimeter (gemiddeld over de afgelopen eeuw). Dit wordt door de landbouw meestal niet als probleem ervaren omdat deze tekorten veelvuldig voorkomen en de bedrijfsvoering daarop is ingesteld (vooral door te beregenen of door de schade te accepteren). De economische schade is bij het huidige klimaat minder dan 2 procent van de economische waarde (Van Beek et al. 2008). Onder het W+-scenario kan het neerslagtekort toenemen tot 220 millimeter per jaar rond 2050 (+50 procent) en ruim 290 millimeter per jaar (+100 procent) rond 2100 (Van Beek et al. 2008). Ook dit soort neerslagtekorten hoeft niet tot heel grote problemen te leiden, aangezien de waarden nog steeds lager liggen dan in de extreem droge jaren die de sector nu al heeft ervaren, zoals 1976 en 2003.

Het wordt anders als dergelijke extreem droge jaren vaker voorkomen en/of intenser worden. In dit soort jaren is het neerslagtekort gemiddeld over Nederland soms wel 360 millimeter. Onder het W+-scenario kan dit extreme neerslagtekort toenemen tot 440 millimeter (Van Beek et al. 2008). Dergelijke droge omstandigheden kunnen tot significante opbrengstverliezen leiden. Vaak komt dit doordat er onvoldoende zoet water beschikbaar is voor beregening en/of doordat het beschikbare water niet gebruikt mag worden omdat andere functies prioriteit krijgen (verdringingsreeks).

De extreem droge zomer van 2003, bijvoorbeeld, leidde tot een productieverlies in de vier grote Europese landen (Frankrijk, Duitsland, Italië en Spanje) van meer dan 10 miljard euro (UNEP/GRID Europe 2004). In Nederland kan onder dergelijke extreem droge omstandigheden de totale schade als gevolg van droogte oplopen tot ruim 2 miljard euro (ruim 10 procent van economische waarde). Onder het W+-scenario kan de schade zelfs nog enkele honderden miljoenen hoger uitvallen (Van Beek et al. 2008; Klijn et al. 2010; figuur 5.2). Overigens gaat het

Figuur 5.2
Droogteschade in extreem droog jaar in Nederland



Bron: Klijn et al. (2010)

hierbij om theoretisch mogelijke schades, die beperkt kunnen worden door maatregelen (Klijn et al. 2010) maar die ook fors kunnen oplopen als de marktprijzen stijgen.

In de droge zomer van 2003 is er in Nederland fors berekend (onder andere graslanden, tuinbouw en akkerbouwgewassen). Dit heeft ertoe bijgedragen dat het productieverlies van de totale plantaardige productie beperkt is gebleven tot slechts enkele procenten (gebaseerd op CBS Statline). Maar berekening is niet altijd vanzelfsprekend. Zo kan zoet water beperkt beschikbaar zijn (bijvoorbeeld in de hoger gelegen zandgronden), kan de waterkwaliteit onvoldoende zijn (verzilt) of zijn er kostenoverwegingen en kiest de ondernemer ervoor de droogte te accepteren, mogelijk met de verwachting dat de lagere opbrengst gecompenseerd wordt door gunstiger marktprijzen. Het zoeken naar oplossingen voor zoetwatertekorten tijdens droge periodes is dan ook een grote uitdaging voor de Nederlandse landbouw; een uitdaging die door de klimaatverandering alleen maar belangrijker wordt (PBL 2011).

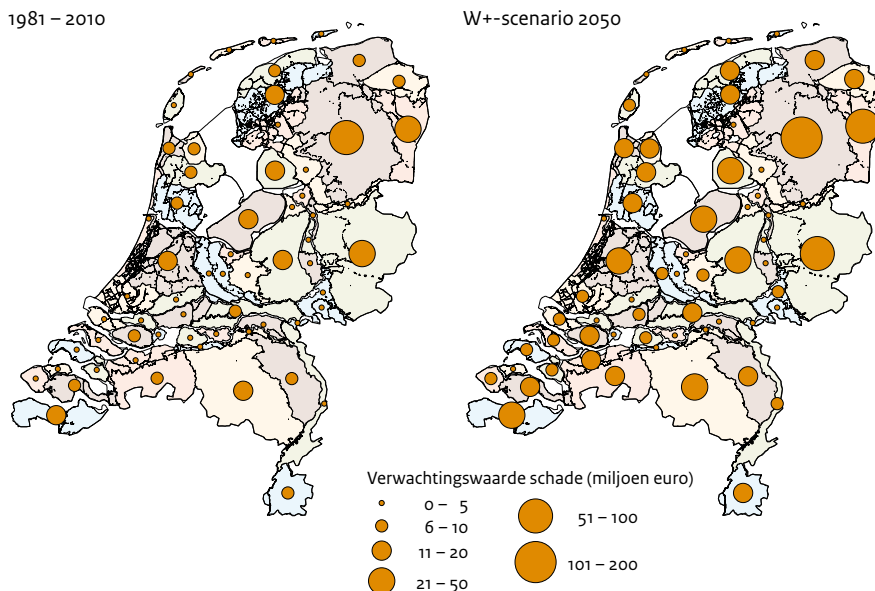
Omdat berekening tijdens langdurige droogte dus van belang is voor de landbouwproductie, zijn gebieden die geen toegang hebben tot water uit rivieren en sloten en gebieden met diepe grondwaterstanden het meest kwetsbaar (Klijn et al. 2011; figuur 5.3). Dit geldt onder andere voor delen van de hoger gelegen zandgronden in Noord- en Oost-Nederland en Noord-Brabant. Ook landbouwgebieden in een brak-zoute omgeving zoals de zuidwestelijke delta zijn kwetsbaar (Blom et al. 2008). Hoewel deze gebieden en enkele andere gebieden langs de kust nu nog een beperkte droogteschade hebben, kan

deze onder de G+- en W+-klimaatscenario's, met dalende neerslag in de zomer, sterk toenemen (figuur 5.3). De kwetsbaarheid van de landbouwsector voor droogte verschilt niet alleen per regio, maar ook per type bedrijf en teelt. Over het algemeen geldt hoe intensiever een teelt, des te groter de inspanning om schade te voorkomen. Zo is de glastuinbouw minder kwetsbaar omdat deze sector, door de hoge eisen aan de beschikbaarheid en de kwaliteit van water, heeft geïnvesteerd in wateropvang en watervoorraden. Bedrijven in de vollegrondstuinbouw, maar ook in de akkerbouw en bedrijven met grasland, investeren in eigen zoetwaterbronnen en/of beregeningssystemen.

Landbouwsector beducht voor mogelijk meer weersextremen

Extreme weersomstandigheden zoals late nachtvorst, extreme piek- en hagelbuien en hittegolven kunnen schade toebrengen aan gewassen en kassen (tabel 5.2). Zo kan een verlate vorst in boomgaarden oogstverliezen veroorzaken doordat de bloesem bevroert. De sector ziet een mogelijke toename in zulke extremen als één van de grote uitdagingen rond het vraagstuk van de klimaatverandering (PBL 2011). De regio's die het meest gevoelig zijn voor weersextremen, zijn de westelijke veengebieden (bodemdaling als gevolg van droogte), tuinbouwgebieden langs de grote rivieren (boomgaarden), Flevoland (bloembollen), Zeeland en Noord-Limburg (glastuinbouw) (Blom et al. 2008). Deze gevoeligheid hangt samen met de bedrijfstvormen die er zijn gevestigd. Ook hier geldt dat hoe intensiever een teelt, des te groter de inspanning om schade te voorkomen. Zo passen bedrijven in de fruitteelt zich aan door in het vroege

Figuur 5.3
Droogterisico in de landbouw



Bron: gebaseerd op Klijn et al. (2011)

Tabel 5.2
Relatie extremen en landbouw

	Effecten	Consequenties voor landbouw
Temperatuurgerelateerd	Late vorst	Doodvriezen bloemen of knoppen bij vervroegde bloei
	Hittegolven	Productieverlies, gewasschade
Neerslaggerelateerd	Overstromingen	Vervuiling van grond- en oppervlaktewater door uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen
		Kwaliteitsverlies door langdurig onder water staan gewas
		Velden worden onberijdbaar voor oogstmachines
	Droogte	Verlating zaaidata
		Opbrengstderving
		Kwaliteitsverandering
	Plensbuien of hagel	Fysieke schade (zoals legering bij granen)

Bron: Verhagen et al. (2011)

voorjaar berekening toe te passen bij dreigende nachtvorst. Toch kunnen dergelijke bedrijven overvallen worden als de nachtvorst relatief plotseling optreedt. Dit gebeurde bijvoorbeeld in Flevoland in 2005 (MNP 2005) en in Noord-Nederland in 2011 (Schaap et al. 2011).

Tabel 5.3 geeft aan hoe – in de KNMI'o6-scenario's – de frequentie kan veranderen van weersextremen die leiden tot schade in de aardappelteelt. Meer problemen zijn vooral te verwachten in de zomermaanden, doordat de temperaturen hoger zijn en zich meer frequente en

langere hittegolven voordoen. Daarentegen zullen problemen als gevolg van een teveel aan neerslag mogelijk minder frequent voorkomen (Schaap et al. 2009, 2011). De landbouw zal eerder te maken krijgen met een tekort aan neerslag in de zomer en in toenemende mate afhankelijk zijn van de aanvoer van water van elders. Problemen zijn daarbij vooral mogelijk op de hogere zandgronden in het oosten van Nederland en in delen van Noord-Brabant en Zeeland (waar nauwelijks aanvoermogelijkheden van water zijn), en in de duinen (Van der Gaast et al. 2009).

Tabel 5.3
Frequentie per maand van weersextremen

Huidig klimaat	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hittegolf							2	6	0			
Warme winters	0	0	3									0
Warm en nat							0	1	0			
Hevige regenval					0	0	0	2	1	0		
Aanhoudend nat					5	8	7	5				
Natte akkers	13	5	5					5	4	5	8	9

Rond 2040	J		F		M		A		M		J		J		A		S		O		N		D	
scenario	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+	G+	W+
Hittegolf													+2	+12	+7	+12	+1	+3						
Warme winter	0	+2	+1	+3	+3	+8																	+1	+1
Warm en nat												+4	+6	+5	+6	+1	+2							
Hevige regenval														0	-1	+1	+1							
Aanhoudend nat									-2	-2	-2	-4	-2	-5	-4	-3								
Natte akkers	+1	+4	0	+1											-3	-3	0	-1	0	-1	+1	0	+2	+3

Bron: Schaap et al. (2009, 2011)

Deze weersextremen veroorzaken schade bij het huidige (boven) en mogelijke toekomstige (onder) klimaat schade veroorzaken aan aardappels in Noord-Nederland (station Eelde), klimaatdata (1976-2005). In de onderste tabel staan de effecten voor de G+- (wit) en W+- (grijs) scenario's voor de periode rond 2040

Verzilting neemt toe in kustzones

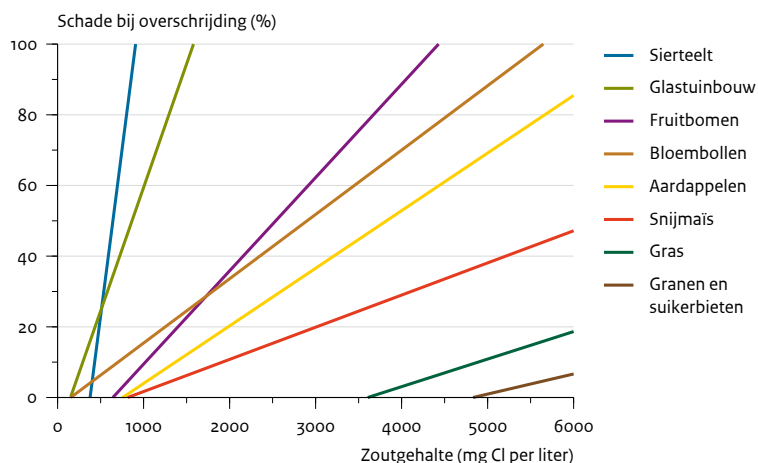
Verzilting betekent een toename van de zoutconcentratie in water of bodem. Verzilting treedt op wanneer de invloed van brakke kwel in diepe polders en droogmakerijen niet kan worden gecompenseerd door de aanvoer van regenwater of zoet oppervlaktewater. Bodemdaling en continue bemaling kunnen leiden tot een toename van brakke kwel. Ook de aanvoer van brak oppervlaktewater in droge periodes leidt tot verzilting. Doorspoelen van het watersysteem met zoet water is de meest toegepaste techniek om verzilting te beperken. Deze aanpak stelt hoge eisen aan de zoetwatervoorziening, vooral in droge periodes, omdat de doorspoelbehoefte dan sterk toeneemt.

Veel kustgebieden van Zuidwest- en Noord-Nederland worden geconfronteerd met een steeds zouter wordend grond- en oppervlaktewater; deze verzilting wordt veroorzaakt door onder andere zeespiegelstijging, bodemdaling, herstel zoet-zoutovergangen en een geringe beschikbaarheid van zoet water om het water-systeem door te spoelen (Klijn et al. 2011; Westerdijk & Visser 2003). De verwachting is dat klimaatverandering ertoe bijdraagt dat oppervlaktewater en ondiep grondwater zouter worden (Acacia Water et al 2009). Als wordt uitgegaan van de vier KNMI'o6-klimaatscenario's, dan kan tot 2050 maximaal een kwart (onder W+-scenario) van het huidige landbouwareaal te maken krijgen met lichte tot ernstige verzilting (Verhagen et al. 2011).

Verzilting kan leiden tot belemmeringen voor de landbouw en de veeteelt. Zij kan de wateropname door gewassen bemoeilijken (onder andere door een toxische werking, verstoring in de opname van voedingsstoffen en belemmering van de beworteling) en dat leidt weer tot lagere opbrengsten (Van Bakel & Stuyt 2011). Daarnaast kan er onder zoute condities bladschade en andere misvorming aan gewassen ontstaan (dit is bijvoorbeeld van belang bij siergewassen). En voor de veeteelt is het bij dergelijke omstandigheden van hoge zoutconcentraties vaak onmogelijk om het vee te drinken (Van Dam et al. 2007).

De financiële schade als gevolg van verzilting is relatief gering vergeleken met de schade die de landbouw ondervindt bij droogte (Van Beek et al. 2008). In veel gevallen lijkt het dan ook het meest kosteneffectief om de schade door verzilting te accepteren (PBL 2011). Klimaatverandering zal de ernst en de omvang van het zoetwatertekort echter vergroten. Dit inzicht heeft in de afgelopen jaren geleid tot discussies over hoe boeren en waterbeheerders moeten omgaan met zouthoudend water. Daarbij is van belang om naar de zouttolerantie van gewassen te kijken. Deze verschilt sterk voor de huidige gewassen (figuur 5.4; Van Dam et al. 2007; De Wit et al. 2009). Veel hoogwaardige teelten, zoals bloemen, bloembollen en fruit, en landbouwgewassen, zoals peen, aardappels en uien, zijn (zeer) gevoelig voor zout. Daarentegen zijn de meeste andere akkerbouwgewassen,

Figuur 5.4
Relatie tussen zoutgehalte en opbrengstschade aan landbouwgewassen



Bron: RIZA et al. (2005)

Tabel 5.4
Effecten van klimaatverandering op het voorkomen van ziektes en plagen

Klimaatfactor	Effect ziektes & plagen
Stijgende temperaturen (o.a. zachtere winters)	Nieuwe soorten
	Meer generaties van (plaag)insecten en ziektes
	Betere groeiomstandigheden voor schimmels
	Doorbreken resistenties
Toenemende luchtvochtigheid	Moeilijker opslag van gewassen (vooral aardappelen, waar aaltjes niet meer doodvriezen)
	Meer schimmelziektes
	Meer schimmelziektes en nematoden
Vernatting (vooral in combinatie van temperatuurstijging)	Moeilijker bestrijding
Veranderende windpatronen	Veranderend voorkomen van luizen

Bron: Blom et al. (2008), Verhagen et al. (2011)

evenals de graslanden die een groot deel van Laag-Nederland beslaan, weinig gevoelig voor hogere zoutgehalten. Bij suikerbieten heeft verzilting zelfs een positief effect op het suikergehalte, en daarmee op de kwaliteit. Ook biedt verzilting mogelijkheden om zoutminnende gewassen te telen (zoals lamsoor, zeekraal) of om te werken aan de ontwikkeling van zouttolerante gewassen. Als aanpassing aan de mogelijke toekomstige verzilting wordt in delen van Noord-Nederland en Zeeland al geëxperimenteerd met zoute teelten (onder andere met zouttolerante aardappelrassen). Om het perspectief voor zulke zoute of zilte teelten in Nederland te kunnen bepalen dient echter eerst duidelijk te zijn wat de economische potentie van

zulke gewassen is. En over die potentie lopen de meningen uiteen.

Ziektes & plagen: nog veel onbekend

Een andere uitdaging voor de landbouw in Nederland zijn de mogelijke veranderingen in de verspreiding, frequentie en intensiteit van schimmelziektes, insecten en onkruiden (Van de Sandt & Goosen 2012). Weer en klimaat zijn belangrijke factoren bij de verspreiding en de ontwikkeling van ziektes, plagen en onkruiden (tabel 5.4). Zo zal bij een langer en warmer groeiseizoen het aantal generaties van bestaande insecten toenemen; deze zullen zich bovendien meer verspreiden over Nederland, bijvoorbeeld doordat zij in staat zijn om in zachte winters

te overleven. Dat geldt onder andere voor veel luizensoorten (drie tot zes extra generaties bij 2°C temperatuurstijging, en vier tot negen bij 3°C), kevers (bijvoorbeeld coloradokever) en aardappelaaltjes (aaltjes overleven in de knol en kunnen zo tot een snellere besmetting komen van een volgende aardappelteelt; Blom et al. 2008; Verhagen et al. 2009). Daarnaast kan een temperatuurverhoging de resistentie van gewassen tegen bepaalde ziektes doorbreken. En vernatting in combinatie met hogere temperaturen kan gunstig zijn voor de ontwikkeling van schimmel- en bacterieziektes. Dit geldt bijvoorbeeld voor de *Erwinia*-bacterie – die tot natrot en stengelrot leidt – en *Phytophthora infestans* (of aardappelziekte) – een zeer gevaarlijke ziekte voor de aardappel.

Er is tot op heden nog relatief veel onbekend over hoe waargenomen veranderingen in het klimaat de verspreiding van ziektes en plagen hebben veranderd (Blom et al. 2008; Verhagen et al. 2011). Toch zijn er een aantal tendensen die aanknopingspunten bieden. Zo komen ziektes en plagen vaker voor als gevolg van vernatting (als meest belangrijke oorzaak), droogtes en hogere temperaturen (Blom et al. 2008). Daarbij moet worden opgemerkt dat het potentiële risico rond ziektes en plagen niet homogeen over Nederland verdeeld is. Zo zullen ziektes en plagen die bij vernatting problemen kunnen veroorzaken, vooral voorkomen in de laaggelegen delen van Nederland. Ook verschillen mogelijke effecten sterk per gewas en type landbouw (Blom et al. 2008).

Verder hebben een langer groeiseizoen en een warmer voorjaar nieuwe, warmteminnende ziektes en plagen naar ons land gebracht. Ook deze hebben een effect op de landbouw. Een voorbeeld is de maïswortelkever, die sinds 2004 in Nederland opduikt en grote schade kan aanbrengen aan de maïsproductie (PD 2005). Een ander voorbeeld is blauwtong – een virusziekte bij schapen en geiten die via een knutje wordt verspreid. Blauwtong dook in Nederland bijvoorbeeld op in 2006. Mogelijk speelde de extreem warme zomer van dat jaar hierbij een rol (Scholte et al. 2008).

Deze potentiële extra overlast door ziektes, plagen en onkruiden heeft ook een positieve kant, namelijk dat veelal ook hun natuurlijke vijanden profiteren van de temperatuurstijging (Verhagen et al. 2011). Zo kunnen schadelijke insecten die als volwassene of larve overwinteren, nadelig worden beïnvloed door warmere en nattere Nederlandse winters doordat zij vaker besmet worden met schimmelinfecties. Verder kan vernatting ook grondontsmettend werken voor sommige onkruidzaden en bodemgebonden ziektes (Kempenaar & Van de Zweerde 2003). En bij al deze ziektes en plagen

geldt dat bestrijding tot op heden veelal effectief geweest is (Schaap et al. 2009). Door een vaker gebruik van gewasbeschermingsmiddelen kan mogelijk wel de resistentie van gewassen worden doorbroken.

Al deze factoren maken het lastig een inschatting te maken van de kans dat ziektes en plagen zich zullen ontwikkelen onder het toekomstige klimaat zoals de KNMI'06-scenario's dat beschrijven.

5.3 Onzekerheden rond klimaateffecten in de landbouwsector

De effecten van een geleidelijke klimaatverandering zullen voor de landbouwsector naar verwachting positief kunnen uitwerken. Hierbij is vooral het management van belang. Deels is dat de gewas- en raskeuze (resistentie, droogtebestendigheid, zouttolerantie), deels ook de timing van bijvoorbeeld grondbewerking, planten, zaaien en gewasbescherming. Technische innovaties, zoals sensortechnologie, kunnen de bedrijfsvoering ondersteunen (bijvoorbeeld bij irrigatie en gewasbescherming). Ook zijn maatregelen in het waterbeheer – deze zijn traditioneel ingebed in het beslissingssysteem – toepasbaar, waardoor met bestaande technieken al heel goed kan worden ingespeeld op fluctuaties in de neerslagpatronen.

Maar extremen kunnen ook een negatieve impact hebben. Waar de effecten van extreme neerslag en extreme droogte relatief gemakkelijk zijn in te schatten, zijn de effecten van extreme hittegolven en veranderingen in ziektes en plagen op gewas en dier lastiger in te schatten en meer onzeker (Wardekker & Van der Slijs 2010).

Bij de mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering op de landbouwsector spelen onzekerheden wegens onwetendheid of kennisleemtes een rol, en vooral scenario-onzekerheid. Bij de scenario-onzekerheden gaat het zowel om onzekerheden over fysieke omstandigheden, zoals klimaat, maar ook om sociaaleconomische onzekerheden. De onzekerheid rond het klimaat kan deels worden opgevangen door gebruik te maken van verschillende klimaatscenario's (zie hoofdstuk 2). Deze maken het mogelijk de bandbreedte in te schatten van de mogelijke klimaatveranderingen. Sociaaleconomische scenario's zijn van groot belang omdat de Nederlandse landbouwsector onderdeel is van een mondiale markt, waarop de prijzen tot stand komen. Op nationale schaal zijn het de ruimteclaims voor verstedelijking en natuur (beide maken grond duurder),

de beschikbaarheid van arbeid, de ontwikkelingen en keuzes rond *biobased economy* en de voorkeuren van consumenten die de landbouwsector beïnvloeden.

Klimaatverandering biedt verschillende kansen voor de Nederlandse landbouw. Om hiervan daarwerkelijk te kunnen profiteren zijn technische vooruitgang, sterke horizontale en verticale ketensamenwerking, en voldoende economische draagkracht nodig. Onderzoek, gerichtheid op innovatie en toekomstgerichte bedrijfsvoering, is een factor die uiteindelijk een dominante rol zal spelen in de mate waarin de Nederlandse landbouw zich weet aan te passen en de potentiële kansen van klimaatveranderingen weet te benutten. Zeker voor onderwerpen waar onwetendheid een rol speelt – vooral bij de veranderingen in ziektes en plagen –, is het belangrijk dat de landbouwsector samenwerkt met de onderzoekswereld.

Noot

- 1 Het neerslagtekort is de neerslag minus de potentiële verdamping. Deze waarde wordt verkregen door het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid gevallen neerslag en de berekende referentiegewasverdamping. Dit verschil wordt dagelijks gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september. Een negatief getal geeft een vochttekort aan, een positief getal een vochtoverschot.

Effecten van klimaatverandering op de mens

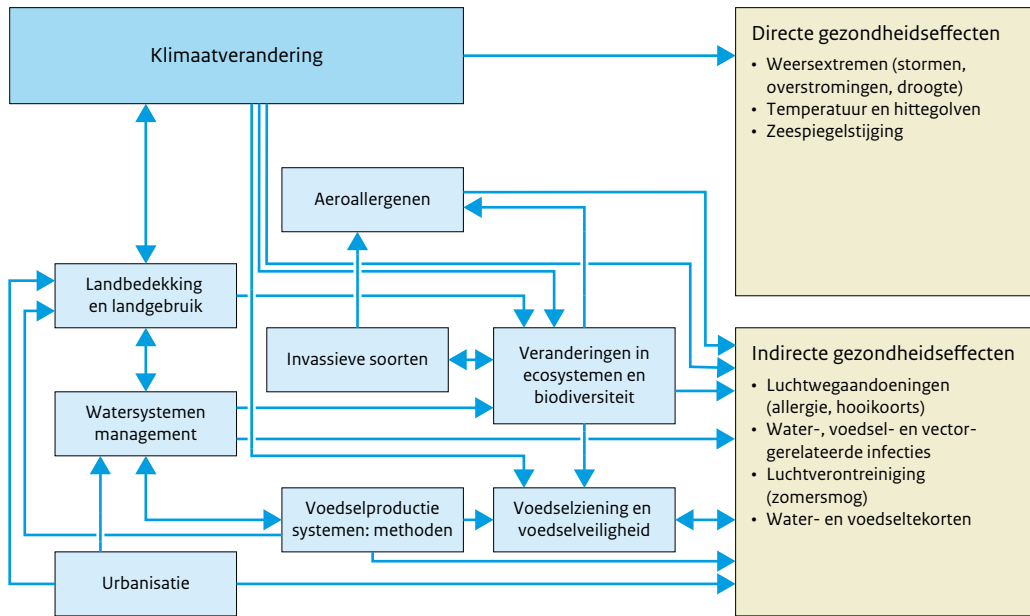
- Klimaatverandering kan de volksgezondheid beïnvloeden. Het gaat daarbij meestal om een toename van de ernst en de frequentie van bestaande gezondheidsklachten, en soms juist om een afname daarvan. Deze gezondheidseffecten zijn vooral het gevolg van een hogere temperatuur (zowel gemiddeld als voor de extremen) en van veranderingen in (extreme) neerslag en vochtigheid. De belangrijkste gezondheidsklachten die door klimaatverandering ongunstig kunnen worden beïnvloed, zijn warmteoverlast ('hittestress'), luchtwegallergieën en hooikoorts, en water- en vectorgebonden infectieziektes. Klimaatverandering zal in Nederland óók leiden tot aangename woon- en leefomstandigheden; deze zullen naar verwachting een positief effect hebben op de gezondheid en de leefbaarheid in de steden. En bij minder strenge winters zullen in dat jaargetijde vermoedelijk minder mensen sterven.
- Een nauwkeurige schatting van de huidige en toekomstige omvang van aan klimaatverandering gerelateerde gezondheidseffecten in Nederland is nog niet te maken. Dit komt doordat een groot aantal factoren op het gezondheidssysteem van invloed is, waardoor de precieze invloed van klimaatverandering moeilijk is te doorgronden en lastig is te voorspellen. Een eerdere voorzichtige analyse hiervan heeft uitgewezen dat het op termijn jaarlijks zou kunnen gaan om enkele duizenden ziektegevallen en enkele honderden mensen die eerder overlijden.
- De gezondheidseffecten van klimaatverandering in Nederland kunnen worden verminderd door meer aandacht te hebben voor de uitvoeringspraktijk van opgestelde gedrags- en zorgadviezen, door tijdige opsporing en inschatting van gezondheidsrisico's, door gericht om te gaan met onzekerheden, en door bij (stedelijke) vernieuwing en herstructurering en nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen rekening te houden met klimaatadaptatie.

6.1 Inleiding

Klimaatverandering heeft invloed op de gezondheid van mensen. In 2005 verscheen de eerste (kwantitatieve) studie 'Effecten van klimaatverandering in Nederland' (MNP 2005). Huynen et al. (2008) publiceerden een vervolgstudie naar de mondiale milieuveranderingen op de volksgezondheid; daarbij stond vooral de klimaatverandering centraal.

Dit hoofdstuk geeft een actualisering van de mogelijke invloed van klimaatverandering op de gezondheid. Ten opzichte van de rapportages uit 2005/2008 biedt dit hoofdstuk meer inzicht in (1) de omvang van de gezondheidsrisico's, (2) de mogelijke handelingsopties, en (3) de onzekerheden rondom gezondheidsrisico's en hoe daarmee om te gaan in het klimaatadaptatiebeleid.

Figuur 6.1
Mechanismen klimaatverandering die menselijke gezondheid beïnvloeden



Bron: Huynen et al. (2008), Martens (2009), Gezondheidsraad (2009)

6.2 Gezondheidsrisico's door klimaatverandering

Klimaat en gezondheid

Klimaatverandering kan de menselijke gezondheid op veel directe en indirecte manieren beïnvloeden (MNP 2005; CASHh 2006; Huynen et al. 2008; WHO 2008; De Roda Husman & Schets 2010; Ebi 2011; zie figuur 6.1). Welke gezondheidseffecten waar zullen optreden, hangt af van de mate van verandering ('belasting'), de gevoeligheid van populaties en individuen voor veranderingen, en het vermogen tot aanpassing.

Volgens de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO 2008) en het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) leidt klimaatverandering tot substantiële volksgezondheidsrisico's. Klimaatverandering wordt (wereldwijd) in verband gebracht met een toename van ziekte en (voortijdige) sterfte door extreme weercondities (stormen, overstromingen, hitte en kou) en luchtverontreiniging (smog), blootstelling aan UV-straling (door hogere temperaturen en recreatie), allergische aandoeningen (pollen en huisstofmijt), verhoogd risico op water-, voedsel- en vectorgebonden infectieziektes, wateroverlast, en ondervoeding (IPCC 2007; Epstein 2008; Shea et al. 2008; McMichael et al. 2006; Confalonieri & McMichael 2007). Maar klimaat-

verandering heeft ook positieve kanten. Zo zullen in minder strenge winters vermoedelijk minder mensen extra overlijden (IPCC 2007). Ook in Nederland zal de klimaatverandering een aantal gezondheidsrisico's met zich meebrengen (Huynen et al. 2008; Gezondheidsraad 2009; Kennis voor Klimaat/ Klimaat voor Ruimte 2008; Nationaal Kompas Volksgezondheid 2012). In sommige gevallen kunnen die risico's adaptatiemaatregelen noodzakelijk maken (MNP 2005). Risicogroepen zijn ouderen, chronisch zieken (onder andere patiënten met astma), zuigelingen en sociaal geïsoleerde personen. Naar verwachting zijn de effecten in Nederland beperkter van omvang en beter beheersbaar dan in minder welvarende landen (Mackenbach 2009).

De hiaten in onze kennis over de omvang van gezondheidseffecten bij verdergaande klimaatverandering zijn nog aanzienlijk (PBL 2009). Zo is het niet eenvoudig om uit het complex van andere (mondiale) ontwikkelingen die de volksgezondheid mede bepalen, te ontwarren in welke mate klimaatverandering bijdraagt aan de gezondheidseffecten. Ook veranderingen in menselijk gedrag en economische ontwikkeling hebben een dominante invloed op de volksgezondheid (Huynen et al. 2005). Daarnaast kunnen veel effecten worden voorkómen of beperkt door tijdige en adequate adaptatiemaatregelen (PBL 2009;

Deltaprogramma 2011). Hierbij valt te denken aan ruimtelijke en niet-ruimtelijke (technische) maatregelen, uitbreiding van monitoring, uitvoering van risicoschattingen, betere voorlichting, aanpassing van cultuur, gedrag en regelgeving, en aan het opnemen van klimaatbestendigheid als structureel onderdeel van het (lokaal) omgevingsbeleid. Een dergelijke aanpak is ook overeengekomen op de vijfde Ministersconferentie Milieu en Gezondheid in Parma in 2010 (het zogeheten *Parma commitment*).

Overigens kunnen sommige klimaatadaptatiemaatregelen ook nadelige effecten op de gezondheid hebben. Zo kunnen ruimtelijke verbeteringen in de Ecologische Hoofdstructuur de verspreiding van vectororganismen bevorderen, maar ook die van hun plaagsoorten en parasieten. Wat dit betekent voor de gezondheidsrisico's, is nog onbekend (Scholte et al. 2007). Daarom ligt een integrale benadering van het klimaatprobleem voor de hand (PBL 2009).

De concrete omvang van de gezondheidseffecten die door klimaatverandering worden veroorzaakt, is nog moeilijk te bepalen. In een aantal landen worden projecten uitgevoerd die erop zijn gericht om meer kwantitatieve kennis over klimaatgezondheidsrisico's op te bouwen. De WHO heeft met het risicoanalyseproject CEHAPIS (Climate Environmental Health Action Plan and Information System) een set van instrumenten en indicatoren opgesteld om dergelijke schattingen van de gezondheidseffecten mogelijk te maken. In 2012 zijn in dit kader in diverse landen pilotstudies gestart. Op de zesde Ministersconferentie Milieu en Gezondheid, in 2016, zal over de voortgang van deze pilotstudies worden gerapporteerd.

Voor Nederland hebben Huynen et al. (2008) een eerste ruwe inschatting gemaakt van de omvang van de gezondheidsrisico's door klimaatverandering: jaarlijks enkele honderden tot duizenden ziektegevallen en enkele honderden mensen die voortijdig overlijden. Ten opzichte van de totale jaarlijkse ziektelast in Nederland is deze omvang nog beperkt.

Mogelijke effecten in Nederland

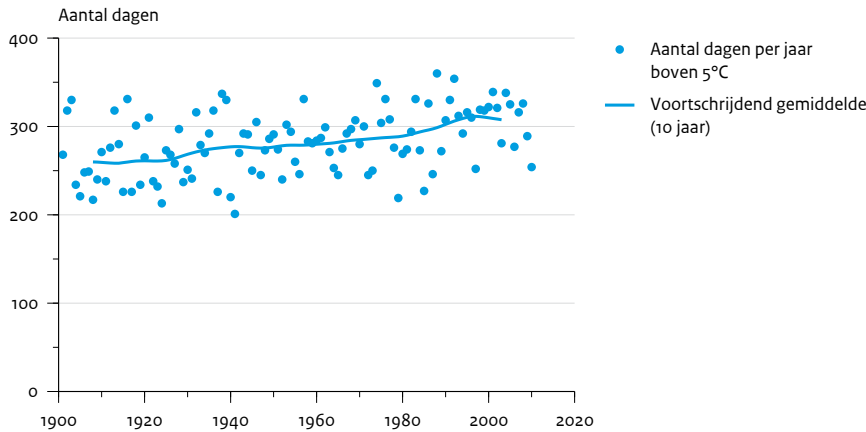
Toename temperatuur, hitte en luchtverontreiniging

De gemiddelde temperatuur in de wereld is de afgelopen decennia gestegen en zal naar verwachting nog verder stijgen. Ook komen temperatuurextremen vaker en in sterkere mate voor dan een eeuw geleden (zie hoofdstuk 2); de verwachting is dat de kans op een hittegolf zich de komende decennia zal verdubbelen. Deze veranderingen leiden tot gezondheidseffecten die verband houden met temperatuur (Kovats & Ebi 2007). Hitte kan de slaap verstoren (korter en van minder kwaliteit) en kan leiden tot verlies aan arbeidsproductiviteit. Tevens kunnen

hittegolven, evenals perioden van zomersmog, het overlijden van ernstig zieke personen bespoedigen. Dit is waargenomen tijdens de extreem hete zomers van de afgelopen jaren in Europa (Huynen et al. 2008). Bij de hittegolf in 2003 was deze extra sterfte 13 procent (400 tot 500 extra sterfgevallen in twee weken; Garssen et al. 2005; Nationaal Kompas Volksgezondheid 2012). Vooral ouderen, personen met luchtwegaandoeningen of hart- en vaatziekten en sociaal geïsoleerde personen blijken gevoelig voor extreme warmte tijdens hittegolven. Vaak overlijden zij eerder doordat de hitte hun gezondheidsklachten verergert (het zogenaamde 'oogsteffect'). De schattingen voor de ernst van dit effect lopen zeer uiteen, van verlies van enkele dagen tot enkele maanden. Hittegolven leiden dus niet alleen tot vervroegde sterfte, maar gaan ook gepaard met een toename en/of verergering van bestaande gezondheidsklachten en ziektes. Het optreden van hittegolven valt bovendien samen met een versterkte vorming van zomersmog (Filleul et al. 2006). Dit heeft vooral gevolgen voor mensen die zich inspannen in de buitenlucht, mensen met hart- en vaatziekten, mensen met ziektes aan de ademhalingswegen, en mensen die anderszins extra gevoelig zijn voor ozon. Nederlandse modelberekeningen wijzen uit dat de extra sterfte voor een belangrijk deel (circa 25 tot 40 procent) door verhoogde luchtverontreiniging zou kunnen worden veroorzaakt (Fischer et al. 2005). Warmteoverlast is vooral een stedelijk probleem (via het zogeheten *Urban Heat Island-effect*), doordat in de steden meer warmte wordt gecreëerd en vastgehouden en er bovendien minder wind en ventilatie is. Aan de andere kant zullen de winters naar verwachting minder koud worden, waardoor de kans op wintersmog afneemt en mensen minder last zullen hebben van typische winterziekten zoals verkoudheid, griep en bronchitis; beide ontwikkelingen zijn positief voor de gezondheid. Met tijdige en passende adaptatiemaatregelen kunnen veel van de hittegerelateerde effecten worden beperkt. Deze maatregelen kunnen veelal kosteneffectief geïmplementeerd worden als zij vroegtijdig worden meegenomen in het plannings- en ontwerpproces voor her in te richten of uit te breiden steden en landelijk gebied (gebiedsontwikkeling) (PBL 2011).

Het is nog niet precies duidelijk welke temperatuurkarakteristieken de gezondheidseffecten het meest bepalen: absolute temperatuur, dag-nachtverschillen, eventueel in combinatie met relatieve vochtigheid (thermisch comfort). Daarom is er een begin gemaakt met het ontwikkelen van modellen om de risico's van temperatuur(extremen) op de gezondheid beter in te schatten (Reid et al. 2009, EU INTARESE 2010, WHO CEHAPIS 2011, PESETA 2011).

Figuur 6.2
Lengte groeiseizoen in De Bilt



Bron: KNMI (2011)

Toenemende allergie- en hooikoortsklachten

Het aantal mensen in Nederland met allergische aandoeningen is in de laatste decennia gestaag toegenomen, maar de piek lijkt inmiddels te zijn bereikt (RIVM 2008). Zo heeft 15 tot 20 procent van de Nederlanders last van hooikoorts (De Weger 2008) en rond de 20 procent heeft last van huisstofmijtallergie (Smithuis et al. 2000). Van de mensen die allergische luchtwegklachten hebben zoals astma, heeft een groot aantal ook hooikoorts. Blootstelling aan pollen kan de allergieklachten sterk verergeren. (Bousquet et al. 2003). Klimaatverandering speelt daarbij op verschillende manieren een rol:

- Hogere temperaturen leiden tot een langer en intenser groei- en bloeiseizoen. Mogelijk leidt dit ook tot een langer en ernstiger pollen- en hooikoortsseizoen (Van Vliet 2008). Het groeiseizoen is nu gemiddeld rond drie weken langer dan in de periode 1961-1990, en rond zes weken langer dan honderd jaar geleden. (KNMI 2011; figuur 6.2). Onder het KNMI'o6 G-scenario kan tot 2050 het gemiddelde groeiseizoen nog zes dagen eerder beginnen, in het W+-scenario zelfs negentien dagen (Schaap et al. 2009; zie ook hoofdstuk 5).
- Een hogere CO₂-concentratie vergroot de pollenproductie van planten (Ziska et al. 2003; Epstein 2008).
- Mede door de temperatuurstijging kunnen zich nieuwe allergene plantensoorten ('hooikoortsplanten') in ons land vestigen, zoals de sterk allergene Ambrosia-plant (Huynen & Menne 2003).

Klimaatverandering kan ook de verspreiding beïnvloeden van organismen die een invloed hebben op de menselijke gezondheid. Zo heeft de eikenprocessierups zich mede als gevolg van de temperatuurstijging over een groot deel

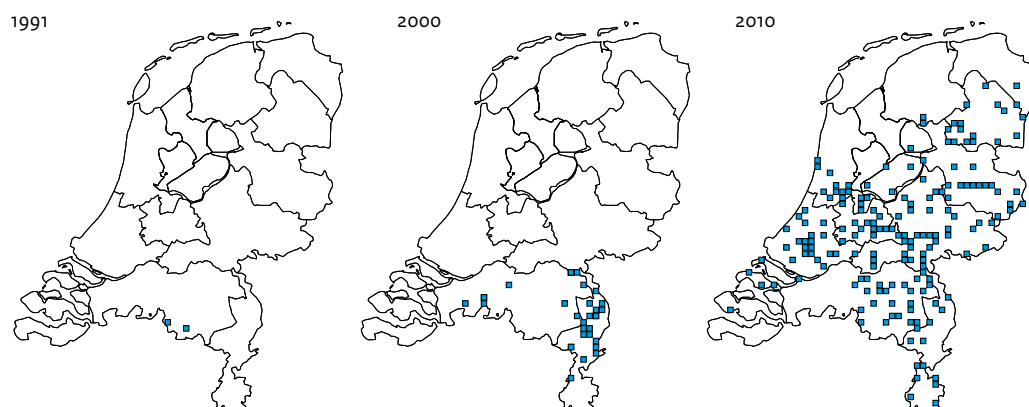
van Nederland verspreid (Van Oudenhoven 2008; figuur 6.3). De haren van deze rups kunnen een allergische en toxische reactie bij mensen veroorzaken. Jaarlijks hebben nu zes miljoen mensen in Nederland in hun omgeving met de rups te maken (Jans & Franssen 2008). Hierdoor ondervinden, naar een eerste, voorlopige en ruwe schatting, ongeveer 80.000 mensen gezondheidsklachten (Jans & Franssen 2008). De verwachting is dat de eikenprocessierups rond 2020 in het hele land te vinden zal zijn, met mogelijk toenemende gezondheidsproblemen en overlast tot gevolg (Van Oudenhoven 2008). Diverse gemeenten voeren bestrijdingsplannen uit en geven, in samenspraak met de GGD, voorlichting om blootstelling en gezondheidsklachten te verminderen.

Effecten op vectorgebonden infectieziektes zijn lastig te begrijpen en te voorspellen. Vooral monitoring en surveillance zijn nodig

Vectorgebonden infectieziektes worden overgebracht door besmette organismen, zoals muggen en zandvliegen. De vectoren – ofwel dragers – veroorzaken zelf geen ziektes, maar kunnen ervoor zorgen dat ziekteverwekkende bacteriën en virussen worden overgedragen op mensen. Voorbeelden hiervan zijn de ziekte van Lyme, West-Nijlkoorts en sommige tropische infectieziektes, zoals malaria, knokkelkoorts en chikungunja.

De invloed van klimaatverandering op de vectorgebonden infectieziektes laat zich vooralsnog lastig begrijpen en voorspellen. Potentieel leidt klimaatverandering tot een grotere verspreiding, vestiging, en activiteit van vectoren als insecten en teken. Er zijn ook aanwijzingen dat de ontwikkeling van

Figuur 6.3
Verspreiding eikenprocessierups



Bron: CBS et al. (2010)



Eikenprocessierups

ziekteverwekkers in de vectoren en de kans dat deze ziektes worden overgedragen op mensen inderdaad toenemen (IPCC 2007; Takken et al. 2007). Ten slotte vindt er een steeds grotere uitwisseling plaats van mensen, planten en dieren, waardoor mensen meer bloot worden gesteld aan besmette muggen, teken en 'tussengastheren' zoals trekvogels. Het systeem is echter complex en nog niet goed in kaart gebracht. Bovendien is een aantal andere ontwikkelingen evenzeer van invloed, zoals globalisering, handel en transport, en toerisme en recreatie (Takken et al. 2007).

Vanwege het nog ongewisse infectierisico is het nodig met monitoring en surveillance alert te blijven op nieuwe ontwikkelingen, om actieplannen gereed te hebben en om in internationaal verband in de kennisontwikkeling over gezondheidsrisico's mee te blijven doen (Semenza & Menne 2009; Semenza et al. 2012; ECDC 2012).

Voor Nederland wordt de ziekte van Lyme vaak genoemd in verband met klimaatverandering (Wardekker et al. 2012). De ziekte van Lyme wordt veroorzaakt door de beet van een teek die besmet is met de Borrelia-bacterie. De door teken overgebrachte ziekte wordt pas sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw in Nederland waargenomen. In het voor- en najaar zijn de teken het meest actief.

De ziekte van Lyme kan zich kunnen uitbreiden doordat teken langer actief zijn, in een groter deel van Nederland voorkomen en meer bacteriën met zich meedragen. Inmiddels is circa 10 tot 30 procent van de teken in Nederland besmet met één of meerdere soorten bacteriën die bij mensen de ziekte van Lyme kunnen veroorzaken (www.zorgatlas.nl). Van alle mensen die in Nederland door een teek worden gebeten, krijgt naar schatting ongeveer 1,5 procent daadwerkelijk de ziekte van Lyme (Schouls & Van Pelt 2003). Tussen 1994 en 2005 verdrievoudigde het aantal tekenbeten (van 23.000 tot 73.000) en het aantal patiënten met *erythema migrans* – een eerste uiting van de ziekte van Lyme – liep op tot 17.000 per jaar (Den Boon & Van Pelt 2006). Naast veranderingen in ons klimaat spelen hierbij andere factoren ook een rol, zoals de toename van een bezoek aan het bos. De verwachting is dat de ziekte van Lyme verder zal toenemen, onder andere doordat teken als gevolg van de klimaatverandering steeds langer actief zijn (Takken et al. 2007).

Met klimaatverandering worden ook andere vectorgebonden infectieziekten in verband gebracht; bijvoorbeeld ziekten die worden overgebracht door knutten en steekmuggen (zoals Dengue, of knokkelkoorts, wordt overgebracht door de tijgermug). Er zijn echter nog geen aanwijzingen voor een toename van deze andere vectorgebonden infectieziekten in Nederland

(http://www.rivm.nl/Bibliotheek/Algemeen_Actueel/Veelgestelde_vragen/Infectieziekten/Veelgestelde_vragen_Tijgermug).

Jaar-tot-jaarvariatie in watergebonden infectieziektes is groot. Relatie met klimaatverandering veelal nog moeilijk te leggen

Klimaat en weer kunnen ook invloed hebben op de introductie, verspreiding en groei van pathogene micro-organismen in oppervlakte- en recreatiewater, en daardoor op de infecties en ziektes die hiermee samenhangen (Hunter 2003; McMichael et al. 2006; Huynen et al 2008). Over de mate waarin klimaatverandering bijdraagt aan dergelijke watergebonden infectieziektes – ook in verhouding tot de bijdrage van andere factoren – is nog weinig kennis beschikbaar (ECDC 2007). Bovendien is de invloed van het klimaat op deze infectieziektes divers (Braks & De Roda Husman 2012). Bij sommige pathogenen (bacteriën, amoeben en algen) leiden verhoging van temperatuur, vochtigheid, UV-straling, neerslag en waterbeschikbaarheid tot een toename van infectieziektes. Sommige andere ziekteverwekkers, zoals darmbacteriën, virussen en parasieten, kunnen onder invloed van de klimaatverandering juist afnemen.

Recente studies laten zien dat tussen 1990 en 2009 het aantal gezondheidsklachten als gevolg van recreatie in oppervlaktewater is toegenomen (CBS et al. 2010b; De Roda Husman & Schets 2010). De jaar-tot-jaarvariatie is echter groter dan de trend. Het optreden van gezondheidsklachten hangt vooral samen met de zomertemperatuur (figuur 6.4); hoe warmer, hoe meer waterrecreatie. Tegelijkertijd geldt: hoe warmer, hoe

minder de waterkwaliteit. Dit komt ten eerste doordat een hogere temperatuur in (ondiep en stilstaand) recreatiewater leidt tot een verhoogd aantal ziekteverwekkers zoals blauwalgen (cyanobacteriën) (Huynen et al. 2008). Ook kan onder dergelijke omstandigheden de bacterie *Pseudomonas aeruginosa* vaker voorkomen – met een verhoogd aantal oortontstekingen tot gevolg – en kunnen meer ziekteverwekkende *Vibrio*-bacteriestammen allerlei wondontstekingen veroorzaken (Van Asperen et al. 1995; Schets et al. 2006; De Roda Husman & Schets 2010). Verder kan de kwaliteit van het oppervlaktewater verslechteren door meer frequente extreme neerslag. Het gebeurt dan vaker dat (riool)afvalwater overstort en dat meer dierlijke mest afspoelt, waardoor ziekteverwekkers in het recreatiewater terecht kunnen komen (Huynen et al. 2008; De Roda Husman & Schets 2010).

Adequate monitoring is effectief om potentiële besmettingen te kunnen opsporen en mensen tijdig te kunnen voorlichten. Hierdoor kunnen zij hun gedrag aanpassen en daarmee de blootstelling aan besmetting, en de hieraan verbonden gezondheidsklachten, reduceren.

Klimaatverandering kan ook een negatief effect hebben op de kwaliteit van de drinkwaterproductie en -distributie (WHO 2010). Denk hierbij bijvoorbeeld aan *Legionella*-bacteriën en amoeben (Huynen et al. 2008). In Nederland neemt het aantal meldingen van legionellose de laatste jaren toe; in 2007/2008 waren er 296 meldingen. Deze toename wordt geassocieerd met de relatieve luchtvochtigheid, de temperatuur en de neerslag-intensiteit (Karagiannis et al. 2009). Met blijvende aandacht voor een goede drinkwaterzuivering en adequate monitoring kunnen deze infectierisico's worden beperkt.

Voedselgerelateerde infectierisico's door klimaatverandering zijn vermoedelijk beperkt

Klimaatverandering kan ook leiden tot gezondheidseffecten die verband houden met voedselveiligheid.

Bijvoorbeeld:

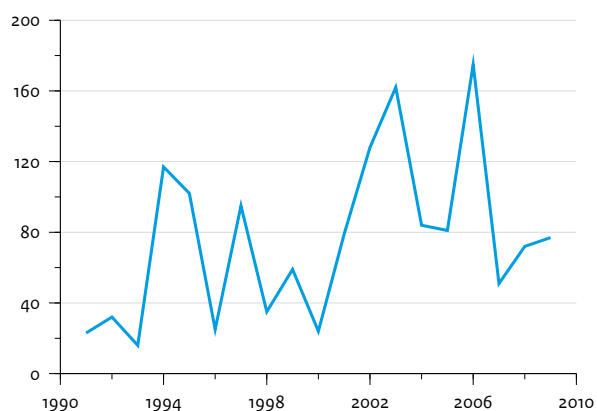
- stijgende omgevingstemperaturen leiden tot hogere concentraties van bepaalde ziekteverwekkers (zoals *Salmonella* en *Campylobacter*). Zo neemt het aantal gevallen van salmonellose potentieel toe met 5 tot 10 procent per 1°C temperatuurstijging (Kovats et al. 2004);
- stijgende omgevingstemperaturen leiden tot slechtere kwaliteit van drink- en irrigatiewater en hebben een negatieve invloed op rauw te consumeren voedsel. De causale verbanden hierbij verdienen echter meer onderzoek;



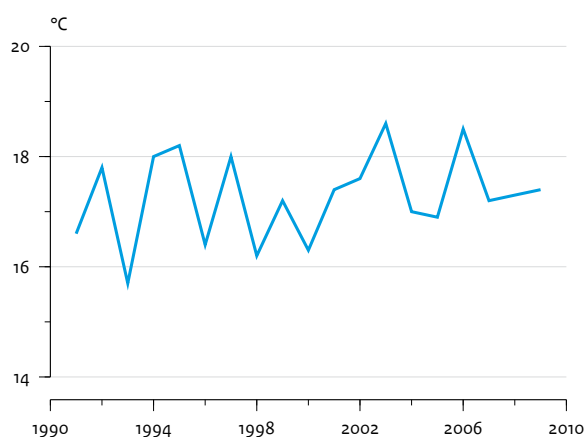
Recreatieplaatsen worden steeds vaker tijdelijk gesloten in verband met blauwalgen. Maar in het algemeen blijft de kwaliteit van binnenwateren en kustwateren op een hoog niveau.

Figuur 6.4
Temperatuur en gezondheidsklachten door wateroverdraagbare ziekten

Aantal gemelde gezondheidsklachten



Zomertemperatuur



Bron: De Roda Husman & Schets (2010)

- klimaatverandering heeft invloed op het voorkomen van ongedierte, zoals vliegen en knaagdieren, die infectieziekten kunnen overdragen (FAO 2008).

Het is onwaarschijnlijk dat, gezien de hoge standaard voor voedselhygiëne in Nederland, deze effecten door klimaatverandering veel groter zullen worden. Wel is blijvende aandacht voor goede voedselhygiëne en adequate monitoring gewenst.

6.3 Omvang gezondheidsrisico's door klimaatverandering veelal nog onduidelijk en onzeker

Een nauwkeurige inschatting van de mogelijke gezondheidsrisico's door klimaatverandering en de hieraan verbonden kosten is nog moeilijk te maken, zeker voor effecten op de lange termijn. Recent verschenen internationale studies bieden een eerste poging om de risico's van klimaatverandering voor de gezondheid kwantitatief te schatten (IPCC 2007; Health 2008; Peseta 2009; ClimateCost 2011; NRT 2011; ECDC 2012; IPCC 2012; Knowlton et al. 2012). Hierbij konden effectberekeningen veelal maar voor enkele gezondheidseindpunten worden gemaakt. De WHO (2009a, 2009b) geeft bovendien aan

Tabel 6.1

Kwalitatieve inschatting van de grootte van verschillende onzekerheden op de invloed van klimaatverandering op de menselijke gezondheid

	Statistisch	Scenario	Onwetendheid
Temperatuur en luchtkwaliteit	+	++	+(+) ^a
Infectieziektes	+	++	+++
Allergieën	+	++	++
Water- en voedseloverdraagbare infecties	k/+	++	++

Bron: Wardekker et al. (2012)

^a Voor sterfte: +, voor ziekte en indirecte effecten: ++; k (klein), + (redelijk), ++ (groot) of +++ (zeer groot). Een grijs gekleurd veld geeft het dominante type onzekerheden aan.

dat gezondheidseffecten door klimaatverandering zich vooral zullen gaan voordoen in onderontwikkelde (arme) landen. In de ontwikkelde, westerse wereld zullen deze effecten kleiner zijn, maar desalniettemin op termijn merkbaar. Tijdige en effectieve adaptatiemaatregelen kunnen de meeste van deze effecten voorkomen of verminderen.

Er bestaan nogal wat onzekerheden rondom de klimaatverandering zelf en de relatie tussen klimaatverandering en gezondheidsrisico's, zowel qua aard, omvang en tempo van de effecten (Wardekker & Van der Sluijs 2010). Dit komt doordat het moeilijk is de invloed te ontwarren van klimaatverandering als onderdeel van een complex van oorzakelijke factoren. Ook is er slechts beperkt inzicht in de effectiviteit van mogelijke adaptatiemaatregelen (Dessai & Van der Sluijs 2007).

Aan de hand van een vragenlijstonderzoek onder gezondheidsexperts (Wardekker et al. 2012) is gekeken bij welke gezondheidseindpunten voor klimaatverandering welke soort onzekerheid domineert: statistische onzekerheid, scenario-onzekerheid of gebrek aan kennis/onwetendheid (zie hoofdstuk 2 voor definities). De uitkomsten van dit onderzoek onder experts zijn samengevat in tabel 6.1.

Onwetendheid is in het algemeen de belangrijkste bron van onzekerheid. Zo is er een gebrek aan kennis over causale verbanden en onduidelijkheid over de uiteindelijke invloed van klimaatverandering op infectieziektes, mede doordat sommige vectoren en ziekteverwekkers meer en andere juist minder kunnen voorkomen door klimaatverandering (Braks & De Roda Husman 2012). De mate van onwetendheid blijkt sterk te verschillen voor diverse typen gezondheidseffecten. Zo is er relatief meer kennis over de effecten van temperatuurverandering op de gezondheid (warmteoverlast, kou, enzovoorts) en over de effecten van een verdere uitbreiding van de eikenprocessierups over Nederland. Bij andere effecten, zoals de relatie tussen de temperatuur van het recreatiewater en diverse

infecties, reikt de kennis soms niet verder dan dat veranderingen zowel de positieve als de negatieve kant op kunnen gaan (Braks & De Roda Husman 2012). En vooral bij infectieziektes – zoals de ziekte van Lyme – spelen ook andere factoren een (grotere) rol, waardoor de invloed van klimaatverandering (nog) moeilijk is vast te stellen.

Naast onwetendheid is er ook een aanzienlijke scenario-onzekerheid (klimaatscenario's, verandering in weersextremen) als het gaat om de relatie tussen klimaatverandering en gezondheid (Wardekker et al. 2012). Daarnaast is er sprake van statistische onzekerheden in veel meetreeksen. Dat komt doordat de gezondheidseffecten nog maar over een relatief korte periode worden waargenomen en de natuurlijke variabiliteit vaak groot is. Een voorbeeld hiervan zijn de gezondheidsklachten door watergerelateerde infecties.

Onzekerheidsonderzoek kan worden gebruikt om keuzes te maken in het adaptatiebeleid gericht op het verminderen van klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's (WHO 2010). Bij gezondheidseffecten waarbij vooral onwetendheid domineert, kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een adaptatiebeleid met – naast een alerte monitoring van mogelijke risico's – een set van flexibele, veerkrachtige mogelijkheden om de maatschappij en het gezondheidssysteem aan te passen. Dergelijke adaptatiemogelijkheden kunnen worden geïmplementeerd afhankelijk van of effecten zich sneller, langzamer of anders voordoen dan gedacht.

Effecten van klimaatverandering op recreatie en toerisme

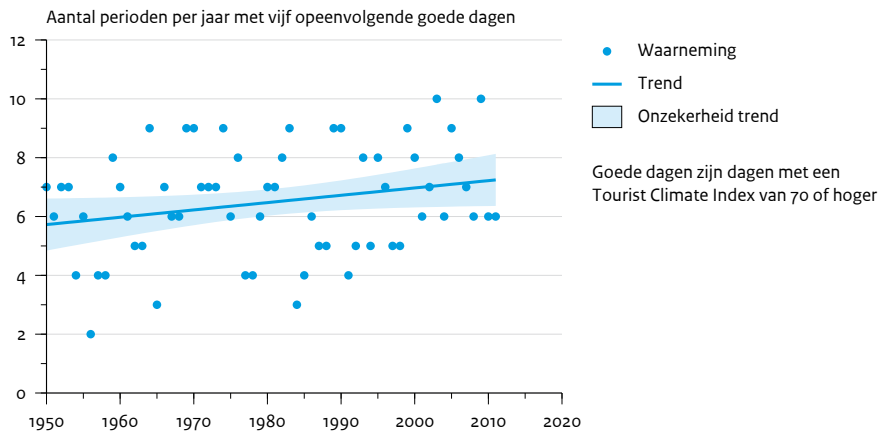
- Omdat het weer een rol speelt bij de keuze van vakantiebestemmingen en activiteiten, is het aannemelijk dat recreatie en toerisme door de klimaatverandering zullen veranderen.
- Door de (verdere) temperatuurstijging in Nederland wordt het zomerseizoen mogelijk langer en zullen voor- en najaar (langere) periodes kennen met aangener weer.
- Nederland zal hierdoor een aantrekkelijker land worden voor recreanten en (buitenlandse) toeristen. Omdat het aangener wordt om te zwemmen, te zonnen, te wandelen, te fietsen, te varen en te vissen, zal de vraag naar recreatiemogelijkheden mogelijk toenemen, evenals de druk op recreatiegebieden.
- Deze gevolgen van de klimaatverandering bieden dus (economische) kansen voor de Nederlandse recreatie- en toerismesector.
- Tegelijkertijd brengt de klimaatverandering voor deze sector ook bedreigingen met zich mee, zoals een slechtere waterkwaliteit door hogere watertemperaturen (toenemende vervuiling, ziekmakende micro-organismen), gewijzigd waterpeil, en neerslag en droogte.
- Afnemende winterkou maakt dat de kans op schaatsijs en bijvoorbeeld een Elfstedentocht op den duur afneemt.

7.1 Inleiding

Weer en klimaat hebben een invloed op recreatie en toerisme (Amelung et al. 2007; De Jonge 2008). Zij bepalen vaak wanneer en waarheen wij gaan. In dit hoofdstuk gaan we nader in op de invloed van klimaatveranderingen op recreatie en toerisme.

Recreatie en toerisme worden vaak genoemd als een sector die in Nederland kan profiteren van de klimaatverandering (bijvoorbeeld De Jonge 2008; Nicholls & Amelung 2008). Nu al zien we dat een warme zomer een positief effect heeft op het aantal boekingen voor vakanties in eigen land voor de daaropvolgende zomer (Giles & Perry 1998). Nederland (en de landen om ons heen) kan zich door de klimaatverandering naar verwachting in een toenemende toeristische belangstelling verheugen. Ons land wordt waarschijnlijk warmer en daarmee aantrekkelijker voor vakanties en buitenactiviteiten, terwijl de verblijfscondities in Zuid-Europa kunnen verslechteren doordat het er nog warmer en nog droger wordt (Amelung et al. 2007; PBL 2009; Perch-Nielsen et al. 2010). In eerste instantie gaat het dan om Nederlanders die vaker de vakanties in eigen land doorbrengen en er dagjes op uit trekken. Daarnaast zullen wellicht ook buitenlanders ons land vaker bezoeken, al zal het Nederlandse weer wisselvallig blijven. In dit opzicht biedt klimaatverandering duidelijk economische kansen. Nadelen zijn er echter ook, bijvoorbeeld in de vorm van frequenter en heftiger regenbuien. Klimaatverandering

Figuur 7.1
Aantal perioden met mooi weer in De Bilt



Periodes met goede toeristische omstandigheden ($TCl \geq 70$) nemen toe tussen 1950 en 2010.

kan verder de beleving van de omgeving beïnvloeden, doordat het landschap (bijvoorbeeld minder sneeuw) en de leefomgeving (bijvoorbeeld verslechtering kwaliteit zwemwater) veranderen (De Jonge 2008).

Overigens worden toerisme en recreatie niet alleen bepaald door het weer en de klimaatomstandigheden. Het zijn ook sociale, ruimtelijke en economische factoren die bepalen of een bestemming aantrekkelijk is voor toeristen; bijvoorbeeld het relatieve prijsniveau en de inrichting van de kustregio's en de steden. Zo komen toeristen uit andere delen van de wereld vooral naar Nederland vanwege de historische steden (De Jonge 2008). Bovendien zijn niet alle vormen van recreatie en toerisme even afhankelijk van weer en klimaat, of gevoelig voor klimaatverandering. Strandtoerisme bijvoorbeeld is hiervoor erg gevoelig (Moreno et al. 2008). De invloed van klimaatverandering kan daarom



Intensiteit van recreatie en toerisme kan in Nederland toenemen.

sterk uiteenlopen binnen de toeristisch-recreatieve sector.

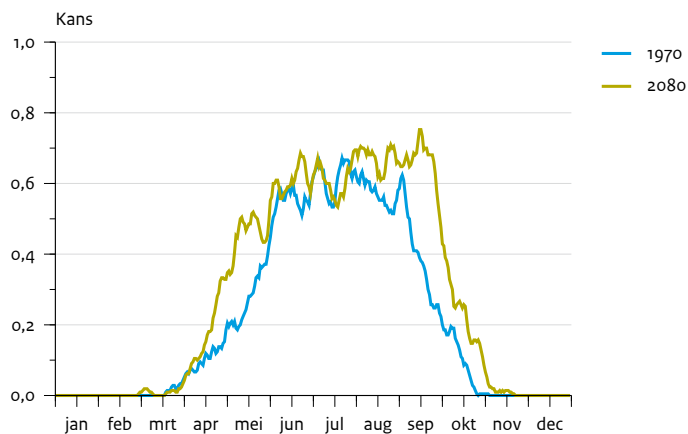
7.2 De invloed van een ander klimaat

Een maat die aangeeft hoe aantrekkelijk een gebied is voor toerisme in relatie tot weer en klimaat is de 'Tourism Climatic Index' (TCI) (Mieczkowski 1985; Amelung & Viner 2006). Deze TCI is van toepassing op *sightseeing* en vergelijkbare lichte buitenactiviteiten. De index is opgebouwd uit onder meer temperatuur, luchtvochtigheid, zon, regen en wind. Een score boven 70 is zeer goed, boven 90 ideaal. Verschillende studies (bijvoorbeeld Amelung & Viner 2006; Amelung et al. 2007) hebben de TCI gebruikt om in kaart te brengen wat de effecten zijn van klimaatverandering op de aantrekkelijkheid van toeristische bestemmingen. Nicholls en Amelung (2008) doen dat specifiek voor Noordwest-Europa, waaronder Nederland.

Meer periodes met goede omstandigheden in de zomer, mindere omstandigheden in de winter

In veel delen van Europa zijn de omstandigheden voor toerisme traditioneel het best rond de zomer. Dit geldt bijvoorbeeld voor het Middellandse Zeegebied, al komen hier 's zomers ook regelmatig hittegolven voor en bosbranden, en treedt er waterschaarste op. Ook Nederland kent de beste omstandigheden in de zomer. In de afgelopen vijftig jaar is de zomerperiode langer geworden en is de kans op een langere aaneengesloten zomerperiode met goede omstandigheden ($TCl \geq 70$) toegenomen (figuur 7.1). TCI-analyses geven aan dat er

Figuur 7.2
Kans op aantrekkelijk weer

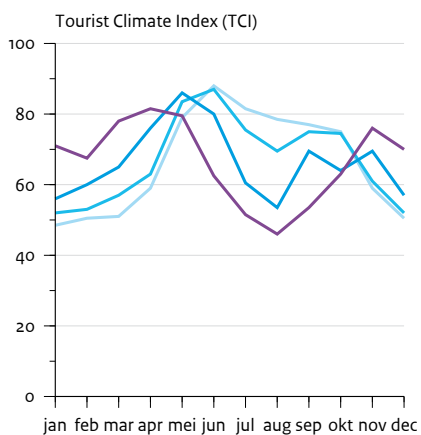


Bron: Amelung (2008)

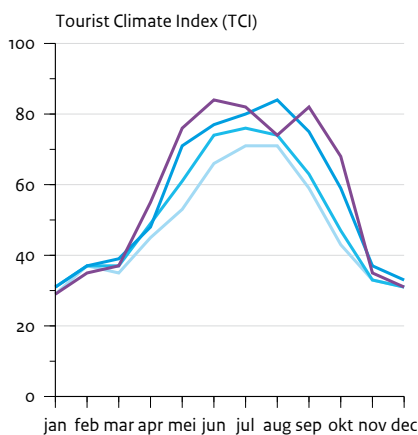
Het toerismeseizoen in Nederland wordt mogelijk langer. Aantrekkelijk weer is uitgedrukt als de gemiddelde kans op een voor zomerrecreatie geschikt weertype (Besancenot 1989) per dag van het jaar. De situatie voor 2080 is gebaseerd op het HadCM3-model en het A1F-klimaatscenario.

Figuur 7.3
Klimaatomstandigheden voor toerisme

Balearen



De Bilt



— 1970
 — 2020
 — 2050
 — 2080

Bron: Amelung (2006)

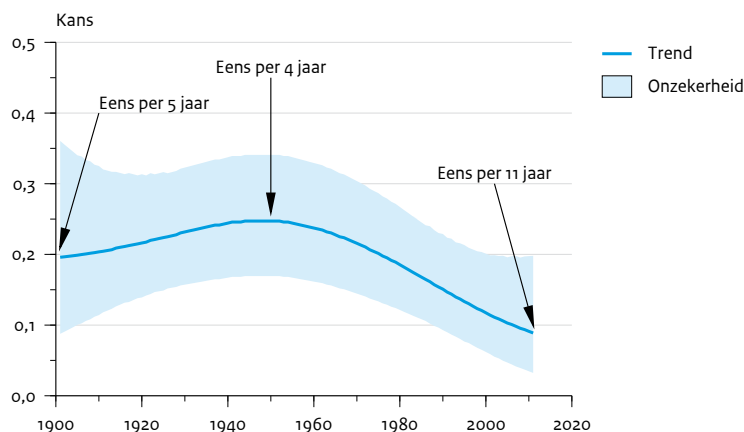
7.1 Klimaat en Elfstedentocht

De Elfstedentocht is inmiddels vijftien keer gereden, voor het laatst op 4 januari 1997 en in februari 2012 bijna. De stijgende temperaturen maken dat de kans op een dergelijke tocht in de afgelopen eeuw is afgenomen. De kans op een Elfstedentocht is gedaald van 20 procent rond 1900 en 27 procent rond 1950 naar 5,5 procent rond 2010. Dit betekent dat een Elfstedentocht op dit moment gemiddeld eens in de achttien jaar georganiseerd kan worden, tegenover eens in de vier tot vijf jaar gedurende de eerste helft van de twintigste eeuw (Visser & Petersen 2008a) (zie figuur 7.4).

Op basis van de KNMI'o6-scenario's blijkt dat de kans op periodes met extreme koude in de eenentwintigste eeuw verder zal dalen. Toch blijft ons klimaat zeer variabel (Brandsma 2001). Uitschieters naar beneden, met een koudegolf of een heuse ijswinter en dus een Elfstedentocht, zullen hierdoor nog altijd mogelijk blijven. De koude periode in februari 2012 is daar een mooi voorbeeld van.

Op basis van de KNMI'o6-scenario's is berekend dat de kans op een Elfstedentocht rond het jaar 2050 zal liggen tussen 5,6 procent (bijna onveranderd) in het G-scenario en 0,6 procent in het W+-scenario. Omgerekend naar terugkeertijden is dat tussen respectievelijk eens per achttien jaar en eens per 183 jaar (Visser & Petersen 2008b; CBS et al. 2011). Overigens is de onzekerheid in deze projecties groot, omdat er naast het klimaat ook veel andere factoren meespelen.

Figuur 7.4
Kans op Elfstedentocht



Bron: CBS et al. (2008)

aanzienlijke verschillen zijn tussen regio's in Nederland. Alleen het zuidwesten (Zeeland) had in de jaren zeventig van de vorige eeuw gemiddeld drie maanden met goed weer voor recreatie en toerisme. De rest van Nederland bleef steken op één tot twee maanden.

De waargenomen trend naar een langer en beter zomerseizoen zal zich onder invloed van de toekomstige klimaatverandering mogelijk verder voortzetten (zie figuur 7.2 en 7.3). Voornamelijk de frequentie van warm, zonnig weer (strandweer) kan toenemen. Ook in het voor- en najaar neemt de kans toe op weertypen die gunstig zijn voor zomerrecreatie. Hierdoor gaan niet alleen de maanden juli en augustus tot het (klimatologische) hoogseizoen behoren. In een scenario

van snelle klimaatverandering neemt het aantal goede maanden in Nederland snel toe: naar drie tot vier maanden rond de jaren twintig van de eenentwintigste eeuw, vier tot vijf maanden rond de jaren vijftig, en vijf tot zes maanden rond de jaren tachtig (Nicholls & Amelung 2008). Omdat het seizoen mogelijk langer wordt, is ook kans op verschuivingseffecten groter, dat wil zeggen dat activiteiten ook op andere tijden in het seizoen worden ondernomen. Toch is het niet te verwachten dat Nederland juist vanwege de klimaatverandering zich tot zelfstandige trekpleister zal ontwikkelen voor buitenlandse toeristen, want de zomers blijven wisselvallig. Het is dan ook moeilijk in te schatten wat het gunstiger zomerseizoen voor effect zal hebben op het aantal langere vakanties dat buitenlandse

Tabel 7.1
Geschikte klimaatcondities voor watersportrecreatie

	Motorboten	Waterskiën	Zeilen	Vissen	Zwemmen & zonnen
Luchttemperatuur (°C)	15 tot 35	18 tot 35	10 tot 35	15 tot 35	15 tot 30
Watertemperatuur (°C)	2 tot 20	10 tot 20	10 tot 20	< 20	15 tot 20
Neerslag	Geen	Geen	Geen	Geen	Geen
Wind (km/uur)	< 50	< 15	15 tot 50	< 15	< 15

Bron: IIDD, 1999

toeristen in Nederland doorbrengen. Wel zullen de verbetering en de verlenging van het zomerseizoen de buitenrecreatie – bijvoorbeeld zwemmen, zonnen, fietsen en watersport – verder kunnen stimuleren en zullen Nederlanders naar verwachting vaker de vakantie in eigen land doorbrengen.

Ook verschillen vormen van toerisme en recreatie in hun gevoeligheid voor klimaatverandering (De Jonge 2008). Er is echter weinig bekend over de eisen die de verschillende typen activiteiten aan het weer stellen, laat staan over de implicaties van de klimaatverandering voor die activiteiten. Sommige recreatievormen, zoals wandelen, lijken vrij ongevoelig voor klimaatverandering omdat deze worden beoefend bij uiteenlopende weersomstandigheden. Andere recreatievormen, zoals veel soorten watersport en zonnebaden, kunnen profiteren van de stijgende temperaturen (zie tabel 7.1). Wel kunnen toenemende neerslag (in KNMI'06 G- en W-scenario's), meer hevige regenbuien (in alle scenario's) en verslechterende watercondities (bijvoorbeeld minder zicht in en teruglopende kwaliteit van het water door sterke algengroei) een mogelijke toename van deze recreatievormen afremmen (De Jonge 2008).

Eén van de recreatie-activiteiten die in Nederland (en daarbuiten) mogelijk zal gaan leiden onder de klimaatverandering, is het schaatsen op natuurijs en andere vormen winterrecreatie. Stijgende temperaturen doen het aantal dagen met vorst en sneeuw dalen en periodes met ijsdikttes van 15 centimeter zullen afnemen. Zulke ijsdikttes zijn nodig om bijvoorbeeld de Friese Elfstedentocht te kunnen organiseren (CBS et al. 2008). Dit effect is nu al waar te nemen (zie tekstkader 7.1).

De trend dat het zomerklimaat op vakantiebestemmingen in de mediterrane landen mogelijk onaantrekkelijker wordt, kan de positieve ontwikkeling van het toerisme in Nederland versnellen (Perch-Nielsen et al. 2010). Figuur 7.3 laat zien hoe de aantrekkelijkheid van de Balearen in het hoogseizoen terugloopt.

7.3 Onzekerheden rond de effecten van klimaatverandering op toerisme en recreatie vooral bepaald door kennisleemtes

Het onderzoek naar de samenhang tussen weer en klimaat enerzijds en toerisme en recreatie anderzijds is nog relatief jong en minder ver ontwikkeld dan voor veel andere economische sectoren zoals de landbouw (Ceron & Scott 2007). Mede daardoor is er nog sprake van aanzienlijke kennisleemtes en onwetendheid. Zo is nog weinig bekend over hoe mensen klimaat en klimaatverandering ervaren, en wat dit betekent voor het toeristische gedrag. Ook weten we, afgezien van wat algemene kennis, nog weinig over de specifieke eisen die de verschillende recreatievormen aan het weer stellen. Zo is bijvoorbeeld bekend dat fietsers goed uit de voeten kunnen bij uiteenlopende temperaturen, terwijl de meeste mensen pas buiten gaan zwemmen en zonnen als de temperatuur boven een bepaald minimum uitkomt. Een van de relevante kennisvragen gaat dan ook over de wisselwerking tussen weer/klimaat en recreatie/toerisme, zowel in het verleden als in het heden.

Verder is onzeker, en ook moeilijk vast te stellen, wat het belang is van klimaatverandering in het grotere geheel van economische, technologische, demografische en culturele invloeden op de toeristische sector. Zo heeft klimaatverandering waarschijnlijk een positief effect op de keuze van binnenlandse en buitenlandse toeristen voor Nederland als vakantiebestemming, maar dit effect is moeilijk te kwantificeren. Daarbij spelen ook allerlei sociaaleconomische ontwikkelingen in brede zin een rol. Hierbij gaat het zowel om kennisleemtes/onwetendheid als om scenario-onzekerheid (zie hoofdstuk 2).

Scenario-onzekerheid speelt ook aan de klimaatkant als het gaat om de effecten van klimaatverandering op de sector toerisme en recreatie. Uit alle klimaatscenario's blijkt dat de temperaturen 's zomers hoger zullen zijn,

wat kansen lijkt te bieden voor de sector. Waarin de scenario's echter verschillen, is de richting (meer of net minder) en de grootte waarin de zomerneerslag in Nederland zal veranderen. En de verwachte toename in extreme neerslag kan de mogelijkheden voor toerisme en recreatie juist tegenwerken.

Beleidsaandacht voor de effecten van klimaatverandering

- In veel Nederlandse beleidsdossiers is er aandacht voor de risico's van klimaatverandering. Hoe groot deze aandacht is, verschilt sterk per beleidsveld.
- De klimaatrisico's voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid (onder andere voor de landbouw) en stedelijke ontwikkeling worden meegenomen in het Deltaprogramma. Dit programma biedt Nederland de kans om tijdig te anticiperen op de watergerelateerde risico's.
- Er is internationale afstemming nodig rond de beheersing van extreem hoge en lage rivierafvoeren. Over de piekafvoeren van de rivieren vindt afstemming plaats tussen Nederland en andere landen langs de Rijn – met name Duitsland – binnen het kader van de Rijncommissie en de Europese Richtlijn Overstromingsrisico's. Voor de internationale verdeling van het Rijnwater in extreem droge jaren bestaat geen formeel kader en zijn er nog geen afspraken gemaakt. Goede internationale afspraken zijn echter van groot belang omdat de Rijn in de zomer verreweg de grootste zoetwaterbron is voor Nederland en de afvoeren in dit seizoen juist sterk kunnen dalen.
- Er is in Nederland op nationaal niveau beperkte beleidsaandacht voor de risico's van klimaatverandering in relatie tot de gezondheid.
 - De nationale adaptatiestrategie voor klimaatverandering is niet geoperationaliseerd voor het thema gezondheid.
 - Wel is in overleg met gemeenten en GGD's een Nationaal Hitteplan opgesteld met gedrags- en zorgadviezen voor risicogroepen om gezondheidseffecten door warmteoverlast te beperken. De effectiviteit hiervan is nog onbekend. De gezondheidsrisico's rond hitte in het stedelijk gebied worden ook meegenomen in het Deltaprogramma (programma Nieuwbouw en Herstructurering).
- Voor de verspreiding van water-, voedsel- en vectorgebonden infectieziekten bestaat een systeem voor (wereldwijde) monitoring en surveillance. Dit is nodig vanwege de huidige, intensieve, mondiale en Europese transportbewegingen die – ook los van de klimaatverandering – dergelijke infectieziekten kunnen verspreiden. Op Europees niveau coördineert het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) deze monitoring. Nederlandse kenniscentra en de GGD's participeren hierin om alert te zijn op mogelijke uitbraken van infectieziekten, ook door verschuivende klimaatzones.
- Om de verdere gezondheidseffecten van de klimaatverandering in Nederland te beperken is aanvullende beleidsaandacht nodig voor effectiviteit van adaptatiemaatregelen en de uitvoeringspraktijk van opgestelde gedrags- en zorgadviezen, de tijdige opsporing (monitoring) en inschatting van risico's en ziekten, en het gericht omgaan met onzekerheden.
- De laatste jaren is er op rijksniveau weinig beleidsaandacht geweest voor de effecten van klimaatverandering op de natuur. De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en het Natura 2000-netwerk bieden in beginsel goede bouwstenen om de

Nederlandse natuur meer klimaatbestendig te maken. Hiervoor is het wel nodig de EHS meer te richten op het vergroten, versterken en verbinden van gebieden waarbij de voorkeur verlegd wordt naar bepaalde samenhangende clusters van gebieden (moeras, duin & kust, en bos en heide). Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen.

- In 2013 zal de Europese Commissie een Europese adaptatiestrategie presenteren. Centraal doel hiervan is het vergroten van de klimaatbestendigheid van de individuele lidstaten, gegeven de ongelijke aard van de mogelijke klimaateffecten in Europa. De recente website 'Climate-ADAPT' verstevigt de kennisbasis binnen Europa. De Europese Commissie is begonnen de effecten van klimaatverandering binnen haar bestaande sectorale richtlijnen nadrukkelijk te integreren; dergelijke 'mainstreaming' zal ook doorwerken op nationaal niveau. Niet alleen zullen bestaande richtlijnen mogelijk worden bijgesteld, ook wordt klimaatactie één van de sleutels voor het verkrijgen van steun uit de EU-fondsen.
- Op mondiale schaal is er binnen het klimaatverdrag expliciete aandacht voor de effecten van klimaatverandering in de ontwikkelingslanden. In beperkte mate zijn fondsen beschikbaar om de armste landen hierbij te ondersteunen; ook vinden er onderhandelingen plaats over de inrichting van een omvangrijk Groen Klimaatfonds. Bij diverse VN-organisaties heeft de klimaatadaptatie de aandacht; denk aan UNEP, Habitat, VN/ECE, Biodiversiteitsverdrag, Woestijnverdrag en dergelijke. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) coördineert het onderzoek naar en het beleid gericht op de effecten van klimaatverandering op de volksgezondheid.

8.1 Inleiding

In dit rapport heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) de recente kennis op een rij gezet over de klimaatverandering in Nederland, de effecten daarvan die waarneembaar zijn, en wat de kansen en risico's zijn van verdere klimaatverandering in de komende decennia (bijlage 1). De negatieve effecten – de klimaatrisico's – hangen vooral samen met veranderingen in het optreden van extreme weersituaties en met de mogelijke toename van de kans op nieuwe, of opnieuw optredende, ziekten en plagen in de landbouw en de volksgezondheid. In dit hoofdstuk gaan we na in hoeverre er op nationale, Europese en mondiale schaal beleidsaandacht is voor de effecten van klimaatverandering en in hoeverre de eventuele risico's voldoende worden onderkend en zijn belegd (paragraaf 8.2 respectievelijk 8.3).

8.2 Beleidsaandacht in Nederland

Expliciete beleidsaandacht voor de effecten van klimaatverandering is er in Nederland vooral sinds de inrichting van het interbestuurlijke Programma Adaptatie Ruimte voor Klimaat (ARK) in 2006. Hierbij waren zowel de voormalige ministeries VROM, LNV, V&W en EZ als de koepelorganisaties van de provincies (IPO), de gemeenten (VNG) en de waterschappen (UvW) betrokken. De coördinatie van het programma lag bij het ministerie van VROM. Weerstand, veerkracht en flexibiliteit stonden centraal bij het vaststellen van adaptatie-opties. Het programma leidde ook tot verschillende lokale en regionale initiatieven; initiatieven die nog steeds lopen.

In 2007 is de Nationale Adaptatiestrategie 2007-2014 vastgesteld (VROM et al. 2007). De nationale adaptatiestrategie en het uitvoeringsprogramma ARK omvatten een groot aantal beleidsdossiers, zoals mobiliteit, natuur, landbouw, water, volksgezondheid, energie, wonen, industrie en recreatie (VROM 2006; VROM et al. 2007). Met de start van het Deltaprogramma in 2010 is het programma ARK beëindigd. In dit programma heeft het Rijk nieuwe prioriteiten gesteld op het terrein van klimaatrisico's en -adaptatie. Het accent daarbij ligt op de waterveiligheid, de zoetwatervoorziening en de ruimtelijke en stedelijke (her)inrichting bij het aanpakken van problemen die heftige regens, droogte en hitte met zich meebrengen (Deltaprogramma 2010). Het Deltaprogramma is verankerd in de Deltawet, die in januari 2012 van kracht werd.¹ Deze wet beschrijft hoe de benodigde financiering georganiseerd wordt en markeert de rol van de Deltacommissaris (een regeringscommissaris die ervoor zorgt dat er elk jaar een Deltaprogramma wordt opgesteld en die aan de Tweede Kamer over de voortgang rapporteert). De Deltawet vormt de wettelijke basis voor een nieuw Deltaplan, waarin de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening van de toekomst worden beschreven.

Onder regie van eerst het programma ARK en daarna het Deltaprogramma is veel in gang gezet, mede in wisselwerking met de omvangrijke onderzoeksprogramma's 'Klimaat voor Ruimte' (2006-2011) en 'Kennis voor Klimaat' (2008-2014). Beide onderzoeksprogramma's hebben veel inzichten opgeleverd en spelen een rol bij de kennisontwikkeling, het creëren van aandacht én het vormgeven aan kosteneffectieve acties bij Rijk, provincies, gemeenten, waterschappen en andere maatschappelijke actoren. In 2008 is, vanuit het programma ARK, het toenmalige Milieu en Natuur Planbureau (MNP) gevraagd een verkenning uit te voeren naar de strategische opties voor een klimaatbestendige ruimtelijke ontwikkeling van

Tabel 8.1
Overzicht beleidsaandacht klimaatverandering in de beschouwde sectoren

Sector	Verantwoordelijk	Belegd in
Waterveiligheid	– binnendijks	Ministerie IenM Provincies Waterschappen
	– buitendijks	Gemeenten
Watervoorziening/hoofdwateren	Ministerie IenM	Deltaprogramma (2010-2014) Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Waterbeschikbaarheid regio	Provincie/Waterschap	Deelname aan Deltaprogramma (2010-2014) Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Wateroverlast stedelijk gebied	Gemeenten	Nationaal Bestuursakkoord Water Deelname aan Deltaprogramma (2010-2014)
Wateroverlast landelijk gebied	Provincie/Waterschap	Nationaal Bestuursakkoord Water
Waterkwaliteit	Min IenM Provincies Waterschappen	Stroomgebiedbeheerplannen Kaderrichtlijn Water
Natuur	Min EL&I/Provincies	EU Natura-2000: status natuurdoelen Gericht uitvoeringsplan NL ontbreekt Provincies: relatie met klimaatbuffers
Natuurbranden	Ministerie van Veiligheid en Justitie	Project Interbestuurlijke Samenwerking Natuurbranden
Landbouw	– water- beschikbaarheid	Provincie/Waterschap
	– ziekten/plagen	Ministerie EL&I
Gezondheid	– hitte	Ministerie VWS
	– infectieziekten	Ministerie IenM Ministerie VWS
		Internationaal
Toerisme & recreatie	Provincies en gemeenten	-
Klimaatadaptatie internationaal	Ministerie IenM	EU-Witboek Klimaatadaptatie (2009) EU-Strategie klimaatadaptatie (2013) EU/WHO Parma Commitment National Page on European Climate Adaptation Platform VN-Klimaatverdrag Groen Klimaatfonds

¹ PBL (2011)

Nederland. Dit heeft geleid tot de programmerende studie *Wegen naar een klimaatbestendig Nederland* (PBL 2009) en – in nauwe samenwerking met de onderzoeksprogramma’s ‘Ruimte voor Klimaat’ en ‘Kennis voor Klimaat’ – de studie *Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland* (PBL 2011).

In veel Nederlandse beleidsdossiers is er aandacht voor de effecten en risico’s van klimaatverandering (zie tabel 8.1). Hieronder beschrijven we in welke dossiers en in welke mate dit het geval is.

Klimaatgerelateerde risico's rond water belegd in Deltaprogramma

De klimaatgerelateerde risico's rond overstromingen vanuit zee en/of de rivieren zijn voor Nederland van groot belang. In de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (IenM 2011) zijn ruimte voor veiligheid, een duurzame zoetwatervoorziening en kaders voor stedelijke (her)ontwikkeling bestempeld tot nationale belangen.

De mogelijke, maar nog onzekere, effecten van klimaatverandering op deze nationale belangen zijn belegd in het Deltaprogramma. Voor dit programma wordt nader onderzoek gedaan naar de risico's en opgaven voor overstromingen en de waterbeschikbaarheid; dit gebeurt op basis van sociaaleconomische scenario's voor de lange termijn en op basis van klimaatscenario's. Het Deltaprogramma moet in 2014 uitmonden in een voorstel voor een aantal strategische besluiten (de zogeheten Deltabeslissingen). Ook de relatie met de ruimtelijke inrichting in het algemeen en die van het stedelijk gebied in het bijzonder (nieuwbouw en herstructurering) krijgt in het Deltaprogramma expliciete aandacht.

De toenemende risico's van wateroverlast als gevolg van een toename van de frequentie en de intensiteit van piekbuien zijn al in 2003 geadresseerd in het Nationaal Bestuursakkoord Water (VenW et al. 2003). In dit akkoord zijn werknormen neergelegd voor de geaccepteerde kansen op wateroverlast voor verschillende vormen van landgebruik (zie tabel 3.5) en zijn afspraken gemaakt om de regionale watersystemen in 2015 op orde te hebben, mede in het licht van de verwachte klimaatverandering.

Internationale afstemming nodig rond de beheersing van extreem hoge en lage rivierafvoeren

Het waterbeheer bovenstrooms van Nederland kan van groot belang zijn voor zowel de piekafvoeren als de lage rivierafvoeren. De piekafvoeren die Nederland kunnen bereiken, worden gedempt doordat er bovenstrooms in Duitsland – waar de veiligheidsniveaus lager zijn dan in Nederland – al overstromingen optreden. Een mogelijke toename van de piekafvoeren bovenstrooms, als gevolg van de klimaatverandering, werken vooral door in Duitsland. Doordat de bovenstroomse overstromingen – bij ongewijzigd waterbeheer – de piekafvoeren zullen dempen, zullen de afvoeren bij Lobith maar iets hoger zijn dan normaal (zie figuur 3.8). Als Duitsland het huidige waterbeheer handhaaft en geen extra maatregelen neemt bovenop het huidige verbeteringsprogramma (de dijksituatie van 2020), is er een minimale kans dat de maatgevende afvoer van 18.000 kubieke meter per seconde – uitgangspunt voor de geplande maatregelen en ruimtelijke reserveringen in bijvoorbeeld het programma 'Ruimte voor Rivier' – overschreden worden. Wel kan het water Nederland dan buiten de rivieren om

bereiken, bijvoorbeeld in het geval van overstromingen vlak bij de Duits-Nederlandse grens.

Internationale afstemming rond de piekafvoeren en de beheersing van overstromingsrisico's is in beginsel belegd in de Europese Richtlijn Overstromingsrisico's. Lidstaten zijn gehouden om op stroomgebiedniveau het waterbeheer rond overstromingsrisico's vorm te geven. De Richtlijn is sinds 2007 formeel van kracht en zal zijn waarde in de praktijk moeten gaan bewijzen. Voor Nederland is er een formeel raamwerk waarbinnen opties voor de beheersing van overstromingsrisico's in Nederland en in landen langs de Rijn en Maas in samenhang kunnen worden beschouwd.

Het watergebruik bovenstrooms zou in droge zomers, als de rivierafvoeren laag zijn, een extra aanslag kunnen betekenen op het water dat Nederland bereikt. Voor de internationale verdeling van het Rijnwater in extreem droge jaren bestaat nog geen formeel kader en zijn ook geen internationale afspraken gemaakt. Goede internationale afspraken zijn echter van groot belang omdat de Rijn in de zomer verreweg de grootste zoetwaterbron is voor Nederland en omdat het waterpeil belangrijk is voor de druk bevaren Waal. Voor het stroomgebied van de Maas hebben Nederland en België wel afspraken gemaakt over de verdeling van het Maaswater bij lage afvoeren (het Maasafvoeroverdrag).

Risico's achteruitgang waterkwaliteit belegd in Kaderrichtlijn Water

Klimaatverandering heeft niet alleen effecten op de hoeveelheid water (te veel of te weinig), maar ook op de kwaliteit ervan (zie ook hoofdstuk 3). Zo kan een hogere watertemperatuur leiden tot een grotere kans op (blauw) algenbloei en een verminderde waterkwaliteit. Het beleid dat in Nederland hiervoor is ontwikkeld, past binnen de opgaven van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). In de bestaande Nederlandse Stroomgebiedbeheerplannen voor de KRW (2009) is een apart hoofdstuk gewijd aan de klimaatverandering en de verwachte effecten daarvan op de waterkwaliteit en de ecologie van de watersystemen. In dat hoofdstuk wordt, op basis van de beschikbare kennis, geconstateerd dat, als de effecten van klimaatverandering worden meegenomen in de autonome ontwikkeling, het gat tussen de gewenste en de te verwachten ecologische toestand in 2027 zal toenemen (zie ook PBL 2008). In de komende beheerplannen voor de stroomgebieden (2015) zullen de gevolgen van klimaatverandering verder in de beleidsuitvoering kunnen worden verankerd.

Enkele gezondheidsrisico's belegd in actieplannen en bestaande monitoringstructuren

Klimaatverandering heeft ook invloed op de gezondheid van mens (hoofdstuk 6) en dier (hoofdstuk 5). Op nationaal niveau is de aandacht voor klimaatverandering in relatie tot gezondheid relatief beperkt. Zo is de nationale adaptatiestrategie voor klimaatverandering niet geoperationaliseerd voor het thema gezondheid. De meeste aandacht gaat in dit verband uit naar warmte-overlast en water-, voedsel- en vectoroverdraagbare infectieziekten.

Wel is er een voortdurende alertheid op de verspreiding van infectieziekten en plagen voor de volksgezondheid en de landbouw. Hiervoor bestaat een infrastructuur van (wereldwijde) monitoringactiviteiten en surveillanceprogramma's, en is er overleg over en afstemming van bestrijdingsmaatregelen. Vanwege het aantal niet-klimaatfactoren, zoals (wereldwijde) transportbewegingen, handel en toerisme, is deze infrastructuur ook zonder klimaatverandering al van belang.

In Nederland zijn het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en de GGD's betrokken bij deze programma's. Daarnaast coördineert de WHO (World Health Organisation) op mondiale schaal het Global Outbreak Alert and Response Network (GOARN). Dit wereldwijde samenwerkingsverband van bestaande instituten en netwerken bundelt de kennis en de technische mogelijkheden om twintig bekende risicovolle infectieziekten op mondiale schaal snel te kunnen identificeren en vast te stellen, en coördineert bestrijdingsacties. Op Europees niveau is het het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) dat deze monitoring coördineert. Het ECDC is een strategische partner van de WHO in het GOARN. Het werkt samen met de nationale gezondheidsinstituten van de EU-lidstaten; in Nederland is dat het RIVM. Inmiddels is duidelijk dat een Europees systeem dat de verspreiding van soorten monitort, versterking behoeft. Immers, door verschuivende klimaatzones kan die verspreiding veranderen, en daarmee de verspreiding van vectorgebonden ziekten. Deze aandacht voor een Europees monitoringsysteem maakt onderdeel uit van de Europese Adaptatiestrategie.

Na de extreme hittegolf van 2003 is in Nederland een Nationaal Hitteplan opgesteld om kwetsbare groepen in de bevolking te beschermen tegen de gevolgen van 'hittestress'; vooral via extra zorg en allerlei gedragsadviezen. Deze actieplannen moeten zich in de praktijk echter nog bewijzen. Ook het Deltaprogramma besteedt – binnen het deelprogramma 'Nieuwbouw en Herstructurering'² – aandacht aan het verminderen van de warmteoverlast en het behoud van een goede

waterkwaliteit bij extreme regenval en droogte in de stad. Daarbij is gekozen voor een integrale aanpak ter bevordering van klimaatbestendige steden. Sommige gemeenten ontwikkelen en implementeren hiervoor al actieplannen, mede aan de hand van berekeningen met de klimaatmodule binnen de Atlas Leefomgeving (www.atlasleefomgeving.nl). Deze actieplannen kunnen het meest effectief worden meegenomen bij het herinrichten of uitbreiden van steden (PBL 2011).

Daarnaast heeft Nederland zich – via de zogenaamde 'Parma commitment to act' (vastgesteld op de vijfde Ministersconferentie in Parma in 2010) – vastgelegd om specifiek beleid te ontwikkelen om de gezondheidseffecten van de klimaatverandering tegen te gaan of te verminderen. Over de implementatie van deze Parma-overeenkomst in het Nederlands beleid vindt op dit moment nog (inter)departementaal overleg plaats.

Om de verdere gezondheidseffecten van de klimaatverandering in Nederland te beperken is het nodig aanvullende beleidsaandacht te richten op de effectiviteit van adaptatiemaatregelen en de uitvoeringspraktijk van opgestelde gedrags- en zorgadviezen, tijdige opsporing (monitoring) en inschatting van risico's en ziekten. Daarnaast is het zaak bij (stedelijke) vernieuwing en herstructurering rekening te houden met klimaatadaptatie, zoals in het programma 'Nieuwbouw en Herstructurering' van het Deltaprogramma. Dergelijk beleid geeft uitvoering aan het door de EU aanvaarde Witboek 'klimaatadaptatie' en de eerder genoemde 'Parma-overeenkomst', en maakt een flexibele en adaptieve managementstrategie voor klimaatverandering en gezondheid mogelijk. Dit beleid kan gaandeweg worden aangepast als er meer kennis komt over waargenomen effecten, inschattingen van toekomstige risico's, de effectiviteit van adaptatiemaatregelen, of over de rol van het bestuur en de instituties bij de aanpak van een effectief en efficiënt adaptatiebeleid (PBL 2009; PBL 2011; Ebi 2011; Driessen & Van Rijswijk 2011; Runhaar et al. 2012). Om de kennis over de relatie tussen klimaatverandering en gezondheid te verdiepen, zijn enkele onderzoeksprogramma's opgezet. Nederlandse instituten, waaronder PBL, RIVM, WUR en Universiteit Maastricht, participeren hierbij in internationale risicoschattingsprojecten (bijvoorbeeld EU INTARESE 2010; WHO CEHAPIS 2011) en in monitoringsprojecten voor vectoren en infecties (Braks et al. 2011; ECDC 2012; ECDC VBORNET; EU ENHanCE).

Klimaatrisico's voor de natuur krijgen momenteel weinig beleidsaandacht in Nederland

In Nederland bestaat er op dit moment weinig beleidsaandacht voor de mogelijke effecten van klimaatverandering op de natuur. In 2008/2009 heeft het

PBL op verzoek van het toenmalige ministerie van LNV een studie uitgevoerd naar de strategische opties voor een klimaatbestendige natuur in Nederland (PBL 2010). Uit deze studie kwam naar voren dat de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en, op Europese schaal, het Natura 2000-netwerk goede bouwstenen bieden om de natuur meer klimaatbestendig te maken (PBL 2010). Bij verschuivende klimaatzones kan een aangepaste EHS met goede verbindingzones en met optimale standplaatscondities soorten helpen te migreren naar gunstiger gebieden en klimaatzones. Dit vraagt wel om een aanpassing van de huidige rijkvisie op de EHS, waarbij de voorkeur wordt verlegd naar het vergroten, verbindingen en versterken van bepaalde gebieden. Hierbij gaat het om bolwerken van natuur die ook verbonden zijn met gebieden elders (zogenoemde klimaatcorridors moeras en duin & kust) én van gebieden binnen samenhangende clusters (heide, bos). Aanpassing van de EHS is bijvoorbeeld mogelijk door nog aan te kopen of nog in te richten EHS-hectares vooral te concentreren binnen deze gebieden. De klimaatbestendigheid van de gebieden kan verder worden vergroot door aan te sluiten bij het Europese Natura 2000-netwerk in de landen om ons heen. Dat geldt bijvoorbeeld voor de Nederlandse moerasgebieden, die een belangrijk bolwerk vormen in Noordwest Europa. Daarnaast vraagt een klimaatbestendig natuurbeleid om een herziening van de natuurdoelen. Doordat de huidige natuurdoelen statisch zijn gedefinieerd, zal de haalbaarheid van deze doelen met een verdergaande klimaatverandering namelijk afnemen, evenals de kans dat Nederland aan zijn internationale verplichtingen zal kunnen voldoen (PBL 2010; PBL 2011a). Het nieuwe beleid zou meer moeten aansluiten bij het functioneren van ecosystemen en het vergroten van het adaptief vermogen van de natuur, en minder op het laten voortbestaan van specifieke soorten op specifieke plaatsen. Ook de kansen op natuurbranden zijn voor een deel gekoppeld aan de klimaatverandering (zie ook hoofdstuk 4). De kansen op natuurbranden stijgen met de frequentie en de duur van droge zomerperiodes met neerslagtekorten. In de Nationale Risicobeoordeling (BZK 2009) is het scenario 'Onbeheersbare natuurbrand en grootschalige evacuatie' ontwikkeld, en geclassificeerd als 'zeer voorstelbaar'. Er is in Nederland weinig structureel beleid voor natuurbranden, zeker in vergelijking met andere fysieke veiligheidsrisico's. Een heldere verdeling van de verantwoordelijkheid tussen de diverse bestuurslagen ontbreekt nog. Om dit te verbeteren is in december 2009 het landelijk project 'Interbestuurlijke Samenwerking Natuurbranden' gestart. Verder is recent een 'Nationaal Informatieknooppunt Natuurbranden' ingericht (www.infopuntnatuurbranden.nl).

Klimaatbestendige ruimtelijke ontwikkeling in Nederland complexe opgave

Er is een groot aantal maatregelen mogelijk om Nederland minder kwetsbaar te maken voor klimaatverandering. Hierbij gaat het om maatregelen die zijn gericht op aanpassingen van gedrag of beheer, technische maatregelen of ruimtelijke maatregelen. Om goed te kunnen blijven wonen en werken in Nederland moet het aanpakken van problemen rond wateroverlast, droogte en hitte bijvoorbeeld niet alleen een kwestie zijn van technische maatregelen, maar ook van ruimtelijke inrichting. Dit is vastgesteld in het deelprogramma 'Nieuwbouw en Herstructurering' van het Deltaprogramma.

De mogelijke ruimtelijke maatregelen vragen de komende decennia expliciete aandacht: de keuzes die de komende tijd voor de ruimtelijke ontwikkeling worden gemaakt, bepalen niet alleen in hoeverre Nederland bestand is tegen klimaatveranderingen, maar ook welke 'oplossingsruimte' er voor de komende generaties wordt overgelaten (PBL 2009, 2011a). Dit inzicht is al vroegtijdig onderkend bij het opstarten van het nationale adaptatiebeleid en het interdepartementale programma 'Adaptatie Ruimte voor Klimaat' (VROM et al. 2006).

In de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (IenM 2011) gaat het Rijk uit van een verdere decentralisatie van het ruimtelijk beleid; voor de opgaven rond klimaatverandering wordt daarbij gerefereerd aan het Deltaprogramma. De ruimtelijke voorwaarden en de mogelijke ruimtelijke consequenties die kunnen voortvloeien uit de noodzakelijke klimaatbestendige ontwikkeling, worden daarbij niet benoemd (PBL 2011b). Uit de studie *Een delta in beweging* (PBL 2011) komt echter naar voren dat de integratie van klimaatbestendigheid in het ruimtelijk beleid belangrijke gevolgen kan hebben. Er zijn daarbij strategische keuzes aan de orde, bijvoorbeeld over de (normering van de) bescherming van de meest kwetsbare gebieden in Nederland tegen overstromingen, over de sturing van de ruimtelijke ontwikkeling in het rivierengebied en de (her)inrichting van het stedelijk gebied, over ruimtelijke aanpassingen voor een klimaatbestendige natuur en over de verdeling van zoet water in relatie tot het gebruik in de regio's. Juist op lokale en regionale schaal zijn er kansen om de klimaatbestendigheid kosteneffectief te verbeteren en tegelijkertijd de leefomgevingskwaliteit te verhogen, zowel in het stedelijk gebied (nieuwbouw, herstructurering) als in het landelijk gebied (gebiedsontwikkeling). Het is zaak hiervoor vroegtijdige aandacht te hebben in het plannings- en ontwerpproces. Ook vraagt dit om vernieuwing en meer flexibiliteit in de financieringsmechanismen (PBL 2011). Tot slot is een integrale aanpak van de problemen nodig, zoals die

bijvoorbeeld zouden kunnen voortkomen uit de relatie tussen de vergroening van steden (bijvoorbeeld ter vermindering van hittestress) en de verspreiding van vectorgebonden ziektes.

Er is grote samenhang tussen de overstromingsveiligheid op de lange termijn en de zoetwatervoorziening in de verschillende deelgebieden in het Deltaprogramma: het IJsselmeergebied, het Rivierengebied, de Zuidwestelijke delta en Rijnmond. Om goede afwegingen te kunnen maken zullen, niet alleen op het niveau van deze deelgebieden maar juist ook vanuit een nationaal perspectief, inhoudelijk samenhangende en consistente opties beschouwd moeten worden. Dat is een complexe opgave binnen het Deltaprogramma, met het Rijk als systeemverantwoordelijke voor de hoofdwaters en de Ecologische Hoofdstructuur, de provincies als verantwoordelijk voor het ruimtelijk en natuurbeleid, en met de landbouw als marktgedreven sector met grote belangen in het regionale waterbeheer. Het is op voorhand moeilijk te doorzien hoe de interactie tussen de systeemverantwoordelijkheid, de gedecentraliseerde ruimtelijke ordening en de verschillende sectorale belangen gaat uitwerken voor de strategische langetermijnkeuzes (zie ook hierna: kansen voor Nederland in relatie tot klimaatverandering?).

Internationale concurrentiepositie: kansen voor Nederland in relatie tot klimaatverandering?

Door de geografische positie zijn er voor Nederland ook kansen verbonden aan de klimaatverandering; dit geldt in het bijzonder voor de landbouw, de recreatie en het toerisme. Zowel voor de landbouw als voor de sector recreatie/toerisme geldt dat de concurrentiepositie ten opzichte van Zuid-Europa naar verwachting gunstiger zal worden als de klimaatverandering verder doorzet. Voor de landbouw is het daarbij van groot belang dat Nederland een adequate zoetwatervoorziening kan blijven organiseren. Het ontwikkelen van een nationale strategie voor de zoetwatervoorziening in Nederland op lange termijn is onderdeel van het Deltaprogramma (2010, 2011). Strategische opties hiervoor zijn uitgewerkt in de studie *Een delta in beweging* (PBL 2011).

Landbouw, natuur en recreatie hadden nadrukkelijk aandacht in het interbestuurlijke programma ARK (VROM 2006). Uit meer recente beleidstukken is echter niet af te leiden dat er op rijksniveau beleidsaandacht is voor deze dimensie van klimaatverandering. Het zijn daarmee in beginsel de sectoren zelf die de mogelijke kansen van de klimaatverandering zullen moeten benutten. De Europese Commissie zal dit ook stimuleren; zij streeft er immers naar het beleid gericht op klimaatverandering te integreren binnen het beleid van de diverse sectoren ('mainstreaming'). Klimaatverandering speelt echter nog

nauwelijks in de Nederlandse toerismesector; dat komt onder meer doordat deze sector zich sterk gericht op de korte termijn en er de nodige kennisleemtes zijn, bijvoorbeeld over de eisen die de verschillende typen activiteiten aan het klimaat stellen (De Jong 2008; hoofdstuk 7). Het opbouwen en verdiepen van kennis over de gevolgen van klimaatverandering voor de recreatie en het toerisme kan de sector meer klimaatbestendig maken en laten profiteren van economische kansen.

8.3 Aandacht voor adaptatie in internationaal klimaatbeleid

Klimaatadaptatie in Europa

Klimaatadaptatie heeft de nodige beleidsaandacht op Europees niveau. In april 2009 maakte de Europese Commissie haar plannen bekend in een witboek over klimaatadaptatie. Deze plannen zijn gericht op vier pijlers: (i) kennisopbouw; (ii) de integratie van klimaatadaptatie in andere beleidsprocessen ('mainstreamen'); (iii) het ontwikkelen van goede instrumenten en het vinden van een goed financieringssysteem; (iv) het bevorderen van samenwerking tussen lidstaten en tussen de EU en andere landen in de wereld ('solidariteit tussen lidstaten en regio's'). De kennisopbouw is intussen geconcretiseerd doordat de Commissie de nodige onderzoeksprojecten heeft geïnitieerd, en een digitaal platform/website heeft ontwikkeld waar alle beschikbare informatie wordt samengebracht.³ Naast veel internationale informatie over klimaateffecten, maatregelen en plannen, bevat dit platform ook een overzicht van adaptatieactiviteiten in lidstaten.⁴ Deze 'national pages' zijn opgesteld en worden onderhouden door de lidstaten zelf. De andere drie pijlers zullen aandacht krijgen in de Europese Adaptatiestrategie die in maart 2013 zal verschijnen. Om overlap te voorkomen met de aanpak in de verschillende lidstaten werkt de EU voor de strategie ook intensief met de lidstaten samen. Zo wordt nagedacht over een rapportageverplichting op het gebied van klimaatadaptatie (ter ondersteuning van pijler vier). Om deze rapportage eenvoudig, zinvol en effectief te maken vindt hierover afstemming plaats tussen de Europese Commissie en de lidstaten.

Klimaatadaptatie in Europees sectoraal beleid

Op Europees niveau is de integratie van de klimaatadaptatie in het sectoraal beleid van start gegaan ('mainstreamen'). In de huidige voorstellen van de Europese Commissie wordt in het komende meerjarenprogramma 20 procent van de totale EU-budget gereserveerd voor klimaatmitigatie en

-adaptatie. Hierbij gaat het ook om de sectoren die beschikken over grote budgetten, waaronder het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB⁵); de regionale cohesie- en structuurfondsen, onderzoeksgelden (Horizont2020), en de energie- en transportnetwerken. Maar ook los van de budgetten streeft de Commissie naar beleidsintegratie.⁶

Zo is er in de Europese Richtlijn Overstromingsrisico's en in de Europese droogtestrategie beleidsaandacht voor situaties met te veel respectievelijk te weinig water (zie ook boven). Klimaatverandering speelt in beide gevallen een rol van betekenis. Ook is in de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) op EU-niveau de opgave neergelegd om de mogelijke negatieve effecten van klimaatverandering op de waterkwaliteit te integreren in de implementatietrajecten van de KRW op lidstaatsniveau. Onder de Kaderrichtlijn Mariene Strategie en onderliggende documenten worden lidstaten gevraagd in hun rapportages aan te geven hoe zij met klimaatverandering omgaan.⁷ De ontwikkelingen zijn nog in een beginstadium.

Bij het GLB is klimaatadaptatie – net als mitigatie – geïntegreerd in verschillende onderdelen.⁸ De Commissie heeft bijvoorbeeld verschillende maatregelen opgesteld voor een meer duurzame landbouwproductie, waarbij ook duurzaam watergebruik in tijden van droogtes en duurzaam bodemgebruik aan bod komen. Daarnaast komen er mogelijk gelden beschikbaar om boeren en zelfs regio's voor negatieve klimaateffecten te compenseren. Hiervoor zullen wellicht subsidies beschikbaar komen die los staan van het productieproces.⁹

Voorts worden op Europees niveau de risico's van klimaatverandering voor natuur en biodiversiteit onderkend, net als de bijdrage die de natuur heeft aan de klimaatverandering (ecosystemen bevatten veel koolstof en spelen een rol bij de regulatie van het klimaat). Het beperken van de effecten van klimaatverandering op de biodiversiteit en het reduceren van de bijdrage van de natuur aan de klimaatverandering zijn dan ook de pijlers van het biodiversiteitsactieprogramma van de Europese Commissie (2010). Door het Europees Ecologisch Netwerk Natura-2000 verder uit te werken, kan de natuur naar verwachting verschillende functies (ofwel ecosysteemdiensten) beter blijven vervullen en zich gemakkelijker aanpassen aan klimaatverandering. Denk hierbij bijvoorbeeld aan bodembescherming en het vasthouden van water.¹⁰

Voor de gezondheidseffecten van de klimaatverandering heeft de Europese Commissie het plan om klimaatadaptatie onderdeel te laten zijn van een nog te ontwikkelen strategiedocument.¹¹ Hiervoor zijn nu richtsnoeren in ontwikkeling. De Europese Commissie heeft voorstellen

ontwikkeld voor een Europees monitoringssysteem voor de verspreiding van vectorgebonden ziekten, met goede verbindingen met nationale netwerken. Tevens hebben de EU-lidstaten zich via de zogenaamde 'Parma commitment to act', vastgesteld op de vijfde Ministersconferentie in Parma in 2010, gecommitteerd om beleid te ontwikkelen voor de beperking van, of adaptatie aan, klimaatgerelateerde gezondheidsrisico's. Deze overeenkomst omvat zes concrete acties:

1. integreer gezondheid in het mitigatie- en adaptatiebeleid in alle sectoren en op alle schaalniveaus;
2. versterk de (milieu)gezondheidszorg om klimaateffecten tijdig het hoofd te kunnen bieden;
3. versterk (vroegtijdige) monitoring van weersextremen en mogelijke uitbraken van ziekten;
4. implementeer voorlichtings- en bewustwordingsprogramma's voor gezondheidseffecten van klimaatverandering;
5. versterk de bijdrage van de gezondheidssector aan de vermindering van broeikasgassen;
6. stimuleer onderzoek en ontwikkel instrumenten om huidige en toekomstige gezondheidsrisico's van klimaatverandering te monitoren en in te schatten, risicogroepen te identificeren, en de effectiviteit van mitigatie- en adaptatiemaatregelen te kunnen beoordelen.

Ten slotte heeft de Europese Commissie aangegeven dat klimaatverandering – zowel mitigatie als adaptatie – onderdeel moet zijn van uit te voeren *impact assessments*.¹² Ook wil zij klimaatadaptatie meenemen in de algehele rapportages van landen over klimaatverandering. De Commissie, het Europese Parlement en de lidstaten zijn hierover nog in discussie.¹³

Mondiale fondsen voor adaptatie ontwikkelingslanden

Op mondiaal niveau is de adaptatie aan klimaateffecten onderdeel van de klimaatonderhandelingen zoals die worden gevoerd onder het klimaatverdrag (UNFCCC). In algemene zin gaat het onder dit verdrag bij adaptatie om het verlenen van steun aan ontwikkelingslanden – in het bijzonder de minst ontwikkelde landen en kleine eilandstaten – opdat deze kunnen omgaan met de gevolgen van klimaatverandering.

Tijdens één van de Conferences of Parties (CoP) – in Nairobi in december 2006 – werd deze definitie meer gespecificeerd door een oproep om de effecten en de adaptatiemaatregelen beter te begrijpen (Nairobi werkprogramma NWP). In december 2007 werd vervolgens het Bali Action Plan aangenomen, waarin klimaatadaptatie als een van de pijlers wordt gezien om klimaatverandering duurzaam, effectief en gemeenschappelijk het hoofd te kunnen bieden.¹⁴ In het actieplan worden mogelijke activiteiten en mogelijkheden

voor financiering nader uitgewerkt. Internationale samenwerking, inclusief een mondiaal klimaatfonds, staat hierbij centraal. Deze ideeën zijn tijdens de daaropvolgende CoP's verder uitgewerkt, vooral tijdens de CoP van Cancun in 2010. Een Groen Klimaatfonds dient om klimaatacties in de ontwikkelingslanden te ondersteunen, waaronder klimaatadaptatiemaatregelen.

Los van deze financiële kant werd er tijdens de CoP van Cancun besloten een 'Adaptation Committee' in te stellen om richting te geven aan de adaptatieactiviteiten, de voortgang van de activiteiten te monitoren en partijen te steunen. Tijdens de meest recente CoP – november/december 2011 in Durban, Zuid-Afrika – werd overeenstemming bereikt over:

- randvoorwaarden, samenstelling en procedures voor het Adaptation Committee;
- het ontwikkelen van een methode om de effecten en schade door klimaatverandering in ontwikkelingslanden te beschrijven en te kwantificeren;
- randvoorwaarden en richtlijnen voor de nationale adaptatieplannen (NAPA's).

Veel landen hebben dit opgepakt door adaptatie expliciet mee te nemen in hun Nationale Rapportages (*National Communications*) aan het klimaatsecretariaat. Verder zijn veel ontwikkelingslanden begonnen hun NAPA's op te stellen.¹⁵

De Internationale Adaptation Committee heeft tot doel:

- technische ondersteuning aan landen aan te bieden;
- informatie-uitwisseling te bevorderen;
- samenwerking tussen internationale, nationale en lokale organisaties te stimuleren;
- een lijst van aanbevelingen op te stellen – gebaseerd op ervaringen in landen die al over een adaptatiestrategie beschikken – aan landen die nog de nodige stappen moeten zetten. Hierbij gaat het om financiering, de benodigde kennis en technologieën.¹⁶

De WHO (World Health Organization) stimuleert en coördineert de mondiale samenwerking op het gebied van achter de klimaatmitigatie en -adaptatie in relatie tot de volksgezondheid. De WHO coördineert diverse projecten gericht op het verzamelen van basisgezondheidsdata, het ontwikkelen van methoden voor risicoschatting en het feitelijke uitvoeren daarvan, het opzetten van klimaatadaptatiestrategieën en het voorbereiden en uitwerken van plannen voor de implementatie van adaptatieplannen naar aanleiding van de eerder genoemde Parma-overeenkomst. Onder leiding van de WHO wordt nu gewerkt aan strategieën voor de implementatie daarvan. De effecten die hierbij centraal staan, zijn warmteoverlast, allergieën, luchtverontreiniging, en water-, voedsel- en vectoroverdraagbare infectieziekten.

Noten

- 1 De Deltawet is formeel een amendement van de Waterwet.
- 2 Zie <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma/deelprogramma-s/deelprogramma-nieuwbouw-en-herstructurering>.
- 3 Zie <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>.
- 4 Zie <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/countries>.
- 5 Zie http://ec.europa.eu/agriculture/climate_change/index_en.htm.
- 6 Zie ook <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/eu-sector-policy/general>.
- 7 Zie <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/coastal-areas>.
- 8 Zie <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/agriculture-and-forestry>.
- 9 Zie http://ec.europa.eu/agriculture/climate-change/index_en.htm.
- 10 Zie <http://climate-adapt.eea.europa.eu/web/guest/biodiversity>.
- 11 Zie ec.europa.eu/health/climate_change/policy/index_en.htm.
- 12 Zie ec.europa.eu/environment/eia/home.htm.
- 13 Zie ook http://ec.europa.eu/clima/consultations/0008/index_en.htm.
- 14 Zie <http://unfccc.int/adaptation/items/4159.php>.
- 15 Zie http://unfccc.int/cooperation_support/least_developed_countries_portal/submitted_napas/items/4585.php.
- 16 Zie ook http://unfccc.int/adaptation/cancun_adaptation_framework/adaptation_committee/items/6053.php.

Bijlage

Overzicht van waargenomen en mogelijke toekomstige effecten van klimaatverandering in Nederland

Sector	Waargenomen	Mogelijke toekomst, volgens KNMI-scenario's	
Waterhuis-houding	Zeespiegel Nederlandse kust	Zeespiegelstijging 20 cm over afgelopen eeuw; geen versnelling t.o.v. 1900	Zeespiegelstijging conform huidig tempo +35 tot 85 cm (rond 2100) bij effect klimaatverandering > 100 cm in extreme klimaatscenario's
	Jaargemiddelde rivierafvoeren (Rijn)	Geen toename	-12 tot +12% (rond 2100 t.o.v. 1990)
	Seizoensafvoeren (Rijn)	Toename winter, afname zomer	Zomer -41% tot +1% (rond 2100 t.o.v. 1990) Winter +12% tot +27%
	Extreem hoge & lage rivierafvoeren (Rijn)	Geen trend	Toename piekafvoer Wel afhankelijk van waterbeheer bovenstrooms
	Wateroverlast	Lichte toename	Sterke toename, vooral in lage delen van Nederland en rivierengebied
	Watertemperaturen	Veel oppervlaktewater +3°C. Ongeveer 1/3 door gestegen luchttemperatuur	Verdere toename met mogelijke gevolgen voor zuurstofgehalte en algenbloei, en daarmee voor de waterkwaliteit
	Verziltig	Toenemende verziltig	Verdere verziltig, vooral in Zuidwest- en Noord-Nederland
Natuur	Droogte in zomer	Geen trend	Sterke toename in scenario's met veranderende luchtcirculatie, weinig toename in andere scenario's
	Soortensamenstelling	Koudeminnende soorten in aantal achteruitgegaan in Nederland	Verdere afname & mogelijk verdwijnen van soorten in Nederland
		Warmteminnende soorten in aantal toegenomen	Verdere toename
		Toename in nieuwe soorten. Gevolgen onbekend	Verdere toename van nieuwe soorten; effecten op functioneren ecosystemen niet bekend
	Migratiepatronen	Toename aantal Nederlandse trekvogels dat in Nederland overwintert	Onbekend
	Groeiseizoenen	Twee tot drie weken eerder t.o.v. 1950	Verlenging met nog 1 tot 1,5 maand tot 2050 (t.o.v. 2000). Mogelijk verdere mismatches in voedselketen doordat soorten verschillende reageren.
	Verandering standplaatscondities	Vooral watergerelateerde veranderingen	Gelijkblijvende of verslechterende condities. Toename dynamiek/extremen
Natuurbranden	Geen trend	Verhoogd risico door meer droge periodes	
Landbouw en veeteelt	Groeiseizoenen	5 weken langer dan begin 20 ^{ste} eeuw	Verdere verlenging; kansen voor nieuwe gewassen
	CO ₂ -concentratie	Lichte toename in potentiële opbrengsten	Verdere toename in potentiële opbrengsten bij stijgende concentraties
	Wateroverlast	Lichte toename	Frequentere schade
	Droogte	Geen trend	Frequentere schade
	Verziltig	Frequentere schade. De landbouw kan hiermee nog omgaan en zich deels aanpassen	Doorgaande ontwikkeling. Vooral in droge jaren een uitdaging
	Ziektes/ plagen	Geen trend, relaties nog onzeker	Mogelijk verdere toename in frequentie, vooral door hogere luchtvochtigheid en hogere temperaturen; nog veel onzekerheid

Sector		Waargenomen	Mogelijke toekomst, volgens KNMI-scenario's
Menselijke gezondheid	Hittestress en zomersmog	Toename vervroegde sterfte door meer warme en tropische dagen (vergeleken met normale zomers). Effect matig (met juiste adaptatie) t.o.v. andere stressfactoren en waarschijnlijk ook kleiner dan afname wintersterfte	Verdere toename door meer frequente hittegolven, ook in combinatie met meer frequente zomersmog. In beginsel beheersbaar door gedrag, gezondheidszorg en aanpassingen in stedelijke (her)inrichting
	Wintersterfte	Minder ziekte en een afname van sterfte in winter	Verdere daling
	Allergieën en hooikoorts (pollen, eikenprocessierups)	Aantal 'allergiedagen' toegenomen met ruim 20 dagen; eikenprocessierups al in grote delen van Nederland aanwezig	Verdere stijging van het aantal 'allergiedagen', door verlenging van het groei- en bloeiseizoen, en het mogelijk vóórkomen van nieuwe allergene soorten; in 2020 eikenprocessierups in heel Nederland.
	Vectorgebonden infectieziektes	Klimaatverandering leidt tot veranderingen in de verspreiding, dichtheid en activiteit van insecten en teken (mogelijke vectororganismen voor infectieziektes). De uiteindelijke invloed van klimaat op transmissie van ziekteverwekkers is complex en vooralsnog onbekend. In Nederland komen wel meer teken voor, en neemt de besmetting met de Lyme-bacterie toe; overigens spelen daarbij ook andere factoren een rol (recreatiegedrag).	Grote onzekerheid m.b.t. vectortransmissie van pathogenen (virussen, bacteriën) en mogelijke hiermee verbonden uitbraken van infectieziektes.
	Wateroverdraagbare infectieziektes	De klimaatinvloed is divers. Sommige wateroverdraagbare ziekteverwekkers (bacteriën, amoeben, algen) zijn klimaatgevoelig en verhoging van temperatuur, vochtigheid, UV straling, neerslag en waterbeschikbaarheid leidt direct tot vergroting van de hiermee verbonden ziektelast door infecties. Het vóórkomen van andere ziekteverwekkers zoals intestinale bacteriën, virussen en parasieten kan onder invloed van klimaatverandering juist afnemen.	Projecties over de verdere invloed van klimaatfactoren op ontwikkeling en transmissie van wateroverdraagbare ziekteverwekkers zijn onzeker. Zonder adaptatiemaatregelen zijn zowel positieve als negatieve effecten mogelijk, afhankelijk van het type ziekteverwekker.
	Voedseloverdraagbare infectieziektes	Er is een direct causaal verband tussen klimaatverandering, vooral hogere temperatuur, en de toename van voedselgebonden infecties. Door de relatief goede voedselhygiëne is dit effect in Nederland beperkt	Beperkte verdere toename van voedselgerelateerde infecties mogelijk.
	Recreatie en toerisme	Recreatiedagen	Verdubbeling van de kans op een periode van 5 opeenvolgende goede dagen met geschikte omstandigheden voor recreatie (tussen 1950 en 2001)

Literatuur

Hoofdstuk 1: Inleiding

- Ciscara, J.C., A. Iglesias, L. Feyen, L. Szabó, D. Van Regemorter, B. Amelung, R. Nicholls, P. Watkiss, O.B. Christensen, R.R. Dankers, L. Garrote, C.M. Goodess, A. Hunt; A. Moreno, J. Richards, & A. Soria (2010), Physical and economic consequences of climate change in Europe, *Proceedings Nat. Academy of Science* 108(7): 2678–2683, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1011612108.
- EEA (2008), Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. Rapport Europees Milieuagentschap no 2008/4, Copenhagen, http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4.
- EEA (2010), Understanding climate change, Achtergrondrapport The European environment – state and outlook 2010 report, Rapport Europees Milieuagentschap, Copenhagen, <http://www.eea.europa.eu/soer/europe/understanding-climate-change>.
- IPCC (2012), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change. Special Report of the Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), <http://www.ipcc.ch/#>.
- MNP (2005), Effecten van Klimaatverandering in Nederland. Rapport Milieu- en Natuurplanbureau 773001034, Bilthoven, http://www.pbl.nl/publicaties/2005/Effecten_klimaatverandering_voor_Nederland.
- Hoofdstuk 2: Het klimaat**
- Bruin, A.T.H. (2002), Veranderingen in neerslagkarakteristieken in Nederland gedurende de periode 1901-2001. KNMI Technisch rapport TR-246, De Bilt
- Buishand, T.A., R. Jilderda, & J.B. Wijngaard (2009): Regionale verschillen in extreme neerslag. KNMI, Wetenschappelijk rapport WR 2009-1.
- Buisman, J. (2011), Extreem Weer, een canon van weergalozе winters & zinderende zomers, hagel & hozen, stormen & watersnoden. Van Wijnen Uitgeverij, Franeker.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2012a), Temperatuur mondiaal en in Nederland, 1850-2008 (indicator 0226). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2012b), Neerslagsom in Nederland, 1906-2011 (indicator 0508,). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- Cattiaux, J., R. Vautard, C. Cassou, P. Yiou, V. Masson-Delmotte, & F. Codron (2010), Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L20704, doi:10.1029/2010GL044613
- Cohen, J., J. Foster, M. Barlow, K. Saito, & J. Jones (2010), Winter 2009–2010: A case study of an extreme Arctic Oscillation event, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L17707, doi:10.1029/2010GL044256.
- Deltacommissie (2008), Samen werken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst. Bevindingen van de Deltacommissie, <http://www.deltacommissie.com/>
- Dessai, S. & J.P. van der Sluijs (2007), Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study, report NWS-E-2007-198, Copernicus Institute, Utrecht University.
- EEA (2008), Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. Rapport Europees Milieuagentschap no 2008/4, Copenhagen http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4
- EEA (2010), Understanding climate change, Achtergrondrapport The European environment – state and outlook 2010 report, Rapport Europees Milieuagentschap, Copenhagen <http://www.eea.europa.eu/soer/europe/understanding-climate-change>
- Foster, G. & S. Rahmstorf (2011), Global temperature evolution 1979-2010. *Env. Res. Letters* 6, 044022.
- IAC (2010), Climate Change Assessments, Review of the Processes & Procedures of the IPCC, InterAcademy Council.
- IPCC (2007), Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2011), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change. Special Report of the Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for policy makers, http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf.
- KNMI (2006), Klimaat in de 21^e eeuw – vier scenario's voor Nederland. KNMI, De Bilt, http://www.knmi.nl/cms/content/88238/knmio6_klimaatsscenarios_voor_de_21e_eeuw
- KNMI (2008a), De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI, De Bilt, <http://www.knmi.nl/cms/>

- content/67080/de_toestand_van_het_klimaat_in_nederland_2008
- KNMI (2008b), Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland; Bessembinder (Ed.) KNMI publicatie 221, De Bilt, <http://www.knmi.nl/bibliotheek/.../knmipub221.pdf>.
- KNMI (2009a), Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (eds.), KNMI rapport 233, De Bilt, http://www.knmi.nl/cms/content/67290/aanvullingen_op_de_knmio6_klimaatscenarios_2009.
- KNMI (2009b), Klimaatschetsboek Nederland het huidige en toekomstige klimaat. Bessembinder, J. (Ed). KNMI rapport 223, De Bilt, <http://www.knmi.nl/publications/showAbstract.php?id=7129>.
- KNMI (2010), Risicosignalering Droogte, factsheet KNMI, http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/pnv_droogte_250309.pdf.
- KNMI (2011), De Bosatlas van het klimaat, Noordhoff Uitgeverij, Groningen, www.klimaatatlas.nl.
- Kwadijk, J., A. Jeuken, & H. van Waveren (2008), De klimaatbestendigheid van Nederland Waterstand. Verkenning van knippunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. *Deltares rapport T2447*, Delft.
- Lenderink, G. & E. van Meijgaard (2008), 'Extreme zomerneerslag in Nederland' in Bessembinder J (Ed) Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland; Bessembinder (Ed.) KNMI publicatie 221, De Bilt, <http://www.knmi.nl/bibliotheek/.../knmipub221.pdf>.
- Lenderink, G. & E. van Meijgaard (2008), Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 1(8): 511-514.
- Lenderink, G., E. van Meijgaard & F. Selten (2009), Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea water temperatures: analysis of the event of august 2006 from the perspective of a changing climate. *Climate Dynamics*, 32:19-33.
- Lüthi, D, M. Le Floch, B. Bereiter, Th. Blunier, J.M. Barnola, U. Siegenthaler, D. Raynaud, J. Jouzel, J. H. Fischer, H. Kawamura & T.F. Stocker (2008), High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature* 453, 379-382 (15 May 2008).
- MNP (2007), Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning. Deel fysieke leefomgeving Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.
- NOAA/ESRL (2011), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>.
- Van Oldenborgh, G.J, S. Drijfhout, A. van Ulden, R. Haarsma, A. Sterl, C. Severijns, W. Hazeleger & H. Dijkstra (2009), Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past* 5, 1-12.
- PBL (2009), News in Climate Science and Exploring Boundaries A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, rapport nr. 500114013 den Haag/Bilthoven, <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/500114013.pdf>.
- PBL (2010), Assessing an IPCC assessment An analysis of statements on projected regional impacts in the 2007 report. Planbureau voor de Leefomgeving, rapport nr. 500216002 Den Haag/Bilthoven, <http://www.pbl.nl/en/publications/2010/Assessing-an-IPCC-assessment.-An-analysis-of-statements-on-projected-regional-impacts-in-the-2007-report>.
- PCCC (2009), Staat van het klimaat 2008. Actueel onderzoek en beleid nader verklaard. Uitgave Klimaatportaal PCCC, <http://www.klimaatportaal.nl/pr01/general/start.asp?i=5&j=1&k=8&p=5&itemid=651>.
- PCCC (2010), Staat van het klimaat 2009. Actueel onderzoek en beleid nader verklaard. Uitgave Klimaatportaal PCCC, <http://www.klimaatportaal.nl/pr01/general/start.asp?i=1&j=3&k=0&p=0&itemid=803>.
- PCCC (2011), Staat van het klimaat 2010. Actueel onderzoek en beleid nader verklaard. Uitgave Klimaatportaal PCCC, <http://www.klimaatportaal.nl/pr01/general/start.asp?i=8&j=1&k=0&p=0&itemid=1032>.
- Smits, A., A.M.G. Klein Tank & G.P. Können (2005), Trends In Storminess Over The Netherlands, 1962-2002. *Int. J. Climatol.* 25: 1331-1344.
- Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten (2008), Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's. *Deltaresrapport T2498*, Delft.
- Hurk, B.J.J.M. van den, A.K. Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout (2006), KNMI Climate Change Scenario's 2006 for the Netherlands. Wetenschappelijk Achtergrondrapport KNMI WR 2006-01, de Bilt.
- Van Dorland, R. (2006) (Ed), Scientific Assessment of Solar Induced Climate Change. WAB rapport 500102001, Bilthoven.
- Van Oldenborgh, G.J, S. Drijfhout, A. van Ulden, R. Haarsma, A. Sterl, C. Severijns, W. Hazeleger & H. Dijkstra (2009), Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past* 5, 1-12.
- Van der Schrier, G., T. Prozny & A.M.G. Klein Tank (2009), Assessment van regionale klimaatverschillen binnen Nederland onder klimaatverandering. KNMI bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland, de Bilt.

- Van der Schrier G., A. van Ulden & G.J. van Oldenborgh (2011): The construction of a Central Netherlands temperature. *Climate in the Past* 7:527-542.
- Van Ulden, A.P. & R. van Dorland (2000), Natural variability of the global mean temperatures: contributions from solar irradiance changes, volcanic eruptions and El Nino, in Proc. 1st Solar and Space Weather Euroconference: The Solar Cycle and Terrestrial Climate, Santa Cruz de Tenerife, Spain, 25-29 September 2000 (ESA SP-463, December 2000).
- Visser, H. & A.C. Petersen (2008), The likelihood of holding outdoor skating marathons in the Netherlands as a policy-relevant indicator of climate change. *Climatic Change DOI* 10.1007/s10584-008-9498-6.
- Visser, H. & B. Strengers (2010), De Elfstedentocht in een opwarmend klimaat: het kan nog! Notitie Planbureau voor de Leefomgeving, rapport nr. 500216002 Den Haag/Bilthoven, <http://www.pbl.nl/publicaties/2010/strengewinters-blijven-mogelijk-in-opwarmend-klimaat>.
- Visser, H. & A.C. Petersen (2012), Inferences on weather extremes and weather-related disasters: a review of statistical methods. *Climate of the Past* 8, 265-286.
- Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs (2010), Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Copernicus Instituut, Utrecht Universiteit, rapport nr. NWS-E-2011-79 Utrecht. bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- WMO (2012), Statement on the status of the global climate in 2011. World Meteorological Organization rapport nr. 1085, Genève, http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/1085_en.pdf.
- Hoofdstuk 3: Effecten rond waterveiligheid, -beschikbaarheid en -kwaliteit**
- Aerts, J., T. Sprong, & B. Bannink (2008), Aandacht voor Veiligheid, KvR rapportnummer 009/2008, ISBN: 978-90-8815-004-3.
- Andersen, HE, B. Kronvang, S.E. Larsen, C.C. Hoffmann, T.S. Jensen & E. Koch Rasmussen (2006), Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of The Total Environment*. Vol 365 (1-3): 223-237.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand, S. de Goederen & P. Jacobs (2005), Zout, zouter, zoutst - Statistiek van de externe verzilting in Midden-West Nederland KNMI publicatie: 199-III.
- Buiteveld, H. (2005), Afvoerregime van de Rijn in de zoste eeuw. RIZA rapport 2005-018.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011a), Zeespiegelstand langs de Nederlandse kust en mondiaal, 1891-2008 (indicator 0229, versie 07, 23 februari 2011). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011b), Algemene fysisch-chemische kwaliteit van het oppervlaktewater volgens de KRW, 2009 (indicator 0252, versie 08, 12 april 2011). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- De Vries, D. (2011), Watersysteem rapportage 2010 Waterschap Reest & Wieden, www.reestenwieden.nl/asp/download.aspx?File=/contents/pages/...pdf.
- Deltacommissie (2008), "Samenwerken met water. Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst" Bindingen van de Deltacommissie 2008.
- Deltaprogramma (2010), Werk aan de delta. Investeren in een veilig en aantrekkelijk Nederland, nu en morgen. Rapport Deltaprogramma.
- Deltaprogramma (2011), Probleemanalyse Rijnmond-Drechtsteden, Impact van klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkeling op waterveiligheid en zoetwatervoorziening, www.deltacommissaris.nl/Images/Probleemanalyse/20DPRD/20DEF_tcm309-307595.pdf
- Deltares/HKV (2010), Klimaatbestendigheid en opties voor adaptatie in de regio Rijnmond-Drechtsteden: Analyse van recente resultaten uit Klimaatbestendig NL Waterland en Kennis voor klimaat.
- Deltares (2011) Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw, Rapport 1204144-006, <http://www.deltares.nl/nl/expertise/100417/veiligheid-en-risico-s/1402630>.
- Dillingh, D., F. Baart, & J. G. de Ronde (2010), Definitie zeespiegelstijging voor bepaling suppletiebehoefte. Rekenmodel t.b.v. handhaven kustfundament. Deltares.
- EEA/JRC/WHO (2008), Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment, Rapport Europees Milieuagentschap No 4/2008. Kopenhagen.
- EEA (2010), The European Environment State And Outlook 2010 Understanding Climate Change. Rapport Europees Milieuagentschap. Kopenhagen.
- Immerzeel, W.W., H. Goosen, M. de Groot & P. Droogers (2010), Klimaat Atlas: ontwikkeling wateroverlastkaarten. *H₂O* 10: 33-36.
- IPCC (2007), Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2011), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change. Special Report of the Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for policy makers, http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf.
- Kastea, O, R.F. Wright, L.J. Barkved, B. Bjerkeng, T. Engen-Skaugen, J. Magnusson, & N.R. Sælthun (2007), Linked models to assess the impacts of climate change on nitrogen in a Norwegian river basin and fjord system. *Science of The Total Environment*. 365(1-3): 200-222.

- Katsman, C.A., W. Hazeleger, S. S. Drijfhout, G. J. van Oldenborgh, & G. Burgers (2008), Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt. *Climatic Change*, 91:351-374. doi:10.1007/s10584-008-9442-9.
- Katsman, C.A., S. Drijfhout & W. Hazeleger (2011a), Tijdsafhankelijke klimaatscenario's voor zeespiegelstijging aan de Nederlandse kust. KNMI rapport TR-318, de Bilt.
- Katsman, C.A., A. Sterl, J.J. Beersma, H.W. van den Brink, J.A. Church, W. Hazeleger, R.E. Kopp, D. Kroon, J. Kwadijk, R. Lammersen, J. Lowe, M. Oppenheimer, H.-P. Plag, J. Ridley, H. von Storch, D.G. Vaughan, P. Vellinga, L.L.A. Vermeersen, R.S.W. van de Wal & R. Weisse (2011b), Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta—the Netherlands as an example. *Climatic Change* 109: 617-645 doi:10.1007/s10584-011-0037-5.
- Klijn, F., J. Kwadijk, K. de Buijn & J. Hunink (red) (2010), Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat, Deltares rapport 1002565, Delft.
- Klijn, F. J. ter Maat & E. van Velzen (red.) (2011), Zoetwatervoorziening in Nederland landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw. Deltares rapport 1204358-002, Delft.
- KNMI (2006), Klimaat in de 21^e eeuw – vier scenario's voor Nederland. KNMI, De Bilt.
- KNMI (2008), De toestand van het klimaat in Nederland 2008. KNMI, De Bilt.
- KNMI (2009a), *Klimaatschetsboek Nederland, het huidige en toekomstige klimaat*, KNMI rapport 233, KNMI, De Bilt, 2009.
- KNMI (2009b), Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), KNMI, De Bilt.
- Kwadijk, J., S. van Vuren, G. Verhoeven, G. Oude Essink, J. Snepvangers & E. Calle (2007), Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding. Rapport WL|Delft Hydraulics Q4394, Delft.
- Kwadijk, J., A. Jeuken, & H. van Waveren (2008), De klimaatbestendigheid van Nederland Waterstand. Verkenning van knikpunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. Deltares rapport T2447, Delft.
- Loeve, R. P. Droogers & J. Veraart (2008), Klimaatverandering en waterkwaliteit, Future Water rapport voor Wetterskip Fryslân.
- Malmaeus, JM, T. Blenckner, H. Markensten & I. Persson (2006), Lake phosphorus dynamics and climate warming: A mechanistic model approach. *Ecological Modelling* 190(1-2):1-14.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat MVW (2008), Stroomgebiedbeheerplan Rijndelta: Hoofdrapport.
- Mitrovica J.X., M.E. Tamisiea, J.L. Davis & G.A. Milne (2001), Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea level change. *Nature* 409:1026-1029.
- MNP (2007), Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland. Rapport 500127001. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- PBL (2009), Wegen naar een klimaatbestendig Nederland, PBL Planbureau voor de Leefomgeving 500078001, Den Haag/Bilthoven.
- PBL (2011), Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. PBL Planbureau voor de Leefomgeving 50019301, Den Haag/Bilthoven.
- RIZA (2007), Toepassing klimaatscenario's in het waterbeheer en -beleid. Rapport WL Delft Hydrologics Q4437.
- Te Linde, A.H. (2009), Aanvullende scenario's tbv 'Wegen naar een klimaatbestendig Nederland'. Bijdrage Deltares aan PBL-studie "Klimaat-effecten In Nederland".
- Te Linde, A. H., J. C. J. H. Aerts, A. M. R. Bakker & J. C. J. Kwadijk (2010), Simulating low-probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data, *Water Resour. Res.*, 46, W03512, doi:10.1029/2009WR007707.
- Van Dam H. & A. Mertens (2011), Monitoring herstel verzuring en klimaatverandering vennen 1978-2010: temperatuur; hydrologie; chemie, kiezelwieren. In opdracht van: Provincie Drenthe, Waterschap Veluwe, Waterschap Vallei en Eem, Waterschap De Dommel en Aquon. Rapport nr 911. Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur, Amsterdam.
- Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten (2008), Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's. *Deltaresrapport T2498*, Delft.
- Van der Sandt, K., H. Goosen, C. VOS, W. Geertsema, T. Hermans, J. Verhagen, B. Schaap, H. Agricola, C. Kwakernaak, E. van Ierland, W. Dijkman, P. Jansen, L. Stuyt, J. Velstra, H. Ritsema, C. van Beek, M. van Eupen & M. Hoogvliet (2010), Wegen naar een klimaatbestendig landelijk gebied. Rapport Klimaat voor Ruimte en Kennis voor Klimaat.
- Van Vliet, M.T.H. & J.J.G. Zwolsman (2008), Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse River. *Journal of Hydrology*. Vol. 353(1-2): 1-17.
- Vellinga, P., C. Katsman, A. Sterl, & J. Beersma (2008), Onderzoek naar bovengrensscenario's voor klimaatverandering voor overstromingsbescherming van Nederland. Achtergrondrapport Deltacommissie,

- www.deltacommissie.com/doc/Onderzoek%20naar%20bovengrensscenario's%20-%20KNMI.pdf.
- Vermeer, M. & S. Rahmstorf (2009), Global sea level linked to global temperature. *Proceedings Nat. Academy of Science* 106: 21527-21532; <http://www.pnas.org/content/106/51/21527>.
- Wanningen, H., R. Torenbeek, & J.H. Wanink (2010), Wordt het Drentse water warmer? Onderzoek naar het effect van klimaatverandering op het Drenthe oppervlaktewater in de periode 1974 – 2009. Rapport 2010-031. Koeman en Bijkerk, ecologisch advies bureau.
- Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs (2010), Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Copernicus Instituut, Utrecht Universiteit, rapport nr. NWS-E-2011-79 Utrecht. Bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- Witte, J.P.M.; J. Runhaar & R. van Ek (2009) Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland; KWR rapport 2009.032.
- Zwolsman, G. & M. van Vliet (2007) Effect van een hittegolf op de waterkwaliteit van de Rijn en de Maas, *H₂O* 22, p. 41-44.
- Hoofdstuk 4: Effecten klimaatverandering op de natuur in Nederland**
- Arnolds, E. & M. Veerkamp (2008), Basisrapport Rode Lijst Paddenstoelen. Nederlandse Mycologische Vereniging, Utrecht.
- Blom, G., M. Paulissen, W. Geertsema & H. Agricola (2009), Klimaatverandering in drie casestudiegebieden. Integratie van adaptatiestrategieën voor landbouw en natuur. Rapport Wageningen Universiteit no 255.
- Boosten, M., C. de Groot & J. van den Briel (2009), Inventarisatie van de ontstaans- en escalatierisico's van natuurbranden op de Veluwe, Rapport Stichting Probos Wageningen, www.probos.nl/home/pdf/RapportNatuurbrandenNov2010.pdf.
- Both, C., M. Van Asch, R.G. Bijlsma, B. Van Den Burg & M.E. Visser (2009), Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations?. *Journal of Animal Ecology*, 78: 73–83. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01458.x.
- Brander, K.M. (2010), Cod *Gadus morhua* and climate change: processes, productivity and prediction. *Journal of Fish Biology* 77, 1899–1911.
- Bijlsma, R.J., A.J.M. Jansen, J. Limpens, M.F. Wallis de Vries & J.P.M. Witte (2011), Hoogveen en klimaatverandering in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2225.
- BZK (2009), Nationale Risicobeoordeling. Bevindingenrapportage 2008, Den Haag, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- CBS (2004), Een kwart meer buitenbranden in 2003. <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/veiligheid-recht/publicaties/artikelen/archief/2004/2004-1541-wm.htm>.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010), Korstmossen en klimaatverandering, 1990-2006 (indicator 1111, versie 03, 25 juni 2010), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl, CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010b), Overzicht milieuthema's en effecten op de natuur (indicator 0329, versie 07, 25 juni 2010), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010c), Vervroeging bloei voorjaarsplanten (indicator 1391, versie 02, 25 juni 2010). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010d), Vermesting in grote rivieren, 1970-2008 (indicator 0249, versie 08, 2 februari 2010), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011), Meteorologische gegevens, 1990-2010 (indicator 0004, versie 12, 5 april 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0004-Meteorologische-gegevens-in--Nederland.html?i=9-54>.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011b), Invloed klimaatverandering op koude- en warmteminnende soorten, 1990-2010 (indicator 1429, versie 05, 18 november 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011c), Aantalontwikkeling van amfibieën, 1997-2010 (indicator 1077, versie 11, 23 augustus 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011d), Bonte vliegenvanger en klimaatverandering, 1990-2009 (indicator 1116, versie 08, 25 januari 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011e), Wespenspin en klimaatverandering, 1979-2010 (indicator 1109, versie 10, 18 oktober 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den

- Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2011f), Vermesting in regionaal water, 1991 - 2008 (indicator 0552, versie 03, 4 februari 2011), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2012), Vervroeging eileg zangvogels, 1986-2011 (versie 05). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- Deltares (2008), Effecten van klimaatverandering op de Waterkwaliteit in de Rijn en Maas (M. van Vliet, G.J. Zwolsman, J. Joziassie (red.)) Deltares-Rapport 2008-U-Ro629/A, Delft, http://www.delftcluster.nl/website/files/Waterkwaliteit_/2008-U-Ro629_Michelle_van_Vliet_definitieve_versie.pdf.
- Devictor, V., R. Julliard, D. Couvet & F. Jiquet (2008), 'Birds are tracking climate warming, but not fast enough', *Proceedings of the Royal Society B* 275: 2743-2748.
- Durant, J.M., D. Hjermann, G. Ottersen & N.C. Stenseth (2007), 'Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability', *Climate Research* 33: 271-283.
- Geertsema, W., R.J.F. Bugter, R.J.F., M. van Eupen, S.A.M. van Rooij, T. van der Sluis, & M. van der Veen (2009), Robuuste verbindingen en klimaatverandering. Alterra rapport, Wageningen, <http://edepot.wur.nl/14353>.
- Heijmans, M. & F. Berendse (2009), State of the art review on climate change impacts on natural ecosystems and adaptation, report KfC 009/09, Wageningen University.
- Hiddink, J.G. & R. ter Hofstede (2008), Climate induced increases in species richness of marine fishes. *Global Change Biology* 14: 453-460.
- ICES (2009), Report of the International Bottom Trawl Survey Working Group (IBTSWG), 30 March - 3 April 2009, Bergen, Norway, ICES CM 2009/RMC:04.
- I&M (2011), Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte, Den Haag, Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Jentsch, A. & B. Beierkuhnlein (2008), 'Research frontiers in climate change. Effects of extreme meteorological events on ecosystems', *C. R. Geoscience* 340: 621-628.
- KNMI (2009b), Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, Klein Tank, A.M.G. en G. Lenderink (red.), KNMI, De Bilt.
- KNMI (2011), De Bosatlas van het klimaat, Noordhoff Uitgeverij, Groningen, (www.klimaatatlas.nl).
- Kramer, K. & I. Geijzendorffer (2009), Ecologische veerkracht. Concept voor natuurbeheer en natuurbeleid, KNNV Uitgeverij, Zeist.
- Kwadijk, J., A. Jeuken, & H. van Waveren (2008), De klimaatbestendigheid van Nederland Waterstand. Verkenning van knippunten in beheer en beleid voor het hoofdwatersysteem. Deltares rapport T2447, Delft.
- MacLean, I.M.D, G.E. Austin, M.M. Rehfishch, J. Blew, O. Crowe, S. Delany, K. Devos, B. Deceunninck, K. Günther, K. Laursen, M. Van Roomen & J. Wahl (2008), 'Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter', *Global Change Biology* 14: 2489-2500.
- Moraal, L. G., G. A. J. M. Jagers op Akkerhuis, H. Siepel, M. J. Schelhaas, & G. F. P. Martakis (2004), Verschuivingen van insectenplagen bij bomen sinds 1946 in relatie met klimaatverandering: met aandacht voor de effecten van stikstofdepositie, vochtstress, bossamenstelling en bosbeheer. Alterra-rapport, Wageningen.
- Nijhof, B.S.J., C.C. Vos & A.J. van Strien (2007), Indicators for 'Convention on Biodiversity 2010'. Influence of climate change on biodiversity, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT). Wageningen, 46 blz, <http://library.wur.nl/way/bestanden/clc/1873627.pdf>
- Ozinga, W.A., M. Bakkenes & J.H.J. Schaminée (2007), Sensitivity of Dutch vascular plants to climate change and habitat fragmentation. A first assessment based on plant traits in relation to past trends and future projections, Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu(WOT).
- PBL (2008), Halting biodiversity loss in the Netherlands. Evaluation of progress. PBL rapport, Bilthoven, <http://www.pbl.nl/en/publications/2008/Halting-biodiversity-loss-in-the-Netherlands>.
- PBL (2009), Natuurbalans 2009 PBL rapport 500402017, Bilthoven, <http://www.pbl.nl/publicaties/2009/natuurbalans>.
- PBL (2010), Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Beleidsstudie Planbureau voor de Leefomgeving, Vonk, M.; C.C. Vos, & D.C.J. van der Hoek (Ed) nr. 500078002, Bilthoven, http://www.pbl.nl/publicaties/2010/Adaptatiestrategie_Voor_Een_Klimaatbestendige_Natuur.
- Piessens, K., D. Adriaens, H. Jacquemyn & O. Honnay (2008), 'Synergistic effects of an extreme weather event and habitat fragmentation on a specialized insect herbivore', *Oecologia* 159: 117-126.
- Pörtner, H.O. & R. Knust (2007), Climate change affects marine fishes through the oxygen limitation of thermal tolerance. *Science* 315:95-97.
- Puijtenbroek, P. van, M. de Lange & F. Ottburg (2009), 'Exoten in het zoete water in de afgelopen eeuw', *H₂O* 19: 31-33.
- Schelhaas, M.J., M. Moriono (2007), Bosbranden en klimaatverandering. Vakblad Natuur, Bos, Landschap 8: 13.
- Schippers, P., J. Verboom, Vos, C.C. & R. Jochem (2011), Metapopulation shift and survival of woodland birds under climate change: will species be able to track?. *Ecography*, 34: 909-919. doi: 10.1111/j.1600-0587.2011.06712.x.

- Schweiger, O., J. Settele, O. Kundra, S. Klotz & I. Kühn (2008), 'Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species', *Ecology* 89: 3472-3479.
- SOVON (2007), Vogelbalans 2007, Beek-Ubbergen: SOVON Vogelonderzoek Nederland.
- SOVON (2011), Populatietrends en broedsucces van Bonte Vliegenvanger in Nederland: Een update. Ch. van Turnhout, L. Ballering en Ch. Booth (eds). *Limosa* 84: 38-45.
- Tamis, W.L.M., M. van 't Zelfde, R. van der Meijden & H.A.U. de Haes (2005), 'Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20th century explained by their climatic and other environmental characteristics', *Climatic Change* 72: 37-56.
- Tasker, M.L. (Ed.) (2008), The effect of climate change on the distribution and abundance of marine species in the OSPAR Maritime Area. ICES Cooperative Research Report, 293(Spec. Issue). ICES: Copenhagen, www.vliz.be/imisdocs/publications/142708.pdf.
- Teal, L.R. (2011), The North Sea fish community: past, present and future. Background document for the 2011 National Nature Outlook, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT), Wageningen.
- Van der Veen, M., E. Wiesenecker, B.S.J. Nijhoff & C.C. Vos (2010), *Klimaat Respons Database, versie 2.0. Ontwikkeld binnen het Klimaat voor Ruimte Programma*, Project A2, Adaptatie EHS, <http://www.klimaatonderzoeknederland.nl/resultaten/klimaat-response-database>.
- Van Hal, R., O.G. Bos & R.G. Jak (2011), Noordzee: systeemodynamiek, klimaatverandering, natuurtypen en benthos. Achtergronddocument bij Natuurverkenning 2011. Rapport IMARES Werkdocument 255.
- Van Gulik, A.T.W. (2008), Natuurbrand, een onderschat risico. Kwantitatieve en kwalitatieve benadering om te komen tot bestuurlijke en operationele prioritering in de risico's in de Veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland, Master of Public Safety, Delft: Technische Universiteit Delft.
- Van Oudenhoven, A. P. E. (2008), The Oak processionary caterpillar marching on; Research into the climate and environmental variables determining the spatial distribution and population dynamics of *Thaumetopoea processionea*. Environmental Systems Analysis. Wageningen University, Wageningen. MSc. Visser et al, 2009.
- Visser, M.E., A.C. Perdeck, J.H. van Balen & C. Both (2009), 'Climate change leads to decreasing bird migration distances', *Global Change Biology* 15: 1859-1865.
- Vos, C.C., P. Opdam, E.G. Steingröver & R. Reijnen (2007), 'Transferring ecological knowledge to landscape planning. A design method for robust corridors', 227-245 in J. Wu & R. Hobbs (eds.), Key topics in landscape ecology, Cambridge: Cambridge University Press.
- Vos, C.C., H. Kuipers, R. Wegman & M. van der Veen (2008), Klimaatverandering en natuur; identificatie knelpunten als eerste stap naar adaptatie van de EHS. Wageningen, Alterra, Alterrarapport 1602.
- Vos, C.C., D.C.J. van der Hoek, M. Vonk (2010), 'Spatial planning of a climate adaptation zone for wetland ecosystems', *Landscape Ecology* 25: 1465-1477.
- Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs (2010), Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Copernicus Instituut, Utrecht Universiteit, rapport nr. NWS-E-2011-79 Utrecht. bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar & R. van Ek (2009a), Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland, KWR rapport 2009.032.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. van Ek & D.C.J. van der Hoek (2009b), 'Eerste landelijke schets van de ecohydrologische effecten van een warmer en grilliger klimaat', *H₂O* 16/17.
- Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. van Ek, D.C.J. van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. van Bodegom, M.J. Wassen & S.E.A.T.M. van der Zee (2012), An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society. *Hydrology and Earth System Sciences* (in press).

Hoofdstuk 5: Effecten klimaatverandering op de Nederlandse landbouw

- Acacia Water, Leven met Water & STOWA (2009), Leven met Zout water: Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting. Rapport nr 2009/45.
- AgriHolland (2011), Dossier Klimaatverandering en landbouw, <http://www.agriholland.nl/dossiers/klimaatverandering/home.html#introduction>.
- Agricola, H.J., H. Goosen, P.F.M. Opdam & R.A. Smidt (2010), Kansrijke gebieden voor groenblauwe mantels in de provincie Noord-Brabant, Wageningen: Alterra.
- Blom, G., M. Paulissen, C. Vos & H. Agricola (2008), Effecten van klimaatverandering op landbouw en natuur: Nationale knelpuntenkaart en adaptatiestrategieën, Rapport Wageningen Universiteit, no 182.
- De Wit, J. D. Swart, & E. Luijendijk (2009), Klimaat en landbouw Noord-Nederland: 'effecten van extremen' Rapport Grontmij 245375, http://promise.klimaatvoorruimte.nl/pro1/publications/show_publication.asp?documentid=3320&GUID=4fbacc3-f37c-4521-8510-e7677f7030c6.
- Geijzenorffer, I., R. Smidt, R. Engelbertink, T. Hermans, B. Schaap, J. Verhagen & G. Blom-Zandstra (2011), Gevolgen van klimaatextremen voor de Nederlandse landbouw. Noodzaak voor adaptatie?, Alterra en Plant Research International. Alterra-rapport 1994. Wageningen.

- Haskoning (2008) Herijking Zoetwaterverkenning. Rapport voor de provincie Zuid-Holland.
- Hermans, C.M. .L, I. R. Geijzendorffer, F. Ewert, M. J. Metzger, P. H. Vereijken, G. B. Woltjer, & A. Verhagen (2010), "Exploring the future of European crop production in a liberalised market, with specific consideration of climate change and the regional competitiveness." *Ecological Modelling* 221 (18) 2177–2187. doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.03.021.
- IPO (2009), Landbouw, water en extremen. Klimaat-effect Atlas 1.0. (Eds: Blom & den Braber). Eindrapport dossier: B9638.02.001.
- Kempenaar, C. & W. van der Zweerde (2003), Vernatting van landbouwgewassen: Hoe zullen ziekten, plagen en onkruiden reageren?, Nota/Plant Research International 278, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/324698>.
- Klijn, F., J. Kwadijk, K. de Buijn & J. Hunink (red) (2010), Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat, Deltares rapport 1002565, Delft.
- Klijn, F. J. ter Maat & E. van Velzen (red.) (2011), Zoetwatervoorziening in Nederland landelijke analyse knelpunten in de 21e eeuw. Deltares rapport 1204358-002, Delft.
- KNMI (2011), De Bosatlas van het klimaat, Noordhoff Uitgeverij, Groningen, 112 (www.klimaatatlas.nl).
- Lavalle, C., F. Micale, T. Durrant Houston, A. Camia, R. Hiederer, C. Lazar, C. Conte, G. Amatulli, & G. Genovese (2009), Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29(3) 433-446, DOI: 10.1051/agro/2008068.
- MNP (2005), Effecten van Klimaatverandering in Nederland. Rapport Milieu- en Natuurplanbureau 773001034, Bilthoven, http://www.pbl.nl/publicaties/2005/Effecten_klimaatverandering_voor_Nederland.
- Moraal, L. G., G. A. J. M. Jagers op Akkerhuis, H. Sipel, M. J. Schelhaas, & G. F. P. Martakis (2004), Verschuivingen van insectenplagen bij bomen sinds 1946 in relatie met klimaatverandering : met aandacht voor de effecten van stikstofdepositie, vochtstress, bossamenstelling en bosbeheer. Alterra rapport, Wageningen.
- PBL (2011), Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. PBL Planbureau voor de Leefomgeving 50019301, Den Haag/Bilthoven.
- PD (2005), Situatie Maïswortelkever 2005- Diabrotica virgifera virgifera. Plantenziektenkundige Dienst, Wageningen, <http://edepot.wur.nl/118467>.
- RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck, D. Klopstra, R. Versteeg, & T. Kroon (2005), Droogtestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Directoraat Generaal Water.
- Schaap, B.F., M. Blom-Zandstra, I.R. Geijzendorffer, C.M.L. Hermans, R.A. Smidt, R.A. & A. Verhagen (2009), Klimaat en landbouw Noord-Nederland : rapportage van fase 2 Wageningen: Plant Research International, Nota / Plant Research International 629.
- Schaap, B.F., M. Blom-Zandstra, C.M.L. Hermans, B.G. Meerburg, & A. Verhagen (2011), "Impact changes of climatic extremes on arable farming in the north of the Netherlands." *Regional Environmental Change* 9: 1–11. doi:10.1007/s10113-011-0205-1.
- Schapendonk, A.H.C.M., W. Stol, J.H.M. Wijnands, F. Bunte, M.W. Hoogeveen, en S.C. van de Geijn (1997), Effecten van klimaatverandering op fysieke en economische opbrengst van een aantal landbouwgewassen in Nederland, AB-DLO en LEI-DLO, rapport no. 410200016, www.plant-dynamics.nl/UserFiles/File/pdf/klimaat-economie.pdf
- Scholte E.J., C.B.E.M. Reusken, W. Takken, F. Jongejan, & J.W.B. van der Giessen (2008), Het toenemend belang van infectieziekten die worden overgebracht door vectoren. *Infectieziekten bulletin*. 19(10): 311-315 (DOI:9717).
- UNEP/GRID-Europe (2004), Impacts of Summer 2003 Heat Wave in Europe, Environment Alert Bulletin, UNEP and DEWA/GRID-Europe.
- Van Bakel, P.J.T. & L.C.P.M. Stuyt (2011), Actualisering van de kennis van de zouttolerantie van landbouwgewassen. Op basis van literatuuronderzoek, expertkennis en praktijkonderzoek. WUR-Alterra, rapportnr 2201, Wageningen.
- Van Beek, E., M. Haasnoot, K.M. Meijer, J.R. Delsman, J.J.J.C. Snepvangers, G. Baarse, R. van Ek, G.F. Prinsen, J.C.J. Kwadijk & J.W. van Zetten (2008), Verkenning kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van de G+ en W+ klimaatscenario's. Deltaresrapport T2498, Delft.
- Van Dam, A.M. O.A. Clevering, W. Voogt, Th.G.L. Aendekerk & M.P. van der Maas (2007), Zouttolerantie van landbouwgewassen. Deelrapport Leven met zout water; Wageningen Universiteit; PPO nr. 32 340194 00; pp 38. <http://edepot.wur.nl/27637>.
- Van de Sandt, K. en H. Goosen (2012), Klimaatadaptatie in het landelijk gebied. Een verkenning naar wegen voor een klimaatbestendig Nederland. Wageningen UR-Alterra, Wageningen.
- Van der Gaast, J. W. J., H. T. L. Massop & H. R. J. Vroon (2009), Effecten van klimaatverandering op de watervraag in de Nederlandse groene ruimte. Analyse van de waterbeschikbaarheid rekeninghoudend met de freatische grondwaterstand en bodem.
- Van Everdingen, W. & A. van der Knijff (2005), Energiekosten Stijgen Fors. Agri-Monitor Landbouw Economisch Instituut (LEI), December 2005.
- Verhagen, A., M. Blom-Zandstra, P.J. Kuikman, E den Belder, W.A. Brandenburg, J. Elderson, C.M.L. Hermans,

- B.F. Schaap, J.J.H. van den Akker, P. Vellinga, C. Waalwijk (2011), Effecten van klimaatverandering op de landbouw in Nederland. Bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs (2010), Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Copernicus Instituut, Utrecht Universiteit, rapport nr. NWS-E-2011-79 Utrecht, bijdrage aan Klimaatbestendig Nederland.
- Westerdijk, C.E. & A.J. Visser (2003), Voorstudie Zoute Landbouw. Gevolgen verzouting oppervlaktewater op aangrenzende landbouw. PPO. rapport nr 530068, Wageningen.
- Hoofdstuk 6: Klimaatverandering en gezondheid**
- Bousquet, J., I.J. Ansoategui, I. J., R. van Ree, P.G. Burney, T. Zuberbier, & P. van Cauwenberge (2004), European Union meets the challenge of the growing importance of allergy and asthma in Europe. *Allergy*, 59: 1-4.
- Braks, M, & A-M De Rode Husman (2012). Sense and nonsense of effects of climate change on water transmitted infectious diseases (in voorbereiding).
- CBS, PBL, Wageningen UR (2002), Gezondheidsklachten in verband met recreatie in oppervlaktewater, 1990-1999 (indicator 0347, versie 03, 3 oktober 2002). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010), Eikenprocessierups en klimaatverandering, 1990-2008 (indicator 1110, versie 04, 5 februari 2010). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2010b), Kwaliteit zwemwater, 1998-2009 (indicator 0248, versie 07, 17 december 2010), www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- cCASHh (2006), Climate change and adaptation strategies for human health (Editors Menne and Ebi), Steinkopff Verlag, Darmstadt.
- ClimateCost (2011), The impact and economic costs of climate change in Europe and the costs and benefits of adaptation, <http://www.climatecost.cc/reportsandpublications.html>.
- Confalonieri, U. & A. McMichael (2007), Global environmental change and human health: science plan and implementation strategy. ESSP report number 4. ESSP Joint Project on GEC and Human Health, www.essp.org.
- Deltaprogramma (2011), Probleemanalyse Rijnmond-Drechtsteden, Impact van klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkeling op waterveiligheid en zoetwatervoorziening, www.deltacommissaris.nl/Images/Probleemanalyse%20DPRD%20DEF_tcm309-307595.pdf.
- Dessai, S. & J.P. van der Sluijs (2007), Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study, report NWS-E-2007-198, Copernicus Institute, Utrecht University.
- De Roda Husman AM & F.M. Schets (2010), Climate change and recreational water-related infectious diseases. RIVM report 330400002. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven.
- De Weger, L. A. (2008), Pollenallergie in Nederland. *Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk* 33: 21-25.
- Den Boon, S., & W. van Pelt (2006), De ziekte van Lyme in Nederland tussen 1994 en 2005: drievoudige toename van het aantal huisartsconsulten en verdubbeling van het aantal ziekenhuisopnames. *Infectieziekten Bulletin*, 17(7), 238-240.
- Ebi, K.L (2011), Climate change and health risks: assessing and responding to them through 'adaptive management'. *Health Affairs* 30(5): 924-930.
- ECDC (2012), Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. Technical report.
- EU INTARESE (2010), Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe (www.intarese.org).
- Epstein, P.R. (2008), Fossil fuels, allergies, and a host of other ills. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 122: 471-472.
- FAO (2008), Climate Change And Food Security: A Framework Document. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Filleul L., S. Cassadou, S. Médina, P. Fabres, A. Lefranc, D. Eilstein, A. Le Tertre, L. Pascal, B. Chardon, M. Blanchard, C. Declercq, J.F. Jusot, H. Prouvost & M. Ledrans (2006), The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environ Health Perspect.*114(9): 1344-1347.
- Fisher, P.H., B. Brunekreef & E. Lebreton (2005), Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in The Netherlands. *Atmospheric Environment* 38: 1083-1085.
- Gezondheidsraad (2009), Mondiale milieu-invloed op onze gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 2009; publicatienummer 2009/15. ISBN 978-90-5549-773-7.
- Health W.A. (2008), Health impact of climate change. Adaptation strategies for Western Australia. Department of Health Western Australia.
- Hunter, P. (2003), Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology*, 94 Suppl, 37S-46S.
- Huynen, M.M.T.E & B. Menne et al. (2003), Phenology and human health: allergic disorders. *Health and global environmental change*, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/327616>.

- Huynen, M. M. T. E., A. E. M. de Hollander, M. Martens & J. P. Mackenbach (2008). Mondiale milieuveranderingen en volksgezondheid: stand van de kennis. RIVM, Bilthoven, http://www.icis.unimaas.nl/publ/Downs/080318_Mondiale.Definitief.pdf.
- IPCC (2007), Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2012), Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change. Special Report of the Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), <http://www.ipcc.ch/#>.
- Jans, H. & E. Franssen (2008), De brandharen van de eikenprocessierups, een reëel probleem voor de huisarts. *Huisarts & Wetenschap* 51: 1-4.
- Karagiannis, I., P. Brandsema, & M. van der Sande (2009), Warm, wet weather associated with increased Legionnaires' disease incidence in The Netherlands. *Epidemiology and Infection* 137(2), 181-187.
- Kennis voor Klimaat/Klimaat voor Ruimte. (2008), Verslag Oploopdebat Klimaat en Gezondheid, Amsterdam, September 18, 2008.
- Knowlton, K., M. Rotkin-Ellman, L. Geballe, W. Max & G.M. Solomon (2012), Six climate change-related events in the United States accounted for about \$14 billion in lost lives and health costs. *Health Affairs* 30: 2167-2176.
- Kovats, R.S., & K.L. Ebi (2006), Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health* 16(6): 592-599.
- Mackenbach, J.P. (2009), Klimaatverandering: Ook een probleem voor de volksgezondheid. *Ned Tijdschr Geneesk* 153(50): 2413.
- Martens, P. (2009), Klimaatverandering en gezondheid. *Ned Tijdschr Geneesk*, 153, A1420.
- McMichael, A.J., R. Woodruff, & S. Hales (2006), Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367, 859-869.
- MNP (2005), Effecten van Klimaatverandering in Nederland. Rapport Milieu- en Natuurplanbureau 773001034, Bilthoven, http://www.pbl.nl/publicaties/2005/Effecten_klimaatverandering_voor_Nederland
- Nationaal Kompas Volksgezondheid (2012), <http://www.nationaalkompas.nl/gezondheidsdeterminanten/omgeving/milieu/klimaatverandering>.
- NRT (2011), Climate Prosperity. Paying the price: the economic impact of climate change for Canada. National Round Table on the Environment and the Economy.
- PBL (2009), Wegen naar een klimaatbestendig Nederland, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- PBL (2011), Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- PESETA (2009), Climate change impacts in Europe (Ed. J.-C. Ciscar). Endreport of EU PESETA project.116 blz <ftp://jrc.es/EURdoc/JRC55391.pdf>.
- PESETA (2011), Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proc. Nat. Ac. Sc. (PNAS)*, Jan 2011, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1011612108.
- Reid C.E., M.S. O'Neill, C.J. Gronlund, S.J. Brines, D.G. Brown, A.V. Diez-Roux & J. Schwartz (2009), Mapping Community Determinants of Heat Vulnerability. *Environ Health Perspect.* 117(11):1730-6.
- RIVM (2008), Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid, from www.nationaalkompas.nl.
- Schets, F.M., H.H.L. van den Berg, A.A. Demeulmeester, E. van Dijk, S.A. Rutjes, H.J.P. van Hooijdonk & A.M. De Roda Husman (2006), Vibrio alginolyticus infections in the Netherlands after swimming in the North Sea, "Euro Surveill. 2006;11(45):pii=3077, <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=3077>.
- Scholte, E.J., C.B.E.M. Reusken, W. Takken, F. Jongejan en J.W.B. van der Giessen (2007) Het toenemend belang van infectieziekten die worden overgebracht door vectoren; Infectieziekten Bulletin 2008; 19: 311-5.
- Schouls, L.M., & W. van Pelt (2003), Tekenbeten. In de ban van de ring. RIVM.nl 3(3): 5-6.
- Semenza, J.C., J.E. Suk, V. Estevez, K.L. Ebi, & E.L. Lindgren (2012), Mapping climate change vulnerabilities to infectious diseases in Europe. *Environ. Health Perspec.* 120: 385-392.
- Semenza, J.C. & B. Menne (2009), Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infect. Dis.* 9: 365-375.
- Shea, K.M., R.T. Truckner, R.W. Weber, & D.B. Peden (2008), Climate change and allergic disease. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 122: 443-453.
- Smithuis, L.O.M.J., G.J.H. Haan, L.R. van der Laan, J.M. Pekelharing, S.A.J.J. Rikken & W.P.F. Rutten (2000), Wetenschappelijke verantwoording van het landelijk model van een probleemgeoriënteerd aanvraagformulier voor laboratoriumonderzoek door huisartsen. *Ned Tijdschr Klin. Chem*, December: 14-19.
- Takken, W. & B.G.J. Knols (Eds) (2007), Emerging pests and Vector Borne Diseases in Europe. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- UK (2012), Climate change risk assessment. Summary of key findings and evidence report.
- Van Asperen, I., C. de Rover, J. Schijven, S. Oetomo, J. Schellekens, N. van Leeuwen, et al. (1995), Risk of otitis externa after swimming in recreational fresh water lakes containing *Pseudomonas aeruginosa*, *The British Medical Journal* 311(7017), 1407-1410.
- Van Oudenhoven, A.P.E. (2008), The Oak processionary caterpillar marching on; Research into the climate and environmental variables determining the spatial distribution and population dynamics of

- Thaumatococcus danonii. Environmental Systems Analysis. Wageningen University, Wageningen.
- Van Vliet, A.J.H. (2008), Monitoring, analysing, forecasting and communicating phenological changes. Proefschrift Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Wardekker, J.A. & J.P. van der Sluijs (2010), Karakterisering van onzekerheid in effecten van klimaatverandering in Nederland. Rapport Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht, Rapport nr NWS-E-2010-70.
- Wardekker, J.A., A. de Jong, L. van Bree, W.C. Turkenburg & J.P. van der Sluijs (2012), Health risks of climate change: an assessment of uncertainties and its implications for adaptation policies (in review).
- WHO (2008), Protecting health in Europe from climate change. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
- WHO (2009a), Climate change and health: Report by the Secretariat. Executive Board 124th Session 20 November 2008. Provisional agenda item 4.8, www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB124/B124_11-en.pdf.
- WHO (2009b), World Health Assembly resolution on climate change and health. World Health Organisation. http://www.who.int/gb/ebwha/pdf_files/A61/A61_R19-en.pdf.
- WHO (2010), Health and Environment in Europe: Progress Assessment, Progress report of the World Health Organization Europe, Rapportnr. EUR/55934/BD/1.
- WHO CEHAPIS (2011), Tools for the monitoring of Parma Conference commitments, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/134380/e94788.pdf.
- Ziska, L.H., D.E. Gebhard, D.A. Frenz, S. Faulkner, B.D. Singer, & J.G. Straka (2003), Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 111: 290-295.
- Hoofdstuk 7: Toerisme & recreatie**
- Amelung, B. (2006), Global (environmental) change and tourism: Issues of scale and distribution. PhD thesis, Universiteit Maastricht, Maastricht.
- Amelung, B. & D. Viner (2006), 'Mediterranean tourism: Exploring the future with the Tourism Climatic Index'. *Journal of Sustainable Tourism* 14(4): 349-366.
- Amelung, B., S. Nicholls & D. Viner (2007), Implications of Global Climate Change for Tourism Flows and Seasonality. *Journal of Travel Research* 45: 285-296.
- Amelung, B., A. Moreno & D. Scott (2008), 'The Place of Tourism in the IPCC Fourth Assessment Report: A Review'. *Tourism Review International* 12(1): 5-12.
- Besancenot, J.-P. (1989), Climat et tourisme. Paris: Masson.
- Brandsma, T. (2001), Hoeveel elfstedentochten in de 21ste eeuw? *Zenit* 28, 194-197.
- CBS, PBL, Wageningen UR (2008), Kans op een Elfstedentocht, 1901-2008, www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen. <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0510-Kans-op-een-Elfstedentocht.html?i=9-54>.
- Ceron, J.-P. & D. Scott (2007), 'Overview of issues regarding impacts of, and adaptation to climate change'. Policy Dialogue on Tourism Transport and Climate Change: Stakeholders meet Researchers. E-Clat technical seminar, Paris, 15 March 2007.
- De Jonge, Ch., H. Gijsbertse & C.M. Goossen (2008), De gevolgen van klimaatverandering voor recreatie en toerisme. Kansen voor de recreatiesector. Rapport Stichting Recreatie, Den Haag, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/373306>.
- Giles, A.R. & A.H. Perry (1998), The use of a temporal analogue to investigate the possible impact of projected global warming on the UK tourist industry. *Tourism Management* 19(1): 75-80.
- Mieczkowski, Z. (1985), The Tourism Climatic Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism. *The Canadian Geographer*, 29(3), 220-233.
- Moreno, A., B. Amelung & L. Santamarta (2008), Linking beach recreation to weather conditions. A case study in Zandvoort, Netherlands. *Tourism in Marine Environments* 5(2-3):111-119.
- Nicholls, S. & B. Amelung (2008), Climate Change and Tourism in Northwestern Europe: Impacts and Adaptation. *Tourism analysis*, 13(1), 21-31.
- PBL (2009), Wegen naar een klimaatbestendig Nederland, PBL Planbureau voor de Leefomgeving 500078001, Den Haag/Bilthoven.
- Peeters, P. & F. Schouten (2006), Reducing the ecological footprint of inbound tourism and transport to Amsterdam. *Journal of Sustainable Tourism*, 14(2), 157-171.
- Perch-Nielsen, S., B. Amelung & R. Knutti (2010), 'Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index'. *Climatic Change*, 103, 363-381, doi:10.1007/s10584-009-9772-2.
- Visser, H. & A.C. Petersen (2008a), The likelihood of holding outdoor skating marathons in the Netherlands as a policy-relevant indicator of climate change. *Climatic Change* DOI 10.1007/s10584-008-9498-6, online versie.
- Visser, H. & A.C. Petersen (2008b), Future chances of the Elfstedentocht. Addendum bij het artikel in Climatic Change 'The likelihood of holding outdoor skating marathons in the Netherlands as a policy-relevant indicator of climate change'.
- Hoofdstuk 8: Beleidsaandacht**
- Braks, M., J. van der Giessen, M. Kretzschmar, W. van Pelt, E-J Scholte, C. Reusken, H. Zeller, W. van Bortel, & H. Sprong (2011), Towards an integrated approach in surveillance of vector-borne diseases in Europe. *Parasites & Vectors* 4:192-202.

- BZK (2009), Nationale Risicobeoordeling. Bevindingenrapportage 2008, Den Haag, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. CBS (2004) Een kwart meer buitenbranden in 2003, <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/veiligheid-recht/publicaties/artikelen/archief/2004/2004-1541-wm.htm>.
- Deltaprogramma (2010), Werk aan de delta. Investeren in een veilig en aantrekkelijk Nederland, nu en morgen. Rapport Deltaprogramma.
- Deltaprogramma (2011), Probleemanalyse Rijnmond-Drechtsteden, Impact van klimaatverandering en sociaal-economische ontwikkeling op waterveiligheid en zoetwatervoorziening, www.deltacommissaris.nl/Images/Probleemanalyse%20DPRD%20DEF_tcm309-307595.pdf.
- De Jonge, Ch., H. Gijbertse, & C.M. Goossen (2008), De gevolgen van klimaatverandering voor recreatie en toerisme. Kansen voor de recreatiesector. Rapport Stichting Recreatie, Den Haag, <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/373306>.
- ECDC VBORNET, Network of medical entomologists and public health experts (http://ecdc.europa.eu/en/activities/diseaseprogrammes/emerging_and_vector_borne_diseases/Pages/VBORNET.aspx).
- ECDC (2012), Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. Technical report.
- EHS (2010), A human perspective of climate change. A report outlining the research needs on the human health effects of climate change. Environmental Health Perspectives interagency working group report.
- EU ENHanCE, ERA Net Health and Climate in Europe, <http://www.liv.ac.uk/enhance>.
- IenM (2011), Ontwerp Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte. Nederland concurrerend, bereikbaar, leefbaar en veilig. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Den Haag, <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/06/14/ontwerpstructuurvisie-infrastructuur-en-ruimte.html>.
- PBL (2009), Wegen naar een klimaatbestendig Nederland, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- PBL (2010), Adaptatiestrategie voor een klimaatbestendige natuur. Planbureau voor de Leefomgeving, Vonk, M.; C.C. Vos, & D.C.J. van der Hoek (Ed), Bilthoven, http://www.pbl.nl/publicaties/2010/Adaptatiestrategie_Voor_Een_Klimaatbestendige_Natuur.
- PBL (2011), Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. PBL Planbureau voor de Leefomgeving 50019301, Den Haag/Bilthoven.
- Runhaar, H., H. Mees, J.A. Wardekker, J.P. van der Sluijs & P.P.J. Driessen (2012), Adaptation to climate-related risks in Dutch urban areas: stimuli and barriers. *Reg. Environ. Change* (DOI: 10.1007/s10113-012-0292-7).
- VROM (2006), Naar een klimaatbestendig Nederland. Het Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat 2006-2014. Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Den Haag.
- VROM et al. (2007), Nationale Adaptatiestrategie. Ministeries Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Ministerie Landbouw, Natuur en Voedselzekerheid, Ministerie Verkeer en Waterstaat, Ministerie Economische Zaken, Den Haag.

Het klimaat verandert: de gemiddelde temperatuur in Nederland is in de afgelopen eeuw met 1,7°C gestegen en hevige regenbuien komen vaker voor. Volgens de huidige inzichten zal de klimaatverandering de komende eeuwen verder doorzetten. Behalve de temperatuur en intense regenbuien kunnen de zeespiegelstijging, rivierafvoeren en de kans op droogte toenemen. De mogelijke klimaatveranderingen kennen echter een grote onzekerheid. Zo kan in Nederland tussen nu en 2100 de gemiddelde hoeveelheid neerslag per jaar met 5 procent afnemen, maar ook met 6 procent stijgen. Dit bemoeilijkt het inspelen op de gevolgen van klimaatverandering.

Klimaatverandering heeft in Nederland uiteenlopende effecten. Sommige zijn gunstig, zoals een hogere landbouwproductie en meer mooie dagen voor recreatie. Andere effecten zijn ongunstig, zoals een grotere kans op wateroverlast door meer piekbuien, of meer hittestress in steden door stijgende temperaturen.

De effecten van verdere klimaatverandering zijn in Nederland bij het huidige tempo van verandering in beginsel beheersbaar. Dit komt enerzijds doordat de meeste effecten vooralsnog beperkt lijken te zijn en geleidelijk veranderen, zodat er genoeg tijd is om op de gevolgen te anticiperen. Anderzijds zijn de effecten beheersbaar doordat klimaatrisico's tegenwoordig meer zijn verankerd in verschillende beleidsdossiers. Zo zijn aandacht voor een klimaatbestendige bebouwde omgeving en voor ontwikkelingen die de waterveiligheid en zoetwaterbeschikbaarheid bedreigen, opgenomen in het Deltaprogramma. Voor de klimaateffecten op natuur is in de beleidsdossiers minder aandacht.

Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres
Postbus 30314
2500 GH Den Haag

Bezoekadres
Oranjevuitensingel 6
2511 VE Den Haag
T +31 (0)70 3288700

www.pbl.nl

Juli 2012