

Effecten van klimaatverandering in Nederland

Milieu- en Natuurplanbureau

met medewerking van:

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling, RWS-RIZA

Rijksinstituut voor Kust en Zee, RWS-RIKZ

Alterra, Wageningen UR

Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam, IVM

International Centre for Integrative Studies, Universiteit van Maastricht, ICIS



Dit overzicht is opgesteld op verzoek van de Staatssecretaris voor Milieubeheer,
Drs. P.L.B.A. van Geel,
met een financiële bijdrage van het Nederlands Onderzoeksprogramma Klimaat-
verandering (NRP-CC – WAB)

Colofon

Samenstellers: A.H.M. Bresser (projectleider), M.M. Berk, G.J. van den Born, L. van Bree, F.W. van Gaalen, W. Ligtvoet, J.G. van Minnen, M.C.H. Witmer (allen MNP)

Bijdragen: B. Amelung (ICIS), L. Bolwidt (RIZA), W. ten Brinke (RIZA), H. Buiteveld (RIZA), D. Dillingh (RIKZ), R. van Dorland (KNMI), M. Huynen (ICIS), R. Leemans (WUR), A. van Strien (CBS), J. Vermaat (IVM / VUA), J. Veraart (Alterra / WUR)

Review: G.J. Heij (NRP-CC), P. Kabat (WUR), R. Leemans (WUR), H. Lindeboom (NIOZ / WUR), P. Martens (ICIS / Universiteit Maastricht), B. Metz (IPPC / MNP), L. Soldaat (CBS), M. Stive (WRC / TU-Delft), R. Swart (EEA-ETC-ACC), P. Vellinga (VUA), A. Verhagen (WUR)

Contact: M.M. Berk: marcel.berk@mnp.nl

ISBN 90 69 60132 X

NUR 940

MNP-rapportnummer: 773001034

This report is also available in English

Oktober 2005

© MNP Bilthoven

info@mnp.nl

VOORWOORD

De wetenschappelijk onmiskenbare veranderingen van het klimaat en extreme weersverschijnselen elders roepen de vraag op naar de mogelijke effecten voor Nederland. De Staatssecretaris voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer heeft het Milieu- en Natuurplanbureau begin dit jaar die vraag gesteld: wat nemen we waar en wat mag je op afzienbare termijn (enkele tientallen jaren) verwachten; waar moeten mensen rekening mee houden?

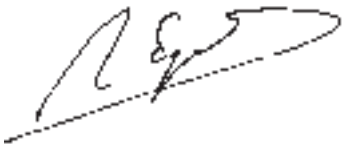
Omdat het rapport beknopt, toegankelijk en ergens in oktober beschikbaar moest zijn, is gewerkt op basis van bestaande en vastgelegde kennis. Nieuwe berekeningen zijn niet mogelijk geweest. Het rapport pretendeert geen volledigheid. Wel zijn de belangrijkste bekende ontwikkelingen opgenomen.

De vragen stellen is één, ze integraal beantwoorden is twee en nog niet zo eenvoudig. Klimaat werkt in op onze hele omgeving en samenleving. Eventuele effecten van verandering van het klimaat hangen samen met ontwikkelingen in alle milieucompartimenten; ontwikkelingen die vaak meerdere oorzaken kennen. Om een antwoord te kunnen geven is de verzamelde kennis van een reeks wetenschappelijke instellingen nodig.

Het schrijven van dit rapport was dan ook slechts mogelijk met de welwillende medewerking van veel collega-kennisinstituten. Mijn dank gaat dan ook uit naar alle instellingen die hebben geholpen om dit overzicht op te stellen.

Een rapport opstellen is slechts een stap in een proces. Voor de echte communicatie over klimaatverandering, de oorzaken en de effecten daarvan, hebben de gezamenlijke instellingen een platform opgericht: het Platform Communication on Climate Change (PCCC) dat op Internet het Klimaatportaal onderhoudt (<http://www.klimaatportaal.nl/>). De informatie in dit boekje (en veel meer) is daar ook terug te vinden, aangevuld met meer achtergrondinformatie en verwijzingen. Daar wordt dit ook up-to-date gehouden, want de kennis over ons klimaatsysteem ontwikkelt zich doorlopend.

De Directeur van het Milieu- en Natuurplanbureau,



Prof.ir. N.D. van Egmond

Inhoudsopgave

VOORWOORD 3

SAMENVATTING 7

- 1 INLEIDING 15
- 2 HOE VERANDERT HET KLIMAAT IN NEDERLAND? 19
 - 2.1 Het klimaatsysteem 19
 - 2.2 Klimaatveranderingen: het mondiale kader 21
 - 2.3 Oorzaken van recente klimaatverandering 23
 - 2.4 Klimaatverandering in Nederland 25
 - 2.5 Klimaatverwachtingen voor de 21e eeuw: mondiaal 28
 - 2.6 Klimaatverwachtingen voor Nederland 31
- 3 WAAR MOETEN INWONERS VAN LAAG-NEDERLAND EN HET RIVIERENGEBIED REKENING MEE HOUDEN? 37
 - 3.1 Veiligheid tegen overstroming 37
 - 3.2 Wateroverlast en droogte 45
 - 3.3 Bodemdaling in de veengebieden 49
 - 3.4 Zoutindringing in het oppervlaktewater 51
- 4 HOE VERANDERT DE NATUUR? 53
 - 4.1 Signalen van verandering 53
 - 4.2 Noordzee en Waddenzee 58
 - 4.3 Toekomstige effecten van klimaatverandering 61
 - 4.4 Inspelen op klimaatverandering 66
- 5 WAT MERKT DE LANDBOUW VAN KLIMAATVERANDERING? 69
 - 5.1 Klimaatverandering als één van de invloeden op de landbouw 69
 - 5.2 Stijging CO₂ -gehalte geeft hogere productie 70
 - 5.3 Hogere temperatuur, uiteenlopende effecten 71
 - 5.4 Meer dynamiek in neerslag, meer risico's voor de landbouw 73
 - 5.5 Verzilting neemt toe bij stijgende zeespiegel en dalend land; hogere landbouwschade 75
 - 5.6 Ziekten en plagen nemen toe 76
- 6 GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING VOOR RECREATIE EN TOERISME 79
 - 6.1 Inleiding 79
 - 6.2 Kusttoerisme algemeen 80
 - 6.3 Verschuivingen in het warmte- en hitteseizoen 80
 - 6.4 Toerisme, recreatie en water in Nederland 83

7	ENKELE GEVOLGEN VOOR HET BEDRIJFSLEVEN	87
7.1	Transportsector	87
7.2	Energie	88
7.3	Watergebruik	90
7.4	Verzekering	91
8	ZIJN ER GEZONDHEIDSRISICO'S VAN KLIMAATVERANDERING?	93
8.1	Temperatuurgerelateerde effecten	93
8.2	Vectorgebonden ziekten	95
8.3	Luchtkwaliteit en effecten	97
8.4	Allergieën	99
8.5	Overige ontwikkelingen	100
9	NASCHRIFT	103
	LITERATUUR	105

SAMENVATTING

Dit rapport brengt de huidige kennis samen over de effecten van het veranderende klimaat op de Nederlanders, nu en in de komende tientallen jaren. Er is geen extra onderzoek voor gedaan. Bestaande kennis en gegevens van veel instellingen zijn bijeengebracht en worden in samenhang gepresenteerd.

Hoofdconclusies

Het klimaat verandert: de zeespiegel stijgt, de afvoeren van de rivieren nemen toe. De natuur reageert al op de opgetreden temperatuurveranderingen. De waarneembare effecten in Nederland zijn beperkt van omvang.

De komende tientallen jaren zullen de ontwikkelingen naar verwachting sneller gaan.

- *Extreem warme en droge zomers zullen vaker vóórkomen. Meer en heviger buien met wateroverlast behoren tot het verwachtingspatroon. Piekafvoeren van de rivieren nemen toe. Als stroomopwaarts gelegen landen maatregelen nemen om daar overstromingen te beperken, dan nemen de risico's in Nederland toe.*
- *De snelheid waarmee de temperatuur stijgt, is waarschijnlijk te hoog voor veel organismen om zich te kunnen aanpassen of te kunnen verhuizen. Verschillende soorten planten en dieren dreigen te verdwijnen uit Nederland. Nieuwe soorten vestigen zich, als ze zich snel genoeg kunnen verplaatsen. Dit resulteert waarschijnlijk in een afnemende soortenrijkdom in Nederland.*
- *De landbouw en de toeristensector staan voor veranderingen, die economisch gezien zowel positief als negatief kunnen uitpakken; dat is onder andere afhankelijk van ontwikkelingen elders in Europa.*
- *De verwachte gezondheidswinst door algehele temperatuurstijging wordt waarschijnlijk grotendeels teniet gedaan door het verhoogde sterfterisico's bij extreem warm weer. Enkele ziekten en aandoeningen zullen waarschijnlijk vaker vóórkomen (Lyme, allergieën).*

Door de vertraagde reactie van het klimaatsysteem gaan de veranderingen nog heel lang door, zelfs bij een sterke vermindering van emissies van broeikasgassen. Tegen het eind van deze eeuw zal de zeespiegel 20 tot 110 cm zijn gestegen. Deze bandbreedte geeft aan hoe groot de onzekerheden nog zijn. Recent onderzoek wijst op een stijging, die meer aan de bovenkant van die bandbreedte zit. De combinatie van voortgaande zeespiegelstijging, bodemdaling en hoge rivierafvoeren wordt tegen het einde van deze eeuw problematisch voor Laag-Nederland. Waterafvoer en veiligheid komen in het geding.

Op de zeer lange termijn van enkele honderden jaren wordt een zeespiegelstijging van enkele tot vele meters verwacht. Die termijn valt echter buiten de analyse in dit rapport.

De effecten van klimaatverandering in Nederland zijn op dit moment beperkt

Er zijn momenteel geen ernstige problemen in Nederland die door klimaatverandering zijn veroorzaakt. Het klimaat verandert wel:

- de vorige eeuw is de temperatuur gestegen met circa 0,7 °C wereldwijd en in Nederland met circa 1 °C;
- de zeespiegel aan de Nederlandse kust kent al een autonome stijging van circa 20 cm per eeuw als gevolg van klimaatveranderingen (smelten van landijs en gletsjers en uitzetten van zeewater door temperatuurverhoging) en van bodemdaling;
- de rivierafvoeren veranderen: hogere winterafvoeren en lagere afvoeren in droge perioden; de invloed van klimaatverandering hierin is aannemelijk;
- de jaargemiddelde neerslag in Nederland neemt toe en er is een tendens in de richting van meer regendagen en ook vaker extreme neerslag.

In het waterbeleid wordt gedeeltelijk al rekening gehouden met klimaatverandering door geplande en deels uitgevoerde of in uitvoering zijnde technische maatregelen (bijvoorbeeld dijkverhoging, uitbreiding van gemaalcapaciteit, zandaanvulling aan de kust) en ruimtelijke maatregelen (bijvoorbeeld de inrichting van bergingsgebieden en de maatregelen vastgelegd in de beleidsnota 'Ruimte voor de Rivier').

Klimaatverandering heeft wereldwijd nu al gevolgen voor de natuur. Circa 80% van waargenomen veranderingen in gedrag en vóórkomen van planten en dieren in allerlei gebieden van de wereld zijn consistent met de verwachte reacties op klimaatverandering. De effecten van temperatuurstijging zijn overal in de Nederlandse natuur waar te nemen:

- planten en dieren verhuizen noordwaarts,
- de lente begint vroeger,
- relaties in de voedselketen raken verstoord,
- voedselketens in de Noordzee en Waddenzee veranderen aan de basis: het plankton, met als gevolg veranderingen hoger in de voedselketen: lage reproductie vissen, achteruitgang vogels, verhuizen bruinvissen; de veranderingen in het ecosysteem vinden mogelijk sprongsgewijs plaats.

Economische effecten op de landbouw zijn nog niet aantoonbaar. Wel zijn er signalen dat de risico's op landbouwschade toenemen (wateroverlast, droogte, insecten). Effecten op andere economische sectoren beperken zich momenteel tot een verhoging van de piekvraag naar water in droge perioden, koelwaterproblemen en beperkingen voor de scheepvaart bij lage rivierafvoeren.

Effecten zullen in de komende decennia sneller toenemen

Het klimaat zal sneller gaan veranderen:

- de mondiaal gemiddelde temperatuur zal zeer waarschijnlijk nog verder stijgen (1 – 6°C in honderd jaar); ook in Nederland wordt deze stijging verwacht; de kans op droge en extreem warme zomers, zoals die van 2003, neemt toe; de kans op extreem koude winters neemt af, al zal een Elfstedentocht incidenteel mogelijk blijven;
- wereldwijd wordt een toename van de gemiddelde en extreme neerslag verwacht, maar de regionale verdeling is erg onzeker; in Nederland krijgen de winters meer neerslag en worden de zomers vermoedelijk droger; er is een toenemende kans op extreme lokale buien met wateroverlast;
- bij verdere temperatuurstijging is een versnelde zeespiegelstijging en grotere dynamiek in rivierafvoeren (meer dan nu) zeer waarschijnlijk. Tegen het eind van deze eeuw zal de zeespiegel 20 tot 110 cm zijn gestegen. Deze bandbreedte geeft aan hoe groot de onzekerheden nog zijn. Recent onderzoek wijst op een stijging, die meer aan de bovenkant van die bandbreedte zit, of mogelijk daarboven ligt.

Natuur

De voortgaande klimaatverandering zal in de toekomst meer effecten hebben op de natuur dan nu al zichtbaar zijn. Klimaatverandering geeft extra stress op de natuur, die al onder druk staat door visserij en door vermesting, verdroging, verlies en versnippering van het leefgebied. Het tempo van de temperatuurstijging is voor veel planten en dieren waarschijnlijk te hoog om zich te kunnen aanpassen of te kunnen verhuizen. Algemeen voorkomende planten en dieren zullen zich zeer waarschijnlijk uitbreiden; gevoelige soorten hebben een extra grote kans op uitsterven in Nederland. Dit resulteert waarschijnlijk in een afnemende soortenrijkdom in Nederland.

Landbouw

Klimaatverandering zal leiden tot zowel positieve als negatieve effecten op de landbouwproductie en de landbouweconomische situatie in Nederland. Factoren die een positief effect kunnen geven zijn: de gemiddeld hogere CO₂-concentratie en temperatuur en de verlenging van het groeiseizoen; ook de verslechterende situatie in de zuidelijke landen van Europa biedt voor de Nederlandse landbouw extra kansen. De negatieve effecten nemen toe naarmate extreme weers- en klimaatomstandigheden vaker vóórkomen of langer aanhouden (wateroverlast en droogte).

Watergebruikers

Door de hogere frequentie van droge jaren en lage rivierafvoeren, zullen koelwaterproblemen en scheepvaartbeperkingen bij ongewijzigd waterbeheer (= geen adaptatie) toenemen. Dit wordt versterkt door de grotere watervraag in droge perioden. De drinkwaterproductie en de toevoer van irrigatiewater voor de landbouw krijgen te maken met zoutindringing in droge perioden, met een hoger zoutgehalte van het oppervlaktewater bij inlaatpunten en met hogere temperaturen.

Gezondheid

Temperatuurstijging door klimaatverandering kan in Nederland in extreme situaties (hitte) een directe negatieve invloed hebben op de menselijke gezondheid. Mogelijke gezondheidseffecten voor Nederland zijn: problemen door hittestress, toename van de verspreiding van de ziekte van Lyme, effecten van slechte luchtkwaliteit (zomersmog) en een toename in allergieën. Risicogroepen in de bevolking (zoals ouderen, kinderen of mensen met astma) kunnen mogelijk sterkere effecten ondervinden (een grotere ziektelast). De omvang van de klimaateffecten op de gezondheid is **NOG onvoldoende** gekwantificeerd, maar is waarschijnlijk niet heel erg groot; opletendheid blijft echter geboden.

Toerisme / recreatie

Temperatuurstijging zal vermoedelijk zorgen voor een verbetering en verlenging van het zomerseizoen in Noord-Europa en een toename van de toeristische en recreatieve activiteiten die buitenshuis plaatsvinden. Niet alleen zal ons land qua klimaat aantrekkelijker worden voor buitenlandse vakantiegasten, ook zullen Nederlanders door het betere weer eerder geneigd zijn de vakantie in eigen land door te brengen. Klimaatverandering zal de groei van de vraag naar recreatie- en natuurgebieden verder kunnen versterken. De kwaliteit van het zwemwater zal echter door oplopende temperatuur achteruitgaan (als geen extra beheersmaatregelen worden getroffen), onder andere door meer bloei van (toxische) blauwalgen; de gezondheid van zwemmers kan hierdoor in gevaar komen.

De komende tientallen jaren kan Nederland de negatieve gevolgen van klimaatverandering waarschijnlijk wel opvangen. De positieve tendensen bieden enige mogelijkheden, vooral voor de landbouw en de recreatiebranche. De wijze waarop in het watersysteem wordt gereageerd op de komende klimaatveranderingen heeft grote gevolgen voor andere belangen. De kosten voor het aanpassen van onze maatschappij aan het veranderende klimaat en de mogelijke baten zijn nog maar zeer ten dele in kaart gebracht.

In de tabel zijn de belangrijkste bevindingen nogmaals compact weergegeven, waar mogelijk kwantitatief.

Effecten in de tweede helft van deze eeuw en daarna zijn niet probleemloos

Naar verwachting zullen klimaatveranderingen in de tweede helft van deze eeuw en daarna doorgaan. De thans optredende klimaatverandering werkt nog eeuwen door, vooral in de zeespiegelstijging (uitzetting door temperatuurverhoging). Op die zeer lange termijn worden zeespiegelstijgingen van enkele tot vele meters verwacht. Laag-Nederland krijgt hier steeds meer last van. Het is de vraag of met conventionele technieken de veiligheid op het huidige niveau kan worden gehouden. De opgave wordt versterkt door de combinatie met mogelijk verder verhoogde piekafvoeren van de Rijn en de Maas en een voortgaande bodemdaling.

De consequenties van klimaatverandering voor natuur, landbouw, recreatie, andere belangen en gezondheid in Nederland zijn op die lange termijn moeilijk concreet aan te geven. Het is wel duidelijk, dat in Nederland de natuur er heel anders uit zal zien dan nu. Ook de landbouw zal zich ongetwijfeld hebben aangepast aan de veranderingen door teeltkeuze en -methoden. Voor landbouw en andere economische sectoren geldt echter dat andere (economische en maatschappelijke) ontwikkelingen waarschijnlijk belangrijker zijn. Aan temperatuur gerelateerde gezondheidseffecten kunnen een significante omvang krijgen.

De effecten van klimaatveranderingen kunnen op veel plaatsen buiten Nederland veel ingrijpender zijn dan hier. Dat zal in toenemende mate invloed hebben op de Nederlandse samenleving.

Tabel: Overzicht klimaatontwikkelingen en effecten in Nederland

Onderwerp	Aspect	Huidig	Toekomstverwachting (ca. 2040 en later)
Klimaat en weerfactoren	Temperatuur	Gemiddeld	+ 1°C (sinds 1900; vooral sinds 1975)
		Extreem, hitte	3x zoveel warme dagen (sinds 1900)
	Neerslag	Extreem, koude	0,5 x zoveel koude dagen (sinds 1900)
		Gemiddeld (grote variabiliteit)	Ca. 20% meer (sinds 1900)
Water-huishouding	Neerslag	Neerslag extreem, buien	>50% meer dagen met > 15, 20 of 25mm buien
		Neerslag extreem, droogte	Waarschijnlijk meer en langere droge perioden
	Verdamping	Zomer	Evenredig met temperatuurtoename
		Wind	Zeer waarschijnlijk afname aantal stormen (vanaf 1962)
Natuur	Zeespiegel-stijging		+ 20 cm (sinds 1900) door smelten (landijs, uitzetten zeeewater en bodemdaling)
		Rivier-afvoeren	Gemiddeld hogere afvoeren
	Water-overlast	Winter	Maatgevende afvoer gestegen (Rijn: van 15.000 m ³ naar 16.000)
		Zomer	Gemiddeld lagere afvoeren
Natuur	Water-overlast		Gemiddelde maandafvoer tot 50% minder (2050)
			Winter hoger; Fluctuaties groter
	Neerslag-tekort	Regionaal	Waarschijnlijk frequenter (laatste jaren)
		Droogte	Zeer variabel
Temperatuur atmosfeer	Gemiddeld warmer voorjaar	Vroeg lente: bijv. eilegdatum, verschijnen dieren, bloei voorjaarsplanten toe	
	Gemiddeld warmer en meer extremen	Noordwaartse verhuizing soorten, toename zuidelijke en algemeen voorkomende, afname noordelijke en specifieke soorten	
Natuur	Temperatuur atmosfeer		Verder verhuizing mobiele soorten
			'Klimaatverplaatsing' van 400 km per eeuw voor veel soorten te snel, uitsterven soorten

Onderwerp	Aspect	Huidig	Toekomstverwachting (ca. 2040 en later)
	Water-temperatuur	Zeewater warmer	Verdere verschuivingen met mogelijk (grote) sprongsgewijze veranderingen in ecosystemen
Landbouw	Groei seizoenen	Langer seizoen: ±3 weken in 25 jaar	Doorgaande verlenging; hogere opbrengsten; kansen voor andere gewassen;
	Wateroverlast	Frequenter schade	Doorgaande ontwikkeling
	Droogte	Frequenter schade	Doorgaande ontwikkeling
	Ziekten / plagen	Komen vaker voor	Grotere potentiële oogstverliezen
Recreatie	Zomer	Verlenging Nederlandse toeristenseizoenen; meer perioden met goed weer	Nederland aantrekkelijker voor vakantie; Zuid-Europa te heet in de zomer
	Zwemwater	Warmte	Toename van infecties
	Winter	Schaatsen afgenomen; Skiën	Verdere afname kans ijsperiode (minder snel)
			Verder afname skiseizoen en -gebied in Alpen
Bedrijven	Scheepvaart	Incidentele beperkingen bij droogte	Door verdere afname lage afvoeren, grotere beperkingen (kosten)
	Koelwater	Temp. Rijn +3°C (sinds 1900); 1/3 door klimaat; incidentele beperking inname	Kans op beperkingen in droge, warme jaren aanzienlijk
Gezondheid	Temperatuur	Gemiddeld	Doorgaande ontwikkeling
		Extremen	Hittesterte neemt verder toe; koudsterfte neemt af
	Lyme	Tekenbeten en rode vlekken verdubbeld in 10 jaar	Verdere toename
	Malaria Allergieën	Nihil	Kans klein
		Waarschijnlijk lichte toename	Waarschijnlijk verdere toename

1 INLEIDING

Onze samenleving en de natuur zijn gevormd door het klimaat. We bouwen onze huizen en onze omgeving om daar zo comfortabel en veilig mogelijk mee om te gaan. Boeren kiezen gewassen en richten hun land in, zodat ze optimaal kunnen profiteren van de mogelijkheden die het klimaat biedt. We gaan op vakantie met verwachtingen over temperatuur, neerslag en wind. Planten en dieren zijn aangepast aan het klimaat waarin ze moeten overleven en zich voortplanten. Ons natuurbeheer is daarop ook weer aangepast. Enzovoorts.

Als er zich dan omstandigheden voordoen die sterk afwijken van de verwachtingen (temperatuur, neerslag, wind) dan vragen we ons af of het uitzonderlijk is, of dat we daar in de toekomst meer rekening mee moeten houden. Zo ja, dan is het waarschijnlijk goed om onze omgeving of ons handelen daarop aan te passen: dat noemen we adaptatie. Dat doet de mensheid al zolang we bestaan, maar meestal op basis van opgedane ervaringen. Het klimaat verandert immers steeds. Vooruitkijken doen we pas relatief korte tijd en dan nog steeds met grote onzekerheden omgeven. Adaptatie aan *verwachte* klimaatveranderingen zal de komende tijd meer en meer ter discussie komen. Kunnen we het ons permitteren om er geen rekening mee te houden en de veranderingen afwachten? Is het verantwoord om te investeren als de onzekerheid over de veranderingen nog zo groot is? Deze en andere vragen zijn de komende tijd aan de orde. Dit rapport kan een bijdrage leveren aan de discussie. Op de mogelijkheden voor adaptatie gaat dit rapport alleen in als adaptatie al plaatsvindt (zoals bij bescherming tegen overstromingen). Nederland kent momenteel geen samenhangend adaptatiebeleid. Het rapport geeft geen evaluatie van het beleid op dit gebied, maar een samenvatting van de kennis over klimaatverandering en de effecten ervan in Nederland.

Naar de oorzaken van klimaatverandering is veel wetenschappelijk onderzoek gedaan. Over de betekenis van dit onderzoek worden verhitte debatten gevoerd. Het overgrote deel van de wetenschappelijke wereld concludeert (zoals samengevat in de rapporten van het Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) dat de mens de laatste tientallen jaren een belangrijke bijdrage levert. Maar sommigen blijven twijfelen. Niet alle processen, die ons klimaat bepalen, zijn volledig en in samenhang begrepen. Voor dit rapport is dat echter van minder groot belang. Het klimaat verandert; dat doet het altijd al. Uit metingen is de huidige snelheid van verandering redelijk goed vast te stellen. Van belang voor het schatten van toekomstige gevolgen is, welke bijdrage menselijke invloed hieraan geeft. Daarover lopen de meningen nog flink uiteen, wat resulteert in een tamelijk brede band van onzekerheid in voorspellingen over toekomstig klimaat. Die onzekerheden worden nog versterkt doordat naar de effecten in Nederland wordt gekeken. Regionale en lokale klimaatverwachtingen zijn nog minder zeker dan wereldgemiddelde. Omdat dit rapport zich in hoofdzaak tot de niet al te verre toekomst beperkt (ca. 2050), zijn de onzekerheden minder groot (zie ook Kader A over onzekerheden). Hoe zwaar ook wordt ingezet op vermindering

van de menselijke invloed op het klimaat, door de traagheid van het systeem zullen de gevolgen van de sterk verhoogde concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer nog lang voor effecten zorgen in onze omgeving.

De berekende effecten zijn vaak geen *voorspellingen*, maar zijn gebaseerd op *scenario's*. Een scenario is 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 daarvan de waarschijnlijkheid kan worden aangegeven.

In hoofdstuk 2 komt het klimaatsysteem zelf aan de orde. In vogelvlucht wordt de ontwikkeling geschetst van het mondiale klimaat over een zeer lange periode en over de laatste tientallen jaren. Daarna wordt ingezoomd op Nederland. Bij de verwachtingen voor de komende decennia is een onderscheid gemaakt tussen zomer en winter. De verwachtingen zijn gebaseerd op inzichten in het klimaatsysteem en resultaten van modelberekeningen. Daarin zitten aannamen over onzekere processen, bijvoorbeeld over de Golfstroom of over de snelheid van afsmelten van ijskappen. Andere, minder waarschijnlijke, aannamen zouden tot onaangename klimaatverrassingen kunnen leiden. In aparte kaders komen enkele van die verrassingen en de onzekerheden in klimaatmodellen aan de orde. Misschien zal daar in de toekomst rekening mee moeten worden gehouden.

Dit zijn ontwikkelingen die elke Nederlander raken. In de daarna volgende hoofdstukken ligt het accent bij bepaalde groepen van de bevolking: inwoners van het lage gedeelte van Nederland, water- en natuurbeheerders, landbouwers, recreanten, enkele groepen uit het bedrijfsleven en kwetsbare groepen in de bevolking. Daarmee liggen accenten ook telkens bij andere verschijnselen die samenhangen met klimaatverandering. Op enkele plaatsen geven kaders nadere uitleg over bijzondere onderwerpen. Vooraf is in de samenvatting een dwarsdoorsnede gegeven van de belangrijkste punten uit de hoofdstukken.

Dit rapport beschrijft een breed terrein aan effecten. Het is bedoeld om leesbaar te zijn voor een breed publiek. Dat heeft invloed op de wijze van presentatie: relatief veel illustraties en geen wetenschappelijke uitwerkingen. Voor dat laatste zijn aan het eind van het rapport per hoofdstuk en ook bij de figuren verwijzingen opgenomen naar de achterliggende literatuur. De teksten zijn vaak beperkt gehouden tot toelichtingen bij en conclusies uit de figuren. De figuren zijn vrijwel zonder uitzondering uit eerdere rapporten overgenomen (soms bewerkt voor het doel van dit rapport).

In het rapport staat de huidige stand van de kennis over de effecten van klimaatverandering in Nederland. Het is tot stand gekomen dankzij de inbreng van de verzamelde kennis van een reeks van instellingen. Door de beperkte beschikbare doorlooptijd is het niet mogelijk geweest om te starten vanuit gezamenlijke uitgangspunten. De bestaande rapporten zijn veelal gebaseerd op dezelfde KNMI-klimaatscenario's waardoor er toch een grote mate van samenhang in de resultaten bestaat. Niettemin zijn

niet altijd exact dezelfde uitgangspunten gebruikt. Waar mogelijk is dit aangegeven. Voor zover dat de conclusies beïnvloedt, is er melding van gemaakt.

Kader A Uitspraken over klimaat zijn altijd onzeker

Conclusies over klimaatverandering en over de (mogelijke) effecten zijn mogelijk, als een min of meer samenhangend beeld bestaat van het functioneren van het complexe klimaatsysteem. Waarnemingen aan onderdelen van dit systeem zijn het uitgangspunt. Deze zijn verspreid over de tijd en de ruimte. Ze krijgen betekenis in modellen en tijdreeksanalyses. De keuze voor een model bepaalt voor een deel de conclusies. Er zijn vaak verschillende modellen die tot uiteenlopende conclusies leiden. We hebben ook te maken met onzekerheid ten gevolge van het chaotisch gedrag van het klimaatsysteem (gevoeligheid voor beginvoorwaarden bij berekeningen) en onzekerheid in externe invloeden (zon, vulkanen, emissies). Een deel van de analyses gaat in op de *variabiliteit* van het klimaat in ruimte en tijd. Hoe gedetailleerder deze analyses zijn, des te kleiner is de reeks gegevens waarop conclusies kunnen worden gebaseerd. Dit leidt veelal tot een grotere onzekerheid in uitspraken. Zo kan met veel minder stelligheid een uitspraak worden gedaan over de ontwikkeling van de kans op een extreem zware regenbui in het Westland in de maand juli, dan over de ontwikkeling van de gemiddelde jaarlijkse neerslag in Nederland.

Er is nog weinig systematisch onderzoek gedaan naar de voorspelbaarheid van het klimaat. In scenario-onderzoek verkennen onderzoekers hoe een systeem reageert bij verschillen in aannamen. Een scenario is daarbij een min of meer samenhangend stelsel van aannamen over ontwikkelingen van factoren die buiten de rekenmodellen vallen. De onzekerheden in deze analyses

nemen doorgaans sterk toe bij een verder weggeliggende tijdhorizon en verderop in causale ketens (voor de effecten dus). Een grotere spreiding in de waarden voor scenariovariabelen verhoogt de bandbreedte in de uitkomsten. Dit is niet noodzakelijkerwijs hetzelfde als grotere onzekerheid. Aan scenario-uitkomsten kan doorgaans geen waarschijnlijkheid worden toegekend.

Klimaatverandering is slechts één van de factoren die de ontwikkelingen van de maatschappij en de natuur beïnvloeden en lang niet altijd de belangrijkste. Om de conclusie te kunnen trekken dat klimaatverandering (deels) verantwoordelijk is voor waargenomen veranderingen, zullen ontwikkelingen met en zonder klimaatverandering moeten worden berekend en vergeleken.

Het Milieu- en Natuurplanbureau hanteert een richtlijn voor het omgaan met onzekerheden. Deze is geënt op het werk van het IPCC (Tabel A1). De waarschijnlijkheden zijn lang niet altijd gebaseerd op berekeningen. Vaak speelt de mening van deskundigen een belangrijke rol. Subjectiviteit is daarbij niet uit te sluiten. Het voorliggende rapport is geschreven op basis van eerder uitgebrachte publicaties van verschillende instellingen. Niet altijd is duidelijk hoe daarin met onzekerheden is omgegaan. Om die reden is de richtlijn niet altijd strikt te volgen. Voor zover mogelijk is bij het schrijven toch rekening gehouden met de benamingen zoals in Tabel A1. Zo zijn aanduidingen als 'waarschijnlijk' zo consistent mogelijk gebruikt en gerelateerd aan de orde van grootte van de berekende of geschatte kans van voorkomen.

Tabel A1 Verbale equivalenten voor waarschijnlijkheidsintervallen.

Benaming	Kans (procent)
Nagenoeg zeker	Meer dan 99% kans (dat doel bereikt wordt)
Zeer waarschijnlijk	90-99% kans
Waarschijnlijk	66-90% kans
Fifty-fifty ¹⁾	33-66% kans
Onwaarschijnlijk	10-33% kans
Zeer onwaarschijnlijk	1-10% kans
Nagenoeg uitgesloten	Minder dan 1% kans

1) De term 'mogelijk' leidt tot verwarring, omdat deze term betrekking heeft op alle waarschijnlijkheden / kansen >0.

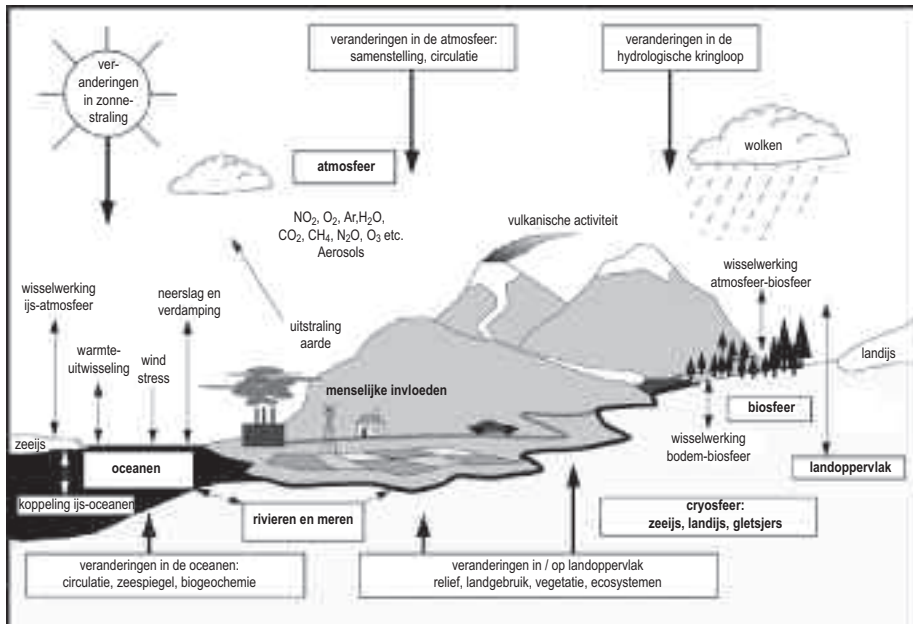
2 HOE VERANDERT HET KLIMAAT IN NEDERLAND?

Kernboodschappen:

- Het klimaat verandert. De temperatuurstijging in de 20e eeuw was ca. 0,7 °C wereldwijd, in Nederland ca. 1 °C. De temperatuur stijgt deze eeuw zeer waarschijnlijk verder.
- De jaargemiddelde neerslag in Nederland is toegenomen; er is een tendens naar meer dagen met extreme neerslag. Verdere toename van gemiddelde en extreme neerslag wordt verwacht; de geografische verdeling is onzeker. De kans op extreme lokale buien met wateroverlast wordt groter.
- In Nederland komt zeer waarschijnlijk 's winters meer neerslag. Door hogere verdamping worden zomers zeer waarschijnlijk droger.
- De kans op droge en extreem warme zomers (zoals 2003) neemt toe. De kans op extreem koude winters neemt af. Een Elfstedentocht blijft echter mogelijk.

2.1 Het klimaatsysteem

Figuur 2.1 geeft een schematisch overzicht van het klimaatsysteem. Dit omvat de atmosfeer, de oceaan, de ijsbedekking en het land. Naast fysische processen, spelen hierin ook chemische en biologische processen en hun onderlinge beïnvloeding een belangrijke rol. Er is de laatste tientallen jaren enorme vooruitgang geboekt bij de studie van dit complexe systeem. Het gedrag van zo'n systeem is nooit helemaal te



Figuur 2.1 Compartimenten van het klimaatsysteem (naar: IPCC, 2001).

begrijpen: er kunnen altijd onverwachte dingen gebeuren (zie KADER B: Klimaatverrassingen). Ondertussen is er veel bekend over de invloed van (veranderingen in) de samenstelling van de dampkring op het klimaat. Deze invloed geschiedt voor een groot deel via veranderingen in de energiehuishouding van het klimaatsysteem.

KADER B: Klimaatverrassingen

De laatste jaren groeit het besef dat het klimaatstelsel een aantal verrassingen in petto kan hebben. Dit inzicht is gebaseerd op paleoklimatologisch onderzoek en op modelstudies. Gegevens van ijsboorkernen en diepzeesediment tonen dat in de laatste honderdduizend jaar verschillende snelle klimaatveranderingen zijn opgetreden. Dit geldt in het bijzonder voor het Noord-Atlantisch gebied, maar er zijn ook aanwijzingen voor wereldwijde klimaatveranderingen.

Golfstroom zou kunnen afzwakken

Studies met oceaanmodellen en met gekoppelde atmosfeer/oceaanmodellen laten vergelijkbare snelle veranderingen zien bij grote verstoringen in temperatuur en/of de zoetwatertoevoer (door veranderingen in neerslag of smeltend landijs in het Noord-Atlantisch gebied). Het zeewater aan het oppervlak in deze regio wordt dan te licht om naar de zeebodem te zakken. Hiermee wordt de oceaancirculatie vertraagd, waardoor de warme Golfstroom verzwakt en warm water minder ver doordringt naar het Noorden. Delen van Europa zouden dan koudere tijden tegemoet gaan, aangezien ons klimaat sterk wordt bepaald door de warme Golfstroom. Geschat wordt, dat in geval van het volledig tot stilstand komen van de oceaancirculatie het klimaat in Europa 2 tot 5 graden afkoelt, afhankelijk van de uitbreiding van de ijsbedekking.

De kans op de verzwakking van de warme Golfstroom neemt toe met de stijging van de wereldgemiddelde temperatuur. De kans op het volledig stil vallen van de warme Golfstroom in de 21e eeuw wordt door het IPCC rapport (2001) zeer klein geacht. De gevolgen van het stilvallen van de Golfstroom zijn afhankelijk van het moment waarop het optreedt. Als het stilvallen van de warme Golfstroom deze eeuw zou optreden leidt het zeer waarschijnlijk (90-99% kans) tot een echte afkoeling in delen van Europa; als het pas in de volgende eeuw optreedt, is de verwachting dat de effecten van de mondiale opwarming domineren en dat het om een relatieve afkoeling gaat.

Ijskappen kunnen gaan afsmelten

Een tweede oorzaak van onvoorspelbare klimaatveranderingen is het mogelijk instabiel worden en vervolgens afsmelten van een groot deel van de ijskap van West Antarctica, waar genoeg ijs ligt opgeslagen om de zeespiegel 6 meter te laten stijgen. Het IPCC verwacht dat het ongeveer 5 tot 7 eeuwen duurt voordat geheel West-Antarctica in zee is verdwenen. Vertaald in een zeespiegelstijging is dit ongeveer een meter per eeuw bovenop de effecten van uitzetting van het oceaanaanwater.

De Groenlandse ijskap is op sommige plaatsen meer dan drie kilometer dik en bevat bijna drie miljoen kubieke kilometer ijs. Smelt deze grote hoeveelheid geheel weg dan stijgt de mondiale zeespiegel met zeven meter. In de zomer smelt normaal een (klein) deel van de Groenlandse ijskap af om in de winter weer aan te groeien. Dit afsmelten lijkt de laatste decennia steeds omvangrijker te worden. Volgens het IPCC kan een lokaal gemiddelde opwarming van ongeveer 3 graden leiden tot de start van een onomkeerbaar afsmelten van de Groenlandse ijskap over een periode van 1000 jaar of langer. Deze lokale opwarming kan al worden bereikt bij een mondiale opwarming van 1-3 graden. De snelheid van afsmelten is afhankelijk van de temperatuur, maar het proces is nog onzeker. Waargenomen is dat gletsjers steeds sneller in zee schuiven. Het is mogelijk dat het smeltwater als smeermiddel werkt voor het afschuiven van het gletsjerijs in zee en zo het opbreken van de ijskap versnelt. De bijdrage van Groenland aan de zeespiegelstijging zou om die reden deze eeuw wel eens veel groter kunnen zijn dan tot nu toe is aangenomen.

Permanent bevroren gebieden ontdooien

Door de opwarming van de aarde zullen permafrostgebieden ontdooien, waardoor veel broeikasgassen naar de atmosfeer kunnen ontsnappen. De kans hierop wordt groter naarmate de wereldgemiddelde temperatuur hoger wordt. Dergelijke processen bepalen mede de (on)voorspelbaarheid van het klimaat.

De energie in het klimaatsysteem is afkomstig van de zon. Wolken, aërosolen (kleine stofdeeltjes in de lucht), gassen en het aardoppervlak kaatsen direct 30% terug van de inkomende kortgolvlige straling. Die energie verdwijnt in het heelal en heeft dus geen invloed op het klimaat. De atmosfeer neemt 1/3 en het aardoppervlak 2/3 op van de resterende straling. Daardoor warmen ze op en zenden ze langgolvlige warmtestraling (infrarode straling) uit, die uiteindelijk weer in het heelal verdwijnt. Op die manier ontstaat een evenwicht tussen ingestraalde en uitgestraalde energie.

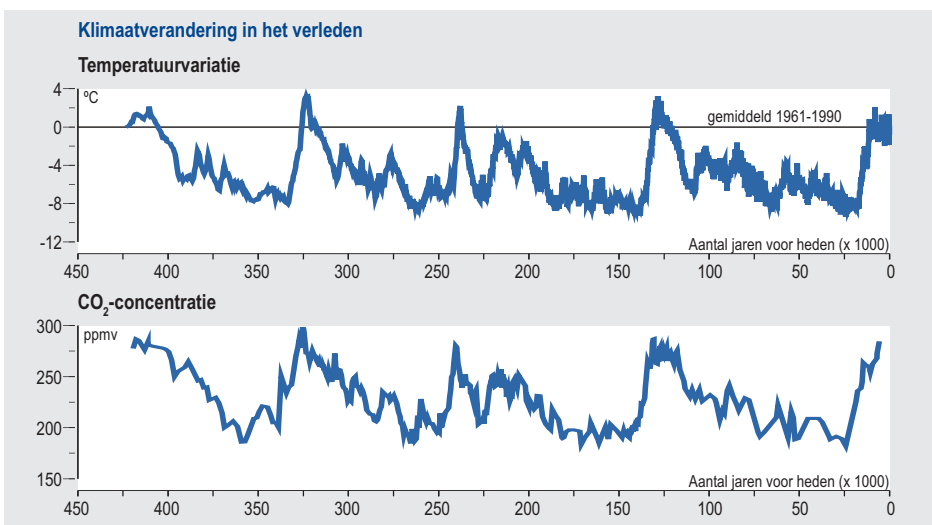
Het grootste deel van de warmtestraling vanaf het aardoppervlak wordt geabsorbeerd door de broeikasgassen in de atmosfeer en vervolgens voor een deel weer teruggekaatst. Daardoor is de oppervlaktetemperatuur hoger dan in een situatie zonder broeikasgassen. Dat is het natuurlijke broeikaseffect. Zonder het broeikaseffect zou de oppervlaktetemperatuur op aarde -18°C bedragen en was de aarde dus een dode planeet. De van nature aanwezige broeikasgassen verhogen die temperatuur tot $+15^{\circ}\text{C}$ en zijn dus van groot belang voor het leven op aarde zoals we dit kennen.

Behalve via straling vindt er tussen het aardoppervlak en de atmosfeer uitwisseling van energie plaats door de verdamping en condensatie van water (wolkenvorming) en opwaartse luchtstromen (ook wel bekend als thermiek of turbulente luchtbewegingen). Gemiddeld over de aarde en over het jaar koelen deze processen het aardoppervlak.

2.2 Klimaatveranderingen: het mondiale kader

Het verre verleden

Sinds het ontstaan van de aarde, ca. vijf miljard jaar geleden, zijn klimaatschommelingen een normaal verschijnsel. Een bekend voorbeeld is het optreden van ijstijden met



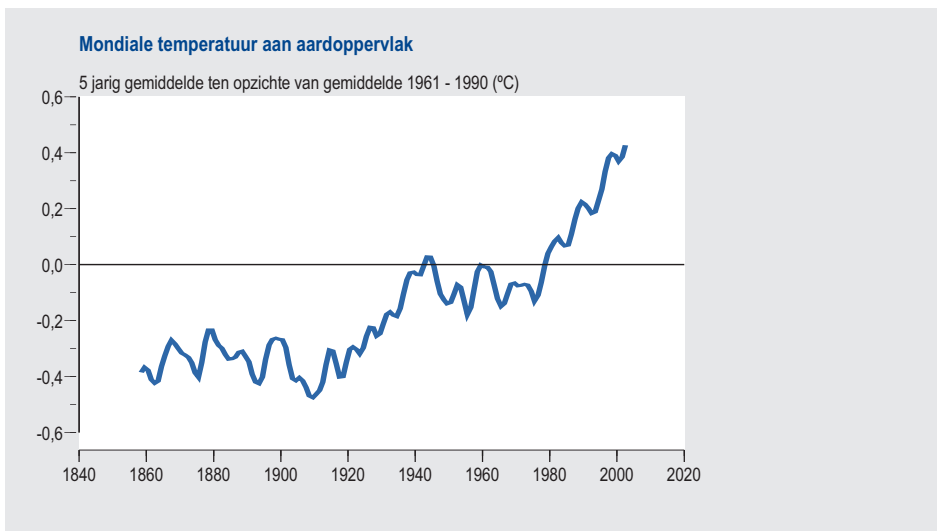
Figuur 2.2 Klimaatveranderingen in het verre verleden (IPCC, 2001).

tussenpozen van ongeveer honderdduizend jaar. De gemiddelde temperatuur van de aarde varieerde hierbij in de orde van 5 °C. Veranderingen in de concentraties van broeikasgassen en de mondiale temperatuur gingen daarbij in grote mate gelijk op (Figuur 2.2). Na het verstrijken van de laatste ijstijd, ca. 12000 jaar geleden, zijn er enkele snelle klimaatveranderingen opgetreden, die waarschijnlijk samenhangen met veranderingen in de oceaancirculatie, veroorzaakt door smeltend ijs. Daarna is het klimaat opvallend stabiel geworden, met schommelingen in de orde van één graad. In dit stabiele klimaat is de mens landbouw gaan bedrijven en hebben zich daarna vele beschavingen en tenslotte de moderne maatschappij ontwikkeld.

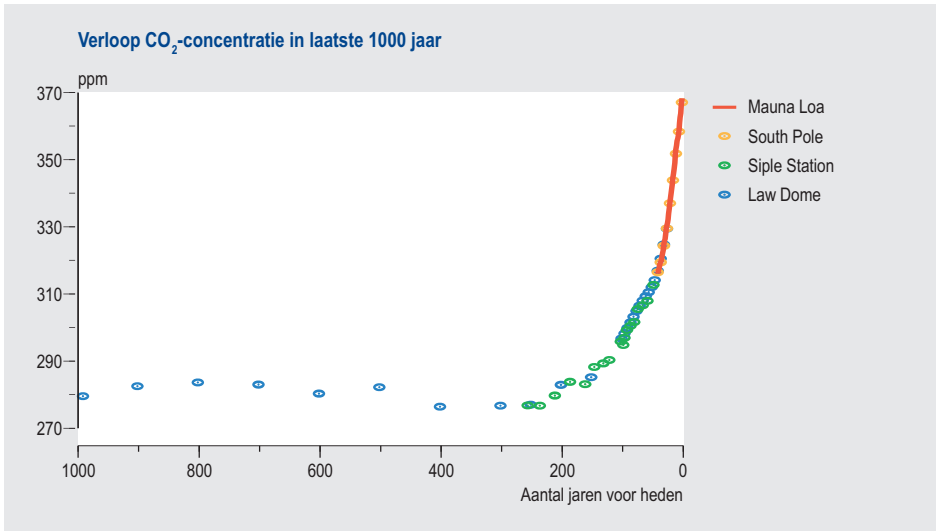
Het nabije verleden en heden: de aarde wordt warmer

De aarde wordt momenteel warmer. De wereldgemiddelde temperatuur aan het aardoppervlak is in de twintigste eeuw met ongeveer 0,7 °C toegenomen (Figuur 2.3). Deze opwarming is niet geleidelijk verlopen, maar is vooral tussen 1920-1945 en 1980-2000 opgetreden. Daarbij waren de jaren 1995, 1997, 1998, 2001, 2002 en 2003 de warmste jaren sinds 1860.

Sinds de industriële revolutie neemt ook de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer toe. De concentratie van CO₂, het belangrijkste broeikasgas, is toegenomen van 280 ppm (=delen per miljoen delen lucht) vóór 1800 tot 380 ppm nu (Figuur 2.4). Deze toename is vooral veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen, de productie van cement en grootschalige ontbossing. Andere menselijke activiteiten, zoals landbouw, veeteelt en gaswinning dragen ook bij tot de uitstoot van andere broeikasgassen zoals methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Luchtverontreiniging leidt via chemische reacties tot de vorming van ozon (O₃, ook een broeikasgas) nabij het aardoppervlak. Die andere gassen worden weliswaar in veel kleinere hoeveelheden in de



Figuur 2.3 De temperatuur op aarde is gestegen in de 20^e eeuw (Bron: Climate Research Unit, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/>).



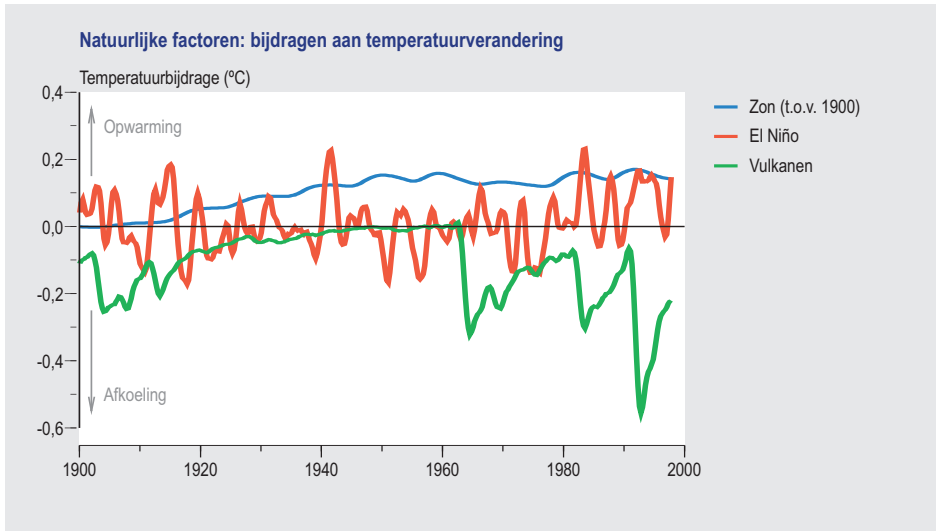
Figuur 2.4 Verloop van de CO₂-concentratie in de atmosfeer in de laatste 1000 jaar op verschillende plaatsen van de wereld (naar: IPCC 2001).

atmosfeer gebracht, maar hebben veelal ook een veel sterker broeikas effect dan CO₂. Het maakt niet veel uit waar de emissies plaatsvinden. Broeikasgassen mengen zich snel in de atmosfeer en verdwijnen slechts langzaam. Ze hebben een lange verblijftijd in de atmosfeer. De hogere concentraties broeikasgassen veroorzaken een versterkt broeikas effect, dat wil zeggen dat ze bijdragen aan de toename van de gemiddelde temperatuur van het aardoppervlak.

2.3 Oorzaken van recente klimaatverandering

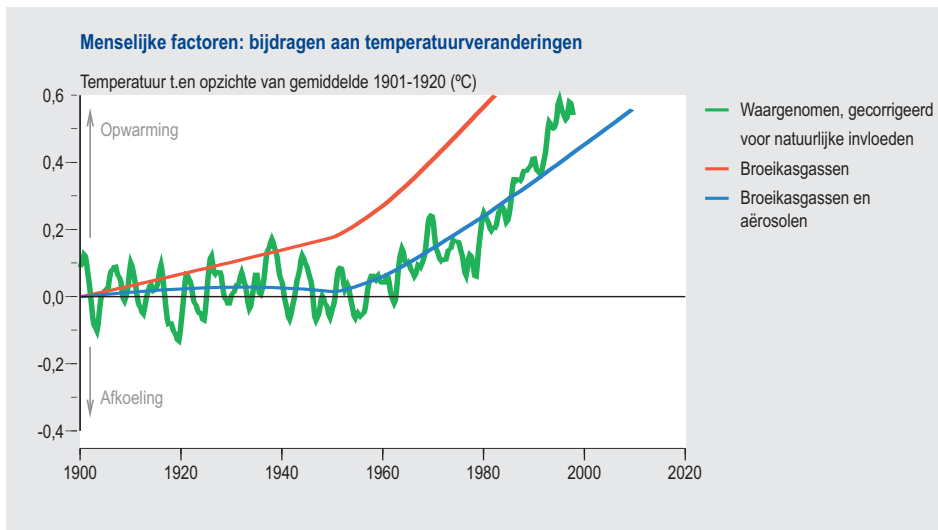
De waargenomen klimaatschommelingen in de twintigste eeuw kunnen worden verklaard door een combinatie van natuurlijke en menselijke oorzaken. Er zijn drie duidelijke natuurlijke oorzaken aan te wijzen (Figuur 2.5): vulkaanuitbarstingen, variaties in zonneactiviteit en El Niño.

Sterke vulkaanuitbarstingen, zoals die van de Pinatubo op de Filippijnen in 1991, blazen enorme hoeveelheden stof hoog de lucht in. Dit stof verblijft een paar jaar in de dampkring en kaatst zonlicht terug de ruimte in. Het aardoppervlak wordt daardoor wat koeler. Als gevolg van een variërende zonneactiviteit schommelt de hoeveelheid energie van de zon die de aarde bereikt een klein beetje. Dit heeft gevolgen voor de temperatuur op aarde. De derde natuurlijke factor is El Niño. Gemiddeld eens in de drie à zeven jaar is de zeevatertemperatuur in een gebied ten westen van Peru abnormaal hoog, met veranderingen in circulatiepatronen tot gevolg. Dit zorgt voor wereldwijde afwijkingen van het weer. Dit verschijnsel wordt El Niño genoemd. Het is van invloed op de wereldgemiddelde temperatuur.



Figuur 2.5 Schatting van natuurlijke klimaatschommelingen in de 20^e eeuw (Bron: Van Ulden en Dorland, 2000).

Vanaf 1950 tot het midden van de negentiger jaren hadden deze natuurlijke factoren per saldo een koelende invloed op het klimaat. Niettemin is de temperatuur sinds de jaren '80 fors gestegen. Dit komt (vooral) door de uitstoot van broeikasgassen. Maar de mens beïnvloedt het klimaat ook op een andere wijze. Aërosolen hebben over het algemeen een koelende werking en maskeren daarmee een deel van het opwarmende effect van de stijgende concentraties van broeikasgassen (Figuur 2.6). Er zijn ook



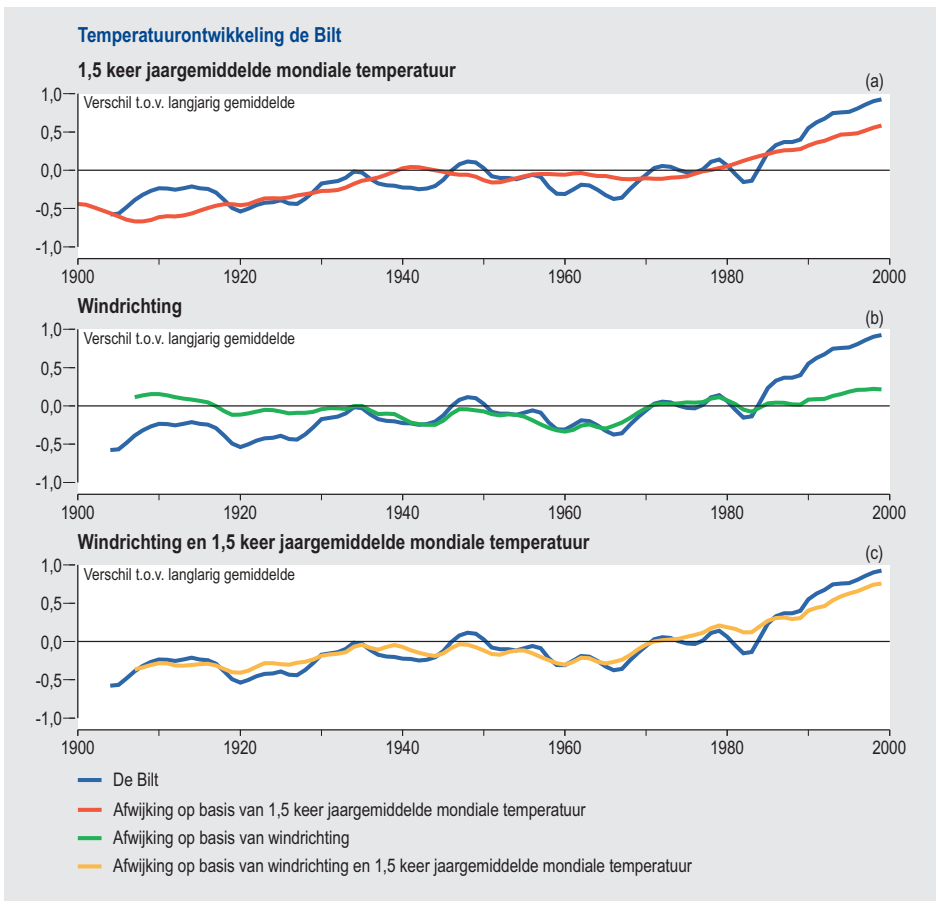
Figuur 2.6 De menselijke invloed op het klimaat neemt toe in 20^e eeuw eeuw (Bron: Van Ulden en Dorland, 2000).

aërosolen met een opwarmende werking (vnl. roet). Deze absorberen warmte en geven die weer af aan hun omgeving. Als gevolg van de bestrijding van luchtverontreiniging nam het overwegend koelende effect van aërosolen in de loop van de tijd af.

2.4 Klimaatverandering in Nederland

Temperatuur in Nederland sterker gestegen dan wereldwijd

De temperatuur in Nederland loopt gemiddeld over perioden langer dan tien jaar grotendeels parallel met de wereldgemiddelde temperatuur. (Figuur 2.7a). De laatste tientallen jaren was de temperatuurstijging in Nederland groter dan circa $1,5 \times$ het wereldgemiddelde. Het verschil hangt samen met veranderingen in de overheersende windrichting. De wind bepaalt de temperatuurvariatie van jaar tot jaar en zelfs van dag tot dag. Zo is in de winter een oostenwind, die lucht aanvoert over land, koud en een westenwind, die lucht aanvoert over zee, zacht. In de zomer is dit precies omgekeerd. Uit welke hoek de wind waait, hangt samen met de ontwikkeling van

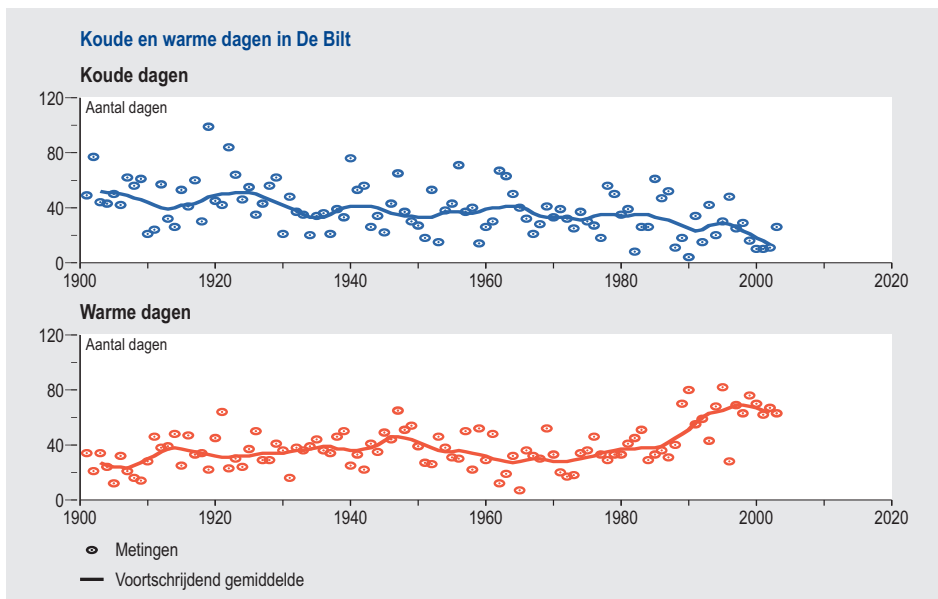


Figuur 2.7 Temperatuurverandering in Nederland (Bron: KNMI, 2003).

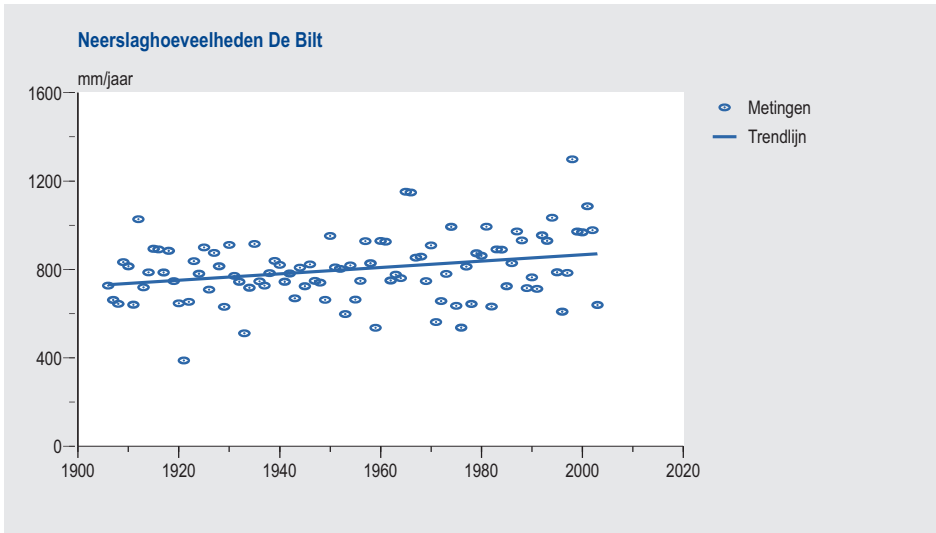
lage en hoge drukgebieden boven de Noord-Atlantisch oceaan, de zogenaamde Noord-Atlantische Oscillatie (NAO): de wisseling in luchtdrukverschillen tussen IJsland en de Azoren. Deze is bepalend voor luchtstromingspatronen boven de Noordzee en het Europese vasteland. Deze patronen zijn niet lang van tevoren te voorspellen.

De koude weertypen overheersten meer tussen 1940 en 1970. De eerste 10 en laatste 30 jaar van de vorige eeuw waren door toedoen van de wind beduidend warmer dan de wereldgemiddelde trend (Figuur 2.7b). In het bijzonder zijn de late winters en vroege lentes na 1980 aanmerkelijk warmer geworden door de toename van zuidwestelijke winden. Of deze toename van ‘warme’ winden in dit seizoen samenhangen met een menselijk invloed op het klimaat is nog onzeker. Over langere perioden vervagen de invloeden van de wind, al zijn ze niet verwaarloosbaar. De wereldwijde trend en de invloed van de overheersende windrichting verklaren in grote mate het waargenomen temperatuurverloop (Figuur 2.7c).

Ook temperatuurextremen laten voor Europa, inclusief Nederland een trend zien (Figuur 2.8). Het aantal koude dagen is in Nederland bijvoorbeeld aan het afnemen, terwijl het aantal warme dagen toeneemt, vooral na 1975. De trends lopen echter niet gelijk. De sterke opwarming van de afgelopen decennia gaat vooral gepaard met een toename van het aantal warme dagen en in mindere mate met een afname van het aantal koude dagen.



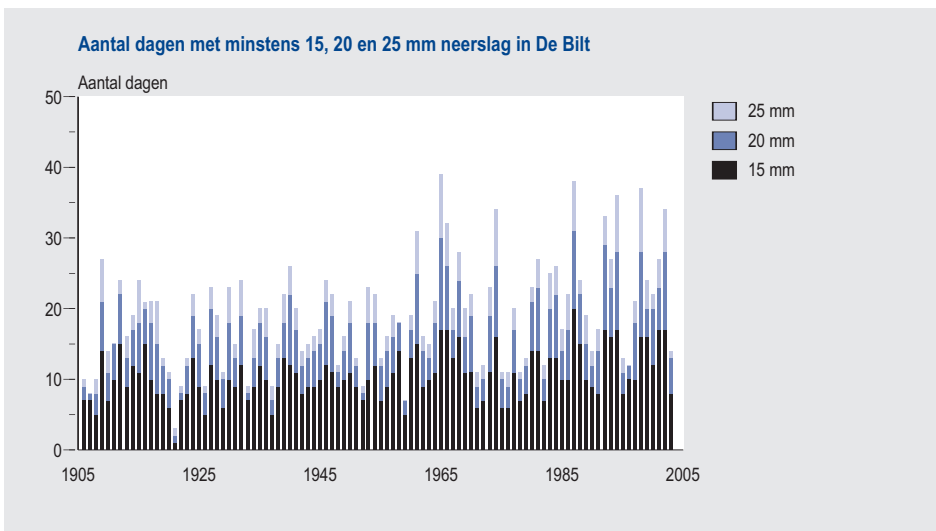
Figuur 2.8 Trend in koude en warme dagen in de loop van de 20^{ste} eeuw in De Bilt. Als grens voor zowel koud als warm is voor elke kalenderdag gekozen voor de temperatuur die maar op 10% van de dagen tussen 1961 en 1990 werd gepasseerd (Bron: KNMI, 2003).



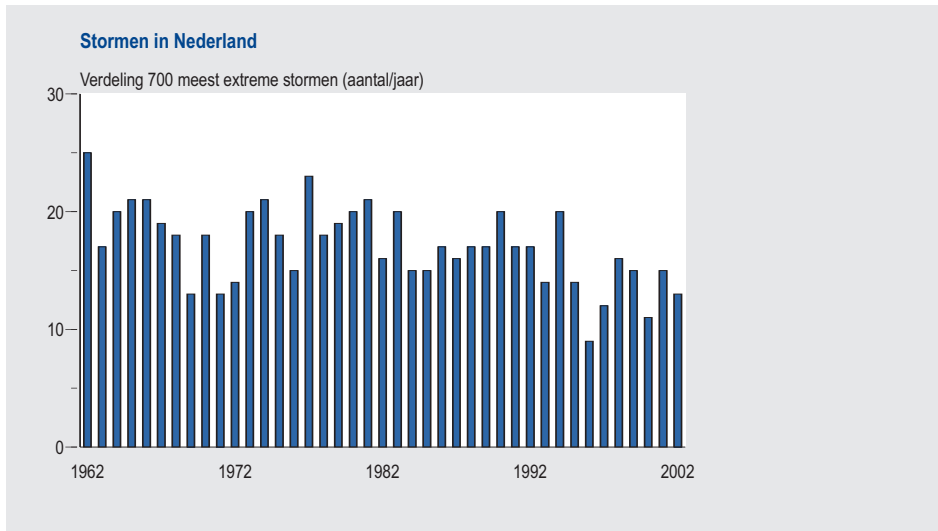
Figuur 2.9 Jaarlijkse neerslaghoeveelheid in De Bilt in het tijdvak 1906-2003; de lijn geeft de trend weer (Bron: Smits et al, 2004).

Neerslag neemt toe, vooral in de winter

Neerslag heeft van nature een grillig karakter. Dit betekent dat er grote variaties kunnen optreden in plaats en tijd. Voor De Bilt is de hoogste jaarlijkse neerslaghoeveelheid ruim 3 keer zo groot als de laagste (Figuur 2.9). Ondanks deze variabiliteit, is er een opgaande trend te zien in jaarlijkse neerslaghoeveelheid. Ook landelijk is deze trend zichtbaar, vooral door een toename van de gemiddelde neerslag in het winterhalfjaar. De neerslaghoeveelheid in het zomerhalfjaar is niet veranderd.



Figuur 2.10 Dagen met minstens 15, 20 en 25 mm neerslag (respectievelijk ± 11 , 6 en 3 keer per jaar) voor (Bron: Smits et al, 2004).



Figuur 2.11 Verdeling van de 700 meest extreme stormen in Nederland over de afgelopen 41 jaar (Bron: KNMI).

Meer nog dan bij temperatuur, zijn bij neerslag vooral de extremen van belang voor de effecten. Voor De Bilt zijn opgaande trends zichtbaar in het aantal dagen met flinke neerslag (Figuur 2.10). Op Nederlandse schaal is een dergelijke trend voor zeer intensieve regenval (> 50mm per dag) nog niet waarneembaar. Dit komt door het grillige karakter en de ruimtelijke verdeling van de buien. Het KNMI stelt echter dat het zeer waarschijnlijk is dat ook de zeer extreme neerslag in Nederland is toegenomen.

Minder stormen in Nederland

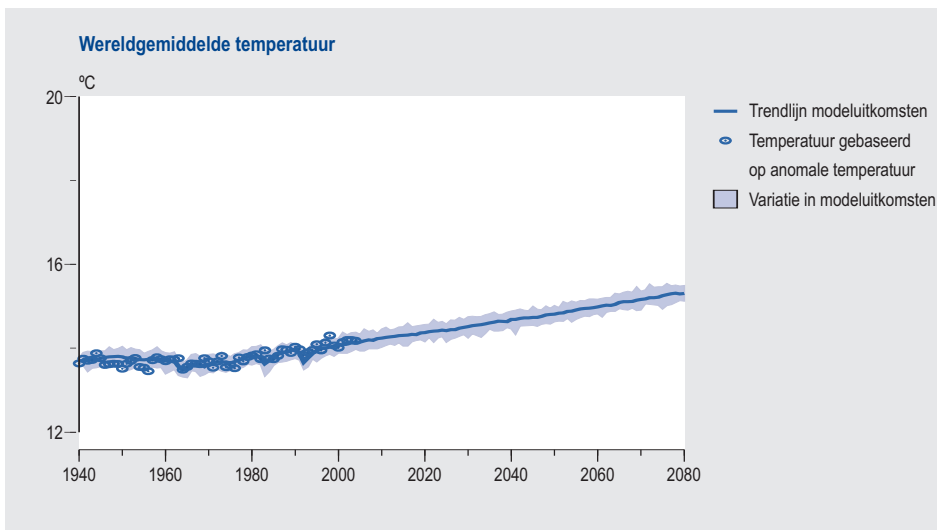
Vanaf 1962 is het aantal stormen per jaar afgenomen. Figuur 2.11 laat zien hoe de 700 meest uitzonderlijke gebeurtenissen zijn verdeeld over de afgelopen 41 jaar. De windsnelheid die hoort bij de getelde stormen ligt, afhankelijk van de plaats in het land, boven de 11 tot 16 m/s; dat komt overeen met een windkracht vanaf 6 à 7. Als bijvoorbeeld naar de 500 of 300 meest uitzonderlijke gebeurtenissen wordt gekeken (zwaardere stormen), dan verandert dit beeld niet. Het aantal stormen in Nederland neemt dus af. In hoeverre die ontwikkeling samenhangt met de opwarming is niet duidelijk.

2.5 Klimaatverwachtingen voor de 21e eeuw: mondiaal

Het klimaat in de wereld is veranderd. Maar hoe zal het zich in de toekomst ontwikkelen? Voor het maken van projecties van het klimaat in de 21^{ste} eeuw is het noodzakelijk een beeld te hebben van de toekomstige uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes. Dat beeld is uit de aard der zaak onzeker. In de klimaatwetenschap werkt men

daarom met scenario's, die alternatieve beelden schetsen van mogelijke ontwikkelingen die gezamenlijk de contouren schetsen van een denkbare toekomst. Door het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is in 2000 een 6-tal groepen van scenario's ontwikkeld van wereldwijde bevolkings-, sociaal-economische en technologische ontwikkelingen in de 21^{ste} eeuw. Al deze scenario's zijn ontwikkeld zonder dat klimaatbeleid is meegenomen. De ontwikkelingen leiden vervolgens tot verschillende emissies van broeikasgassen en klimaatverandering. Ondanks de spreiding in de emissiescenario's, nemen de hoeveelheden broeikasgassen in alle scenario's aanzienlijk toe. De verkoelende werking van stofdeeltjes neemt naar verwachting uiteindelijk af.

Het IPCC geeft aan dat de gebruikte scenario's kunnen leiden tot een stijging van de wereldgemiddelde temperatuur tot 2100 van 1,4 tot 5,8 °C ten opzichte van 1990. De bandbreedte hangt samen met de onzekerheid in voorspellingen van de toekomstige menselijke uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes en met onvolledige kennis van het klimaatsysteem (zie KADER C). Beide onzekerheden zijn van vergelijkbare grootte. In Nederland is in het kader van het Dutch Challenge Project (Centrum voor Klimaat Onderzoek, CKO) een groot aantal berekeningen uitgevoerd naar veranderingen in extreme weersituaties over het tijdvak 1940-2080 (Figuur 2.12). Hierbij is een gedetailleerd klimaatmodel gebruikt, dat op onderdelen aanzienlijk verschilt van andere modellen. De studie laat een stijging van de mondiale temperatuur zien van 1,5 °, dus aan de onderkant van de IPCC-bandbreedte. Het verschil is het gevolg van het hier gebruikte scenario (het zogeheten A1b scenario van IPCC, dat qua emissies een mid-scenario is) en de lage gevoeligheid van het klimaatmodel (zie Kader C).



Figuur 2.12 Wereldgemiddelde temperatuurontwikkeling voor het tijdvak 1940-2080. De invloed van grote vulkaanuitbarstingen zijn hierin duidelijk zichtbaar (Bron: http://www.knmi.nl/onderzk/CKO/Challenge_live/).

KADER C: Klimaatgevoeligheid en modelonzekerheid

De gevoeligheid van het klimaatsysteem voor een verandering van de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer wordt de klimaatgevoeligheid genoemd (uitgedrukt in °C mondiale temperatuurotoename bij een verdubbeling van de CO₂ (equivalente) concentratie in de atmosfeer).

De waarde van de klimaatgevoeligheid is onzeker en de bepaling ervan complex. Het is op basis van waarnemingen niet mogelijk om de waarde van de klimaatgevoeligheid goed af te bakenen. Het IPCC (2001) heeft een waarschijnlijkheidsrange voor de klimaatgevoeligheid van 1,5 tot 4,5 graden gehanteerd, met 2,5 graden als centrale schatting (Curve van Wigley en Raper). Inmiddels zijn er sinds het laatste IPCC rapport (2001) verschillende nieuwe studies verschenen die op basis van diverse methoden kansverdelingen hebben geconstrueerd voor de waarde van de klimaatgevoeligheid. De verdelingen laten zien dat de range van mogelijke waarden van de klimaatgevoeligheid groter is dan de IPCC range en dat er vooral een grotere kans is op grotere klimaatgevoeligheid.

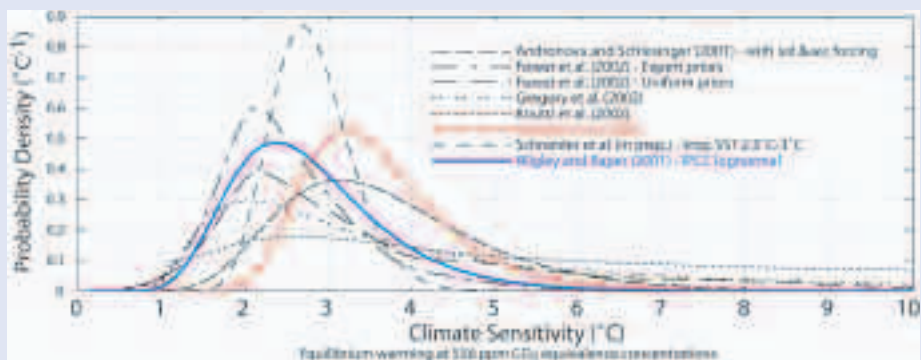
De achtergrond van de onzekerheid over de klimaatgevoeligheid is gelegen in de complexiteit van het klimaatsysteem. Het bepalen van het uiteindelijk temperatuureffect van de stijging in broeikasgasconcentraties vergt een zeer gedetailleerde kennis van het klimaatsysteem. Zo stijgt de temperatuur bij een verdubbeling van het CO₂-gehalte louter op grond van het stralingseffect met ongeveer 1,1 °C. Heel veel processen in de dampkring zijn echter temperatuurafhankelijk en kunnen een dergelijke temperatuurverandering zowel tegengaan als versterken. We noemen dit respectievelijk tegen-

koppeling en meekoppeling (of negatieve and positieve terugkoppelingen).

Vooraf eventuele veranderingen in de waterkringloop (hydrologische cyclus) koppelen sterk terug. Zo verwacht men een toename van de hoeveelheid waterdamp in de atmosfeer bij een temperatuurstijging. Dit versterkt het oorspronkelijke broeikaseffect van waterdamp met een factor 1,8. De temperatuurstijging door een verdubbeling van het CO₂-gehalte zou hiermee dus op ongeveer twee graden (=1,1 maal 1,8) komen. Maar wanneer in een warmer klimaat de waterdampstoename voornamelijk binnen de wolken plaatsvindt, wordt deze meekoppeling veel zwakker.

Een tweede terugkoppeling, die samenhangt met de waterkringloop, is de zogeheten ijs-albedo terugkoppeling. Bij een temperatuurstijging neemt het totale oppervlak van land en zee-ijs af, waardoor er minder zonnestraling door onze planeet wordt gereflecteerd. Dit geeft ook een extra temperatuurstijging.

Een derde terugkoppeling wordt mogelijkwerijs veroorzaakt door veranderingen van wolkeneigenschappen, zoals veranderingen in de gemiddelde hoogte van de basis en/of top, de hoeveelheid wolkenwater en de gemiddelde druppel en ijskristallengrootte. Er bestaat echter enorme onzekerheid over deze terugkoppelingen. Sommige modellen geven een verzwakking van de temperatuurrepons, andere een versterking. Verder zijn wisselwerkingen met de oceaanstromingen en de biosfeer mogelijk, zoals het opschuiven of veranderen van vegetatie.



Figuur C1 Kansverdelingfuncties voor de klimaatgevoeligheid (Bron: Hare and Meinshausen, 2004).

De opwarming van de aarde zal nagenoeg zeker de waterkringloop intensiveren, waardoor er mondiaal gemiddeld meer en heviger neerslag wordt voorzien. Het grillige karakter van veranderingen in neerslagpatronen maakt de verwachtingen onzeker. De verwachte toename zal waarschijnlijk vooral plaatsvinden op de gematigde breedten, terwijl in de subtropen juist een afname van de neerslag wordt verwacht. Voor Europa zal de kans op verdroging en extremere hitte toenemen. Vooral Zuid-Europa zal hiermee te maken krijgen met, bijvoorbeeld gemiddeld 20% afname van de zomerneerslag. Verder zal door de hogere zomertemperaturen in Zuid-Europa ook de verdamping toenemen, wat de droogte zal verergeren.

Dergelijke veranderingen gaan gepaard met toenemende verschillen van jaar tot jaar. Zee-ijs, gletsjers en landijs zullen zich waarschijnlijk verder terugtrekken, terwijl de ijsmassa van Antarctica, als gevolg van toename van de hoeveelheid neerslag, juist zou kunnen toenemen. Het niveau van de zeespiegel wordt verwacht te stijgen met minimaal 9 tot 88 cm. De stijging zou hoger kunnen uitkomen als grote ijsmassa's zoals die op Groenland gaan afsmelten. Er zijn aanwijzingen dat dit al zou kunnen gebeuren bij een wereldgemiddelde temperatuurstijging van 1-3 graden. Verder zal de zeespiegel na de 21^e eeuw, ook bij gelijkblijvende concentraties broeikasgassen, nog vele eeuwen doorstijgen. Uiteindelijk wordt afhankelijk van de temperatuurstijging op een termijn van duizend jaar een zeespiegelstijging van enkele meters verwacht.

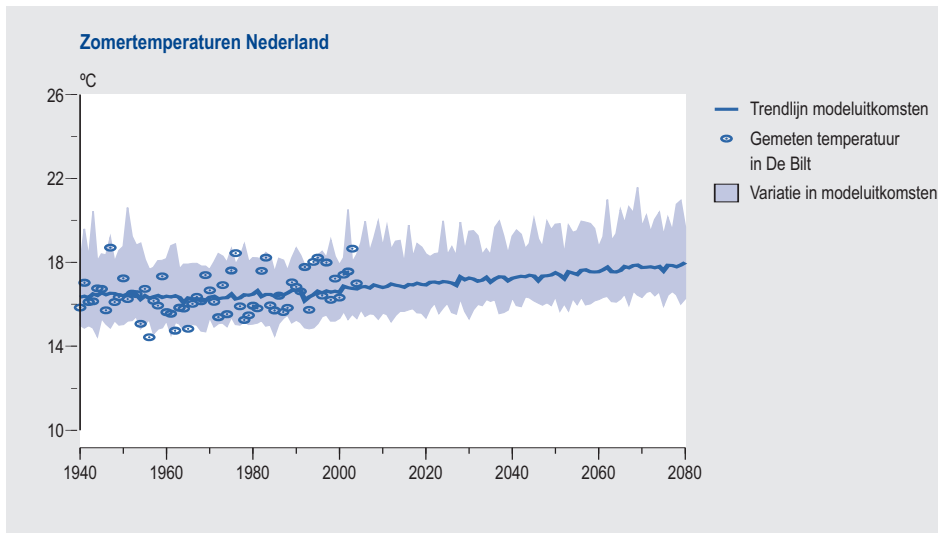
2.6 Klimaatverwachtingen voor Nederland

Voor de verwachtingen van klimaatverandering in Nederland is naast een mondiale trend ook inzicht nodig in regionale klimaatverwachtingen. Deze zijn extra onzeker omdat kleine ruimtelijke verschuivingen in klimaatpatronen al snel een groot verschil maken. Dit geldt in hoge mate voor veranderingen in neerslagpatronen en veranderingen in extremen. De komende jaren staan verbeteringen van regionale klimaatprojecties en inzichten in de verschuiving van extremen dan ook hoog op de onderzoeksagenda.

Stijging van gemiddelde temperatuur gaat door

Wat betreft temperatuur geven de huidige klimaatmodellen aan, dat de te verwachten stijging in Nederland nagenoeg in de pas loopt met de stijging van het wereldgemiddelde.

Figuur 2.13 laat zien dat er grote fluctuaties van jaar op jaar zijn in zowel de gemeten als ook berekende temperatuurreeks op weerstation De Bilt, gebaseerd op het eerder genoemde CKO-project. Vanaf de jaren negentig is een stijging zichtbaar in zowel de berekende als de gemeten tijdreeksen. Volgens de berekeningen stijgt de temperatuur in onze streken net zo snel als de wereldgemiddelde temperatuur: 1,5 graad in de komende 80 jaar. De stijging kan (veel) groter zijn bij andere veronderstellingen over de toename in concentraties broeikasgassen en gebruik van andere klimaatmodellen.



Figuur 2.13 De gemiddelde zomertemperatuur in een punt van het model dat een gedeelte van Nederland dekt (Bron: http://www.knmi.nl/onderzk/CKO/Challenge_live/).

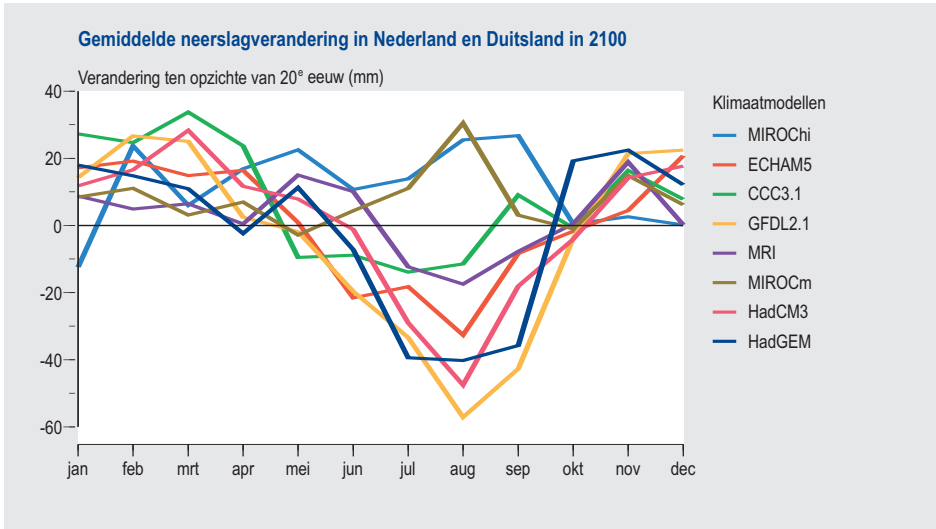
Verwachtingen voor de gemiddelde neerslag: meer regen

Uitgaande van de wereldgemiddelde temperatuurprojecties van het IPCC (2001) heeft het KNMI enkele jaren geleden een drietal scenario's ontwikkeld voor de neerslag in Nederland in het jaar 2100 (Tabel 2.1). Deze klimaatscenario's waren het uitgangspunt voor verkennende studies van de gevolgen van klimaatverandering in Nederland o.a. voor de afwateringsmogelijkheden. Zo wordt het nationale waterbeleid voor de 21e eeuw mede gebaseerd op deze inzichten (zie ook later in dit rapport). Deze scenario's laten een toename zien van zowel de winter- als de zomerneerslag. Verder heeft het KNMI recentelijk ook een droog scenario ontwikkeld, naar aanleiding van

Tabel 2.1 'Natte' klimaatscenario's voor Nederland (2100) en droog (2050) (Bron: Kors et al., 2000; RIZA, 2005).

	Laag (2100)	Midden (2100)	Hoog (2100)	Droog (2050) (2050)
Temperatuur	+ 1°C	+ 2°C	+4 tot +6°C	+4 tot +6°C
Gemiddelde zomerneerslag	+1%	+2%	+4%	- 15%
Zomerverdamping	+4%	+8%	+16%	+19%
Gemiddelde winterneerslag	+6%	+12%	+25%	n.b.
Jaarlijks maximum	+10%	+20%	+40%	n.b.
10-daagse winterneerslagsom	47 jaar	25 jaar	9 jaar	n.b.
Herhalingstijd				
10-daagse neerslagsom*				
Zeespiegelstijging	20 cm	60 cm	110 cm	n.b.

*: som zoals die thans eens in de 100 jaar voorkomt: ≥ 140 mm



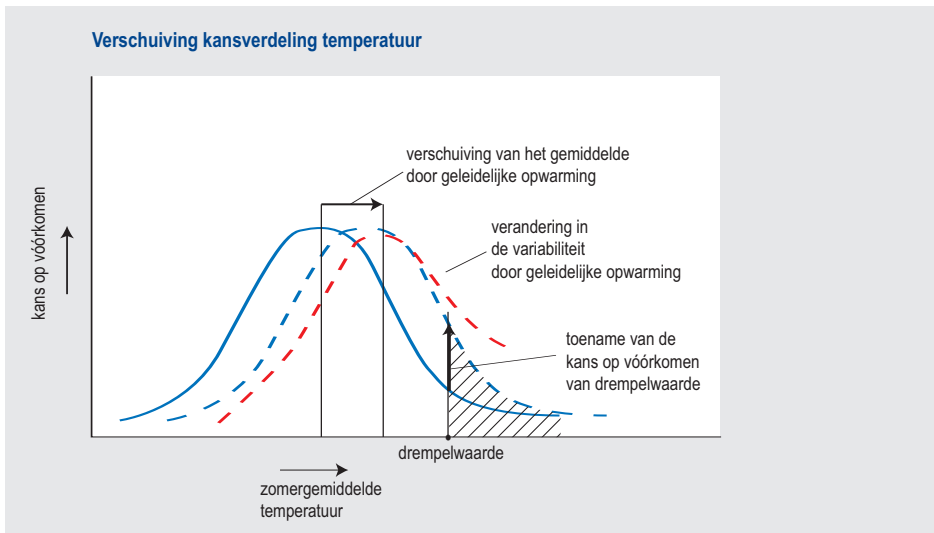
Figuur 2.14: Maandelijkse gemiddelde neerslagverandering in 2100 in Nederland en Duitsland berekend met een achttal klimaatmodellen (weergegeven als % neerslagverandering voor de periode 2070-2100 t.o.v. het gemiddelde van de 20^{ste} eeuw) (Bron: http://www.knmi.nl/onderzk/CKO/Challenge_live/).

nieuwe inzichten en modelstudies, die laten zien dat zomerdroogte zichzelf kan versterken door extreme hitte en circulatieveranderingen. Dit scenario (voor 2050 uitgewerkt) is een combinatie van hoge schattingen in temperatuurverandering en een afname van de frontale neerslag. De frequentie van buiige neerslag verandert niet ten opzichte van de huidige situatie. De scenario's zijn geen voorspelling. Het zijn berekeningen gebaseerd op min of meer consistente aannamen over ontwikkelingen in het klimaatsysteem en de beïnvloeding daarvan (zie ook Kader A over onzekerheden).

De onzekerheid in verwachte zomerneerslag is af te leiden uit Figuur 2.14, waarin de resultaten staan weergegeven van 8 verschillende klimaatmodellen voor wat betreft de verwachte maandgemiddelde neerslagverandering in de omgeving van Nederland. De figuur laat zien dat de gemiddelde neerslag in het winterseizoen toeneemt. In de zomer geven de meeste modellen een afname van de gemiddelde neerslag. Echter twee modellen geven een gemiddelde toename. Dit weerspiegelt de onzekerheid die er bestaat over de ontwikkeling van regionale circulatiepatronen. Het geeft ook een indicatie voor de waarschijnlijkheid van de scenario's uit Tabel 2.1. In de KNMI-scenario's en in de modelstudies wordt Nederland naar verwachting netto droger, vooral door de sterk toenemende verdamping.

Veranderingen in stormen zeer onzeker

De hoge onzekerheid van de invloed van klimaatverandering op het stormklimaat in Nederland maakt dat veranderingen in de kans op stormvloed en nog niet goed bekend zijn. Recent onderzoek met grofmazige modellen wijst in de richting van het



Figuur 2.15 Verschuivende gemiddelden resulteren in disproportionele toename in extremen.

mogelijk optreden van superstormen in onze contreien, met kans op beduidend hogere windsnelheden dan we in de 20^e eeuw hebben meegemaakt. Nader onderzoek met fijnmazige modellen naar de achterliggende processen is nodig om dit fenomeen te begrijpen.

Verwachtingen voor klimaatextremen: meer hittegolven, minder kou

Projecties van mogelijke verschuivingen in extreem weer zijn erg onzeker. Figuur 2.15 laat echter zien dat een beperkte verschuiving van de frequentieverdeling van temperatuur (en ook neerslag) al tot grote veranderingen in weersextremen kan leiden. Een dergelijke bevinding is ook verkregen uit het CKO-project. Onderzoek naar veranderingen in extreme weersituaties was het doel van deze studie. Uit de studie blijkt dat augustusdagen in 2080 mogelijk 1,4 graad warmer worden. De temperatuur van het warme extreem, dat eens in de 10 jaar optreedt, loopt echter twee keer zo hard op. Dit komt door een grotere kans op uitdroging van de bodem waardoor de verkoelende invloed van de verdamping wegvalt. Ook laten de berekeningen vaker een stroming uit het zuidoosten zien. Een meer frequent voorkomen van de '2003 zomer' wordt dan ook zeer waarschijnlijk (zie ook KADER D). Het Britse Hadley Centre beweert zelfs dat een dergelijke zomer heel normaal zou kunnen zijn rond het midden van deze eeuw.

Verwacht wordt dat de kans op extreem koude winters minder snel afneemt dan op grond van de gemiddelde temperatuurstoename verwacht zou kunnen worden (Figuur 2.16). Dit komt doordat koude extremen sterk afhangen van de windrichting (oostenwind). Concreet betekent dit bijvoorbeeld dat de kans op een Elfstedentocht in de toekomst kleiner wordt, maar wel aanwezig blijft.

KADER D De extreem droge en hete zomer 2003

In Centraal en Noord-West Europa was de zomer van 2003 de heetste in meer dan 500 jaar. De gemiddelde zomertemperatuur in Europa was bijna 2 graden hoger dan het langjarig gemiddelde van 17,5 graden over het tijdvak 1901-1995. Het centrale deel van Europa en vooral het Alpengebied hadden de grootste temperatuurafwijking: meer dan 5 graden boven normaal. De warmste Europese zomer was tot voor kort die van 1757. Toen was het vooral heet in het zuiden van Scandinavië, het oosten van Europa en het westen van Rusland. Ook de zomers van 1947, 1976 en 1994 waren in verschillende Europese landen bijzonder warm.

In Nederland was het minder extreem. De Nederlandse zomer van 2003 was met een gemiddelde temperatuur van 18,6 graden ongeveer net zo warm als de zomer van 1947, voor ons de warmste van de 20ste eeuw.

Daarnaast was de zomer 2003 in grote delen van Europa extreem droog. Extreme droogte versterkt de hitte. In Nederland was de droogte iets minder: gemiddeld eens in de 10 à 20 jaar komt een dergelijk droog jaar voor.

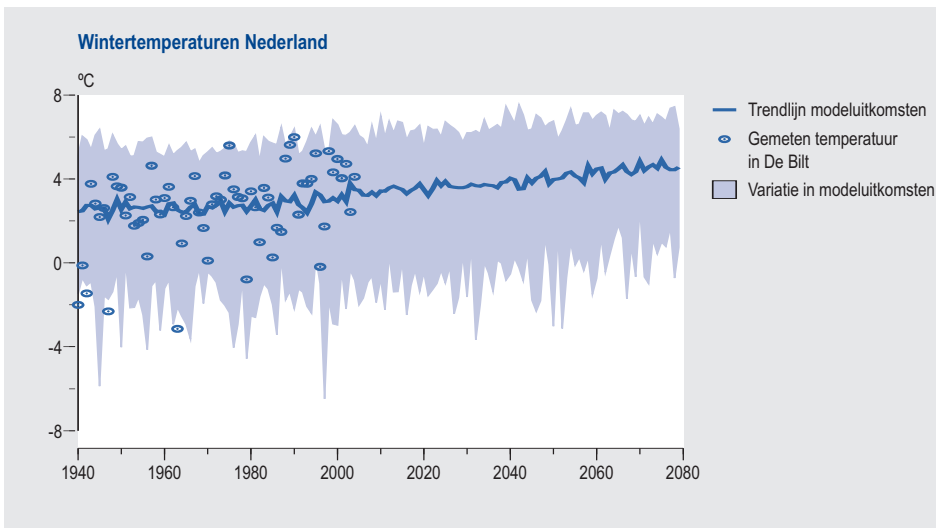
Door de lage aanvoer in de Rijn drong de verzilting vanuit zee langzaam landinwaarts, waardoor medio augustus de inlaatpunten van de Hoogheemraadschappen Rijnland en Schieland verziltten. In normale situaties wordt hier zoetwater ingelaten om (i) het waterpeil in het polderboezemsysteem van Midden-Holland binnen marges van 10-20 cm te houden en om (ii) de interne ver-

zilting (aanvoer door grondwater) tegen te gaan. Beide inlaatfuncties waren medio augustus niet meer te combineren.

Door de hoge watertemperaturen in combinatie met de lage toevoeren werd de koelcapaciteit van een aantal energiecentrales bedreigd. Aan de lozingseis, dat koelwater niet warmer mag zijn dan 30 graden, konden verschillende bedrijven uitsluitend voldoen door hun productiecapaciteit te verlagen. Ook de waterkrachtcentrales in de Maas, de Nederrijn en de Vecht hebben een aantal weken op zeer beperkte capaciteit gedraaid (10-25% van normaal). Daardoor dreigde Nederland uit te komen op een tekort aan elektriciteit. Door de droogte is ook een aantal veendijken bezweken (Wilnis, Rotterdam, Stadskanaal).

Nederland heeft zo'n 3.500 km veendijken in laag Nederland. Door de aanhoudende droogte heeft een aantal dijken kritisch veel water verloren. Ze zijn daardoor lichter geworden, zijn gaan krimpen en scheuren en zijn vervolgens bezweken. Door de relatief droge winter van 2003-2004 hadden de veendijken hun stevigheid in 2004 nog niet terug. In Nederland zijn door de hittegolf in 2003 ongeveer 500 personen vervroegd overleden. Voor heel Europa bedraagt de schatting 27.000 personen, meer dan de helft ervan in Frankrijk.

In grote delen van Europa was de graanoogst door de droogte veel minder dan normaal (niet in Nederland). Voor de EU-15 als geheel was de oogst de slechtste sinds het begin van de statistieken in 1961.



Figuur 2.16 De gemiddelde wintertemperatuur in een punt van het model dat een gedeelte van Nederland dekt (Bron: http://www.knmi.nl/onderzk/CKO/Challenge_live/).

3 WAAR MOETEN INWONERS VAN LAAG-NEDELAND EN HET RIVIERENGEBIED REKENING MEE HOUDEN?

Kernboodschappen

- Zeespiegelstijging als gevolg van klimaatverandering is al aantoonbaar; bij verdere temperatuurstijging zijn versterkte zeespiegelstijging en grotere dynamiek in rivierafvoeren onvermijdelijk.
- De neerslagintensiteit in Nederland is toegenomen. De kans op wateroverlast neemt waarschijnlijk verder toe door de verwachte toename van extreme regenbuien.
- Het waargenomen jaarlijks neerslagtekort vertoont nog geen duidelijke trend. De kans op droogte in de zomer neemt naar verwachting toe; of extreem droge zomers vaker zullen voorkomen is nog onbekend.
- In het waterbeleid speelt adaptatie aan klimaatverandering al een rol. Ruimtelijke maatregelen hebben een belangrijk aandeel in de plannen, maar worden tot nu toe beperkt ingezet.

Klimaatverandering speelt al een rol in het waterbeleid

Het klimaat verandert met als gevolgen (zie o.a. Hoofdstuk 2): toename van neerslag en verdamping, stijging van de zeespiegel, hogere rivierafvoeren in de winter en een grotere kans op wateroverlast en droogte in de zomer. Stijgende zeespiegel en toenemende rivierafvoeren betekenen - zonder aanvullende maatregelen - voor Laag Nederland een toenemende kans op overstromingen. Een grotere kans op wateroverlast en droogte spelen niet alleen in Laag-Nederland, maar ook in Hoog-Nederland.

In het waterbeleid wordt al rekening gehouden met de mogelijke doorwerking van klimaatverandering. Het gaat daarbij niet alleen om technische maatregelen, maar ook om ruimtelijke maatregelen om daarmee een veiliger en robuuster watersysteem tot stand te brengen. Adaptatie aan klimaatverandering speelt dus nu al een rol in het waterbeleid.

3.1 Veiligheid tegen overstroming

Er is sprake van overstroming als de situatie levensbedreigend is en er slachtoffers kunnen vallen. Bij schade aan bijvoorbeeld bebouwing en landbouw, zonder dat er sprake is van levensgevaar, wordt gesproken van wateroverlast (zie par. 3.3).

Veiligheid tegen overstroming speelt vooral in Laag-Nederland in de kustzone, het rivierengebied en het IJsselmeergebied. De normen voor het veiligheidsniveau in de kustprovincies en het rivierengebied zijn vastgelegd in de Wet op de Waterkering van 1996 (zie ook Kader E). De overstromingen langs de Maas en de bijna-overstromingen in 1993 en 1995 langs de Rijn hebben geleid tot hernieuwde aandacht voor de veiligheid tegen overstroming.

Kader E Is Nederland voldoende beschermd tegen overstroming?

Het MNP heeft in 2003/2004 op verzoek van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een evaluatie uitgevoerd van het beleid op het gebied van de veiligheid tegen overstroming. De resultaten zijn neergelegd in het rapport "Risico's in bedijkte termen" (MNP-RIVM, 2004). De belangrijkste resultaten van het rapport kunnen als volgt worden samengevat.

Nederland heeft internationaal de hoogste veiligheidsnormen tegen overstroming. De sterkte van de waterkeringen is sterk toegenomen sinds de laatste grote overstroming (1953). De normen voor het veiligheidsniveau zijn wettelijk verankerd in de Wet op de waterkering in 1996. Om de situatie veilig te houden wordt iedere 5 jaar opnieuw bekeken of er maatregelen genomen moeten worden om te zorgen dat de waterkeringen aan de norm blijven voldoen. De overstromingskans blijft daarmee zo min of meer gelijk.

Toch is de bescherming van Nederland tegen overstroming op dit moment niet voldoende gewaarborgd. Ten eerste is van slechts de helft van de primaire waterkeringen met zekerheid vastgesteld dat ze voldoen aan de norm: 15% vol-

doet niet aan de norm en van 35% ontbreekt de informatie die nodig is voor toetsing. Ten tweede is de economische waarde die door de dijken en duinen moet worden beschermd sterk gestegen ten opzichte van de jaren (1960) waarin de normen zijn bepaald. De economische waarde is sindsdien meer dan verzesvoudigd en ook de omvang van de bevolking is sterk toegenomen. Het gevolg is dat de potentiële schade sterk is toegenomen. De kans op een groot aantal slachtoffers (het "groepsrisico") als gevolg van overstroming ligt daarbij hoger dan dat van alle andere externe gevaren tezamen (luchtvaart, spoorwegemplacementen, LPG-transport, industriële complexen).

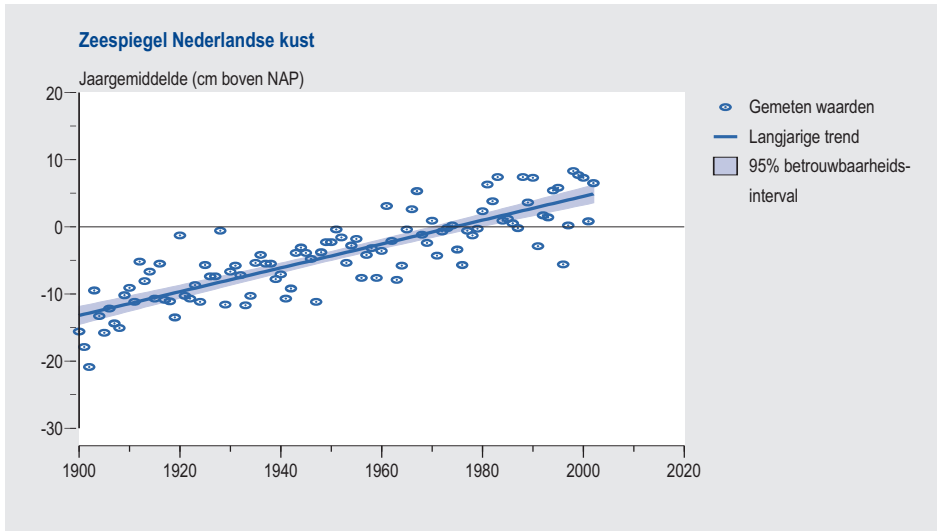
Zonder aanvullende maatregelen zullen de schaderisico's verder stijgen, zowel door stijgende welvaart als door toename van rivierafvoeren en stijging van de zeespiegel. In het rapport wordt een aantal suggesties gedaan die de risico's kunnen verkleinen, zoals aanpassen en differentiëren van veiligheidsniveau's, compartimentering van dijkringen en inspelen op risicosituaties in het ruimtelijke beleid (niet bouwen op gevaarlijke plaatsen).

Zeespiegel voor de Nederlandse kust is de afgelopen eeuw gestegen

De zeespiegel langs de Nederlandse kust is in een eeuw tijd gemiddeld circa 20 cm gestegen ten opzichte van NAP (Figuur 3.1). Omdat de peilmerken van het NAP meebewegen met de tektonische beweging van de aardkorst geven metingen ten opzichte van NAP altijd een *relatieve* stijging van de zeespiegel: het gecombineerde effect van *absolute* zeespiegelstijging en daling van de bodem.

Een deel van de waargenomen relatieve zeespiegelstijging is het effect van bodemdaling in de kustzone door naijleffecten van de laatste ijstijd. Waar Scandinavië door het afsmelten van het ijs nog steeds omhoog gaat, ondergaan grote delen van Noord- en West-Nederland een bodemdaling van enkele centimeters per eeuw. Omdat in laag-Nederland het maaiveld veelal daalt ten opzichte van NAP door inklinking van klei en veen, is de relatieve zeespiegelstijging ten opzichte van het maaiveld nog groter.

Temperatuurstijging van de atmosfeer (zie Hoofdstuk 2) veroorzaakt enerzijds het afsmelten van gletsjers en poolijs en anderzijds opwarming en daardoor uitzetten van oceaanwater. Beide processen dragen bij aan een absolute stijging van de zeespiegel. Op mondiale schaal zijn dit waarschijnlijk de hoofdoorzaken van de waargenomen wereldgemiddelde zeespiegelstijging van 10-20 cm. Ook voor de kust van Nederland is klimaatverandering de belangrijkste oorzaak van de zeespiegelstijging.



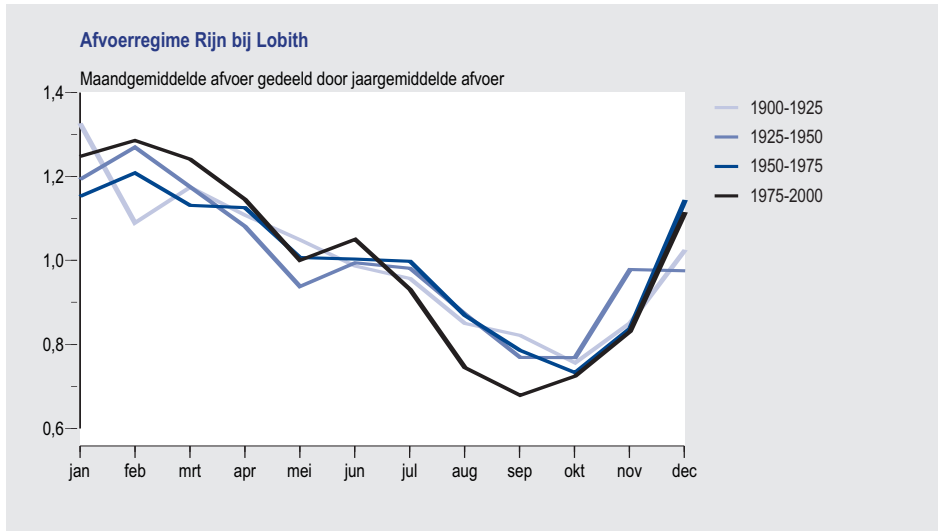
Figuur 3.1 De zeespiegel voor de Nederlandse kust is de afgelopen eeuw gemiddeld met circa 20 cm gestegen ten opzichte van NAP (Bron: RIKZ).

Verwachte stijging van de zeespiegel vraagt om extra maatregelen tegen overstromingen

In de toekomst verwacht men dat klimaatverandering zal leiden tot een verdere zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust van 20-110 cm in 2100 (zie klimaatscenario's Tabel 2.1) ten opzichte van het maaiveld. Hierin is rekening gehouden met een gemiddelde bodemdaling van 10 cm per eeuw. Deze bestaat uit zowel de bodemdaling als gevolg van naijling van de laatste ijstijd, waaraan ook NAP onderhevig is (zie boven), als een gemiddelde waarde voor de bodemdaling van het maaiveld door inklinking van klei en veen. Deze inklinking kan lokaal echter zeer verschillen.

Er is grote naijling in het opwarmen van de oceanen ten opzichte van atmosferische temperatuurstijging. Dit betekent dat als door emissiebeperkingen de gemiddelde temperatuur minder zou stijgen, dit pas na vele eeuwen zal leiden tot een verminderde zeespiegelstijging.

Als gevolg van de verwachte zeespiegelstijging zijn meer en grotere zandsuppleties nodig om de zandverliezen in het kuststelsel aan te vullen en het huidige veiligheidsniveau te handhaven. Bovendien zal in toenemende mate zand nodig zijn om de kust, estuaria en de Waddenzee mee te laten groeien met de zee. Om de grotere belastingen als gevolg van zeespiegelstijging op te kunnen vangen, zijn in de toekomst sterkere, bredere waterkeringen nodig. De komende vijftig jaar zullen de extra kosten voor kustbeheer naar verwachting maximaal 0,13% van het bruto binnenlands product bedragen. Bij een verdere zeespiegelstijging na 2050 zullen de kosten voor het kustbeheer kunnen oplopen tot boven het huidige uitgavenniveau.



Figuur 3.2 De afgelopen decennia is de winterafvoer van de Rijn toegenomen en de zomerafvoer afgenomen (Bron: Buiteveld, 2005).

Behalve door zeespiegelstijging wordt het optreden van hoge zeewaterstanden ook sterk bepaald door het voorkomen van stormen op de Noordzee. Het is echter nog onduidelijk hoe de stormfrequentie en -intensiteit in de toekomst zullen veranderen.

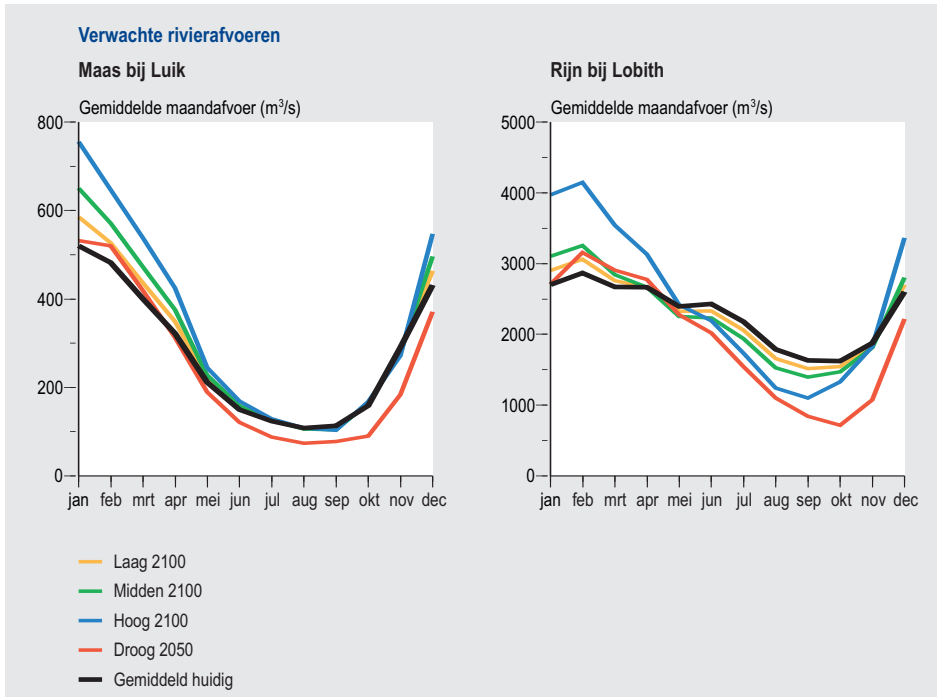
Gemeten afvoer Rijn de afgelopen decennia hoger in de winter en lager in de zomer

De afvoer van de Rijn vanaf 1900 vertoont een ontwikkeling, die versterkt ook voor de toekomst wordt verwacht. In Figuur 3.2 zijn de maandgemiddelde afvoeren bij Lobith te zien, uitgedrukt ten opzichte van de jaargemiddelde afvoer. Met name gedurende de laatste decennia is hierin een verschuiving waar te nemen naar hogere gemiddelde afvoeren in de winter en lagere in de zomer. Het is niet aantoonbaar dat deze verschuiving is toe te schrijven aan klimaatverandering, maar het past wel in het beeld.

Verwachte rivierafvoeren nemen verder toe in de winter en verder af in de zomer

Door opwarming zullen er veranderingen optreden in het neerslagpatroon in het Rijnstroomgebied. De verwachting is dat de Rijn, nu nog een gecombineerde regen- en smeltwaterrijver, meer zal gaan lijken op een regenrijver, met hoge afvoeren 's winters en lage afvoeren 's zomers. Als gevolg van toenemende neerslag in de winter neemt de afvoer van de Rijn in de winter toe. In de zomer neemt de afvoer af, door minder smeltwater en door een sterke toename van de verdamping, die de kleinere toename van de gemiddelde neerslag in de zomer teniet doet (zie klimaatscenario's Tabel 2.1).

Figuur 3.3 laat zien dat in alle klimaatscenario's (laag, midden, hoog en droog, zie Hoofdstuk 2) de verwachte winterafvoer van de Rijn verder toeneemt en de zomerafvoer verder afneemt ten opzichte van de huidige afvoer.



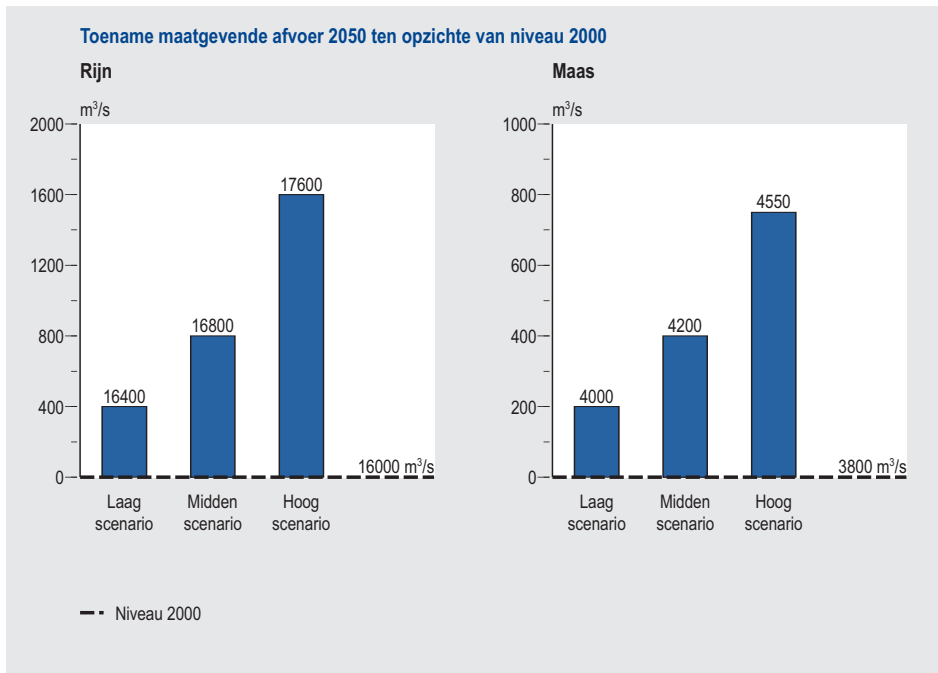
Figuur 3.3 In alle 4 beschouwde klimaatscenario's neemt de winterafvoer in de toekomst verder toe; de zomerafvoer neemt voor de Rijn af in alle scenario's en voor de Maas in het droge scenario (Beersma et al, 2004).

Vergelijkbaar met de verwachting voor de Rijn, zal ook de winterafvoer van de Maas in de toekomst hoger zijn dan de huidige. De zomerafvoer zal vooral in het droge klimaatscenario nog lager liggen dan in de huidige situatie. In de huidige situatie is laagwater op de Maas al een probleem en een geringe verandering is al voldoende om de situatie in de zomer nog ongunstiger te maken.

Verwachte extreme rivierafvoeren nemen eveneens toe

Indicatief voor extreme afvoeren is de maatgevende afvoer, die als basis wordt gebruikt voor de wettelijke veiligheidsnormen in de Wet op de Waterkering. In het rivierengebied is de maatgevende afvoer gesteld op een afvoerhoeveelheid die gemiddeld eens per 1250 jaar voorkomt. Wettelijk is dit de maximale hoeveelheid water die de rivier moet kunnen afvoeren zonder dat het achterland overstroomt. De dijken, de uiterwaarden, het zomerbed etc. worden gedimensioneerd op deze afvoer.

Na de hoogwaters in 1993 en 1995 is de maatgevende afvoer voor de Rijn bijgesteld van 15.000 m³/s naar 16.000 m³/s. Dit had als gevolg dat de huidige situatie in het rivierengebied niet meer aan de wettelijke veiligheidsnormen voldeed. In de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier presenteert het kabinet een pakket maatregelen dat beoogt uiterlijk in 2015 de bescherming van het rivierengebied weer in overeenstemming te brengen met het wettelijk vastgestelde veiligheidsniveau.



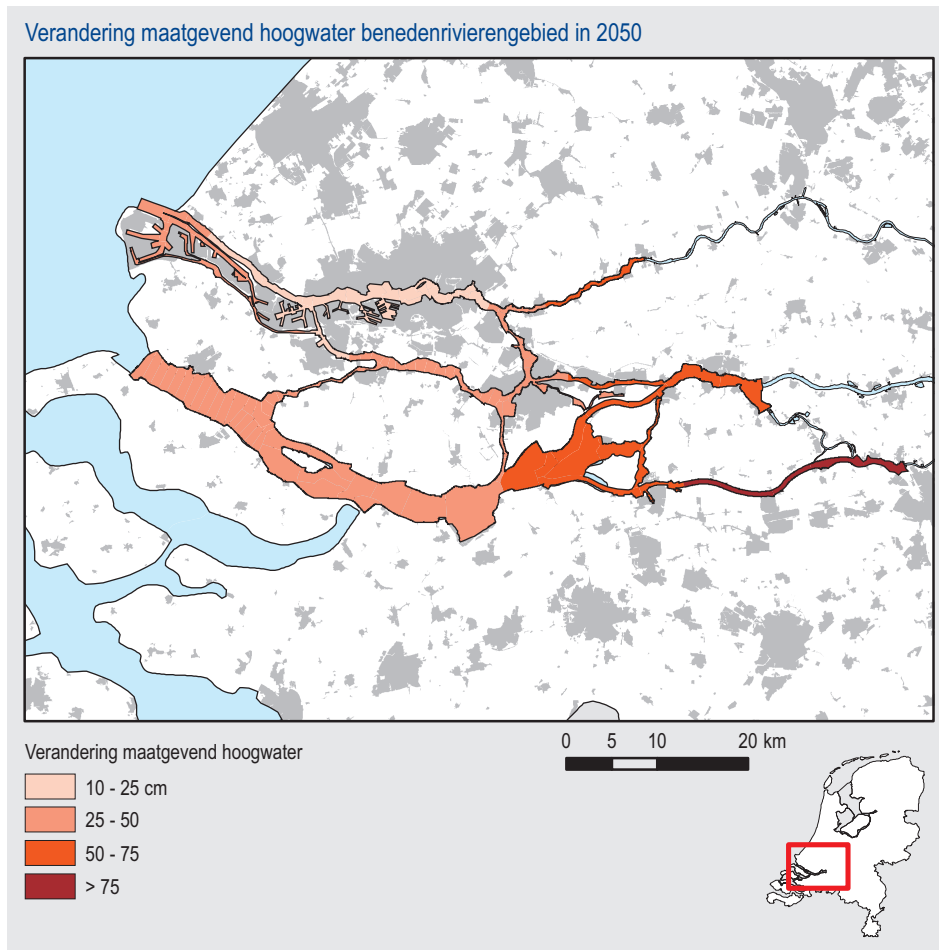
Figuur 3.4 De maatgevende afvoeren van Rijn en Maas nemen in 2050 toe bij de 3 beschouwde klimaatscenario's (laag, midden, hoog) (Buiteveld en Schropp, 2003).

De maatgevende afvoeren van zowel Rijn als Maas zullen volgens de klimaatscenario's toenemen (zie Figuur 3.4): de Rijn met 3 – 10% en de Maas met 5 – 20% in 2050. Dit betekent dat aanvullende maatregelen in het rivierengebied nodig zullen zijn om aan de wettelijke norm te blijven voldoen.

Adaptatie: maatregelen in het rivierengebied

In de toekomst zullen de verwachte zeespiegelstijging en hogere afvoeren van de Rijn en Maas resulteren in hogere extreme waterstanden. Niet alleen in het rivierengebied, maar vooral ook in het benedenrivierengebied zijn in 2050 volgens het middenklimaatscenario problemen te verwachten als gevolg van verhoogde hoogwaterstanden (Figuur 3.5). Er zullen aanvullende maatregelen in het gebied zelf en/of bovenstrooms daarvan nodig zijn om het huidige veiligheidsniveau te handhaven.

In de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier zijn – aanvullend op de maatregelen voor het veiligheidsniveau behorende bij 16.000 m³/s (zie boven) - ruimtelijke reserveringen voor de langere termijn opgenomen, om de verwachte toekomstige effecten van stijging van rivierafvoeren en zeespiegel op te vangen. In totaal is hiervoor langs de Rijn ca. 7000 ha gereserveerd, waarbij rekening is gehouden met een mogelijke stijging van de maatgevende afvoer van de Rijn naar 18.000 m³/s. De daadwerkelijke maatregelen moeten in deze reserveringsgebieden nog genomen worden.

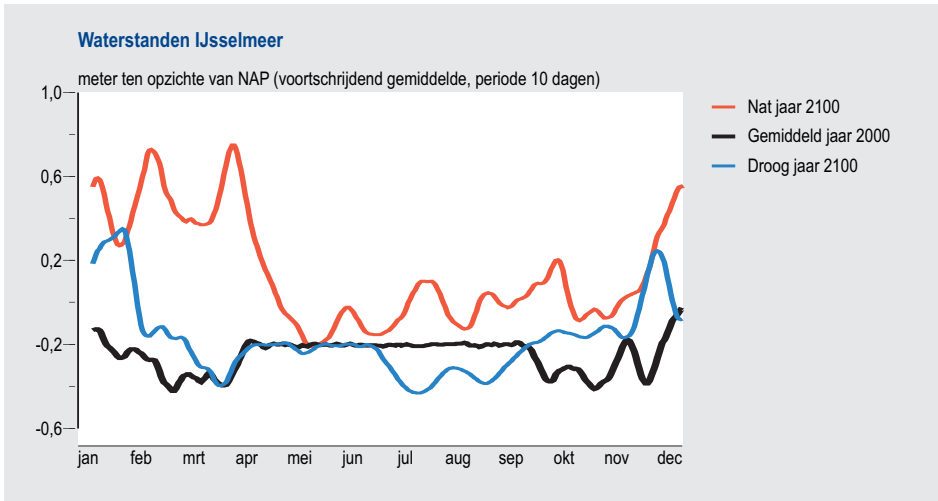


Figuur 3.5 In grote delen van het benedenrivierengebied zijn in 2050 (middenscenario) problemen te verwachten door extreme waterstanden (naar: Blom, 2001).

Omdat de Rijn en Maas grensoverschrijdende rivieren zijn, vereist hoogwaterbescherming een internationale aanpak. Daarom werken Frankrijk, Duitsland, Luxemburg, België en Nederland samen aan maatregelen om de risico's op hoogwater te beperken. Er zijn gezamenlijke Actieplannen Hoogwater voor de Rijn en voor de Maas. De Europese Unie heeft de uitvoering van deze plannen ondersteund met 140 miljoen Euro. Gezamenlijk onderzoek naar hoogwater in de Rijn, door Nordrhein-Westfalen, de provincie Gelderland en Rijkswaterstaat is hier onderdeel van.

IJsselmeergebied: verwachte winterpeilen hoger en peilfluctuaties groter

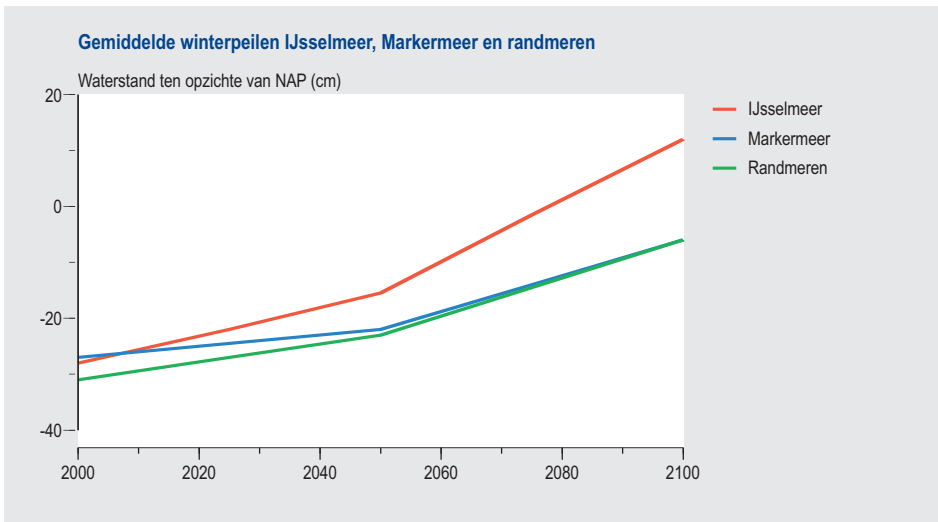
Als gevolg van toenemende afvoeren van de Rijn in de winter en toenemende afvoerproblemen naar de Waddenzee door zeespiegelstijging, zal het IJsselmeerpeil meer het afvoerpatroon van de IJssel gaan volgen. Het gemiddelde winterpeil zal toenemen



Figuur 3.6 De winterpeilen in het IJsselmeer lopen volgens het midden-klimaatsscenario in de toekomst op tot boven het zomerpeil en de peilfluctuaties zullen toenemen, bij gelijkblijvend beheer (Rijkswaterstaat, 2000).

en na 2050 hoger uitkomen dan het zomerpeil. Ook komen er, bij een gelijk blijvend beheer, grotere peilfluctuaties voor (Figuur 3.6).

In het IJsselmeer, Markermeer en de randmeren zullen naar verwachting de gemiddelde winterpeilen stijgen met enkele decimeters in 2100, volgens het midden-klimaatsscenario (Figuur 3.7). Waterafvoer vanuit het natte hart (IJsselmeer, Markermeer,



Figuur 3.7 De gemiddelde winterpeilen in IJsselmeer, Markermeer en de randmeren stijgen in de toekomst volgens het midden-klimaatsscenario, bij gelijkblijvend beheer (Rijkswaterstaat, 2000).

Randmeren, Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal) kan hierdoor in de problemen komen. Voorgenomen uitbreidingen van de boezem, van gemalen en van de spuicapaciteit van het IJsselmeer zullen naar verwachting voldoende zijn om de huidige peilen tot ver in deze eeuw te handhaven. Watervoorziening in droge zomers lijkt door de stijgende zomerpeilen gunstiger te worden; echter, in extreem droge jaren is de peilstijging gering.

3.2 Wateroverlast en droogte

Anders dan bij overstroming, is er bij wateroverlast geen sprake van een levensbedreigende situatie, maar van schade aan bijvoorbeeld bebouwing en landbouw. Dit kan plaatsvinden in zowel Laag- als Hoog-Nederland. Wateroverlast wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door hevige regenval, maar in 2003 is gebleken dat ook in extreem droge jaren overlast kan optreden doordat veendijken het kunnen begeven (zie Hoofdstuk 2, kader D).

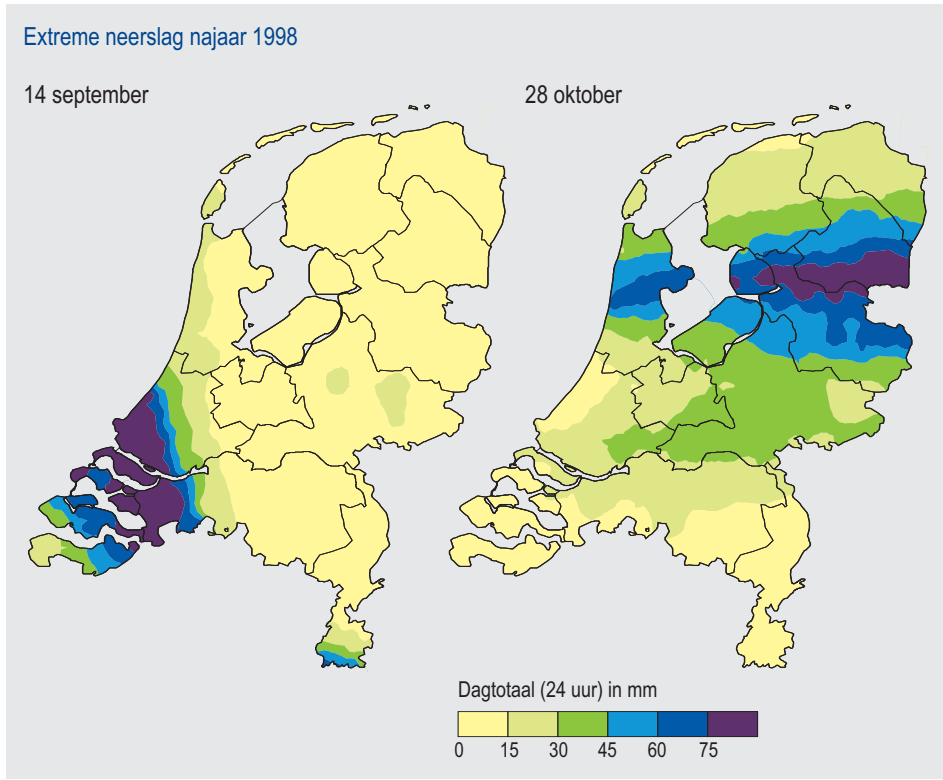
Toenemende droogte in de zomer kan in meer of mindere mate leiden tot problemen voor de natuur (Hoofdstuk 4), de landbouw (zie Hoofdstuk 5) en een nutsvoorziening als energieproductie (Hoofdstuk 7).

Kans op wateroverlast neemt toe

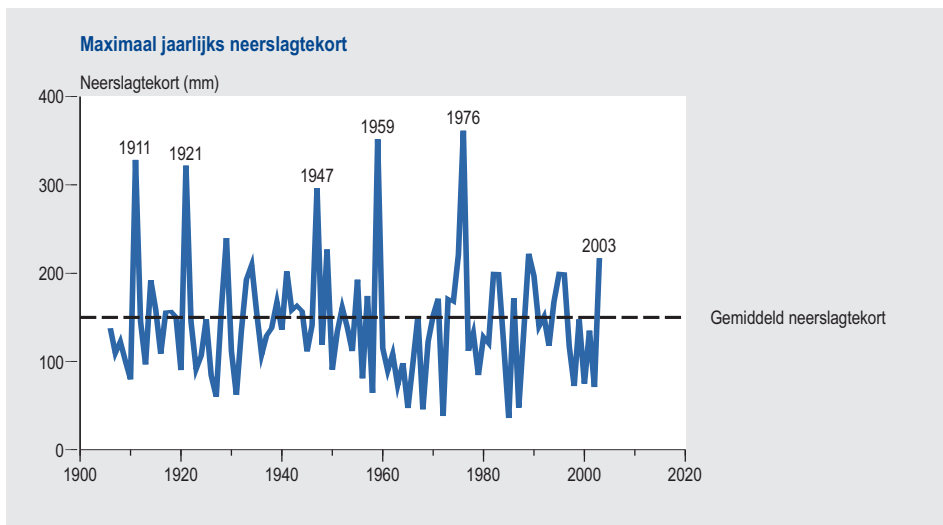
Het afgelopen decennium is Nederland herhaaldelijk geconfronteerd met wateroverlast met aanzienlijke schade voor burgers en bedrijven. Denk aan de schade aan kassen en huizen in het Westland, het ondergelopen museum in Groningen en talloze beelden van ondergelopen straten in verschillende regio's in Nederland. Figuur 3.8, met de extreme neerslaggebeurtenissen van september en oktober 1998, laat zien dat er ook op de schaal van Nederland grote regionale verschillen in neerslagintensiteit en dus wateroverlast kunnen zijn.

Toename van wateroverlast past bij het veranderde neerslagpatroon. De gemiddelde neerslag in een jaar is in de periode 1900-2005 met ca. 20% toegenomen, evenals de kans op buien met een intensiteit van 15-25 mm per dag ((Hoofdstuk 2). Hoewel het aantal gevallen van extreme neerslag (>50 mm/dag) de laatste jaren wel is toegenomen, is nog niet aantoonbaar, dat dit een langjarige trend is.

Op basis van gevonden relaties tussen temperatuur en neerslag is de verwachting dat bij verdere temperatuurstijging ook de kans op extreme neerslag zal toenemen. Eens in de 100 jaar is er nu een 24-uurs neerslaghoeveelheid van 73 mm. De herhalingstijd van zo'n dag regen kan naar verwachting teruglopen tot eens in de 78 jaar of zelfs eens in de 40 jaar in 2100 (Hoofdstuk 2).



Figuur 3.8 Bij extreme neerslaggebeurtenissen, zoals in najaar 1998, worden op verschillende momenten andere regio's getroffen (naar neerslagcijfers KNMI).



Figuur 3.9 Er is een grote natuurlijke variatie in het jaarlijkse neerslagtekort (RIZA, 2005).

Tabel 3.1. Karakteristieken van de belangrijkste jaren met een droge zomer (Beersma et al., 2004; RIZA, 2005).

Schade jaar	Neerslagtekort (mm)	Rivieraanvoertekort Rijn ¹ ($\times 10^9$ m ³)	Herhalingstijd
1949	227	9,2	17
1959	352	5,1	55
1967	151	0,3	2
1976	361	10,7	110
1985	36	0,6	1
1995	200	0,6	4
1996	199	4,8	7
2003	217	7,3	12

1 Rivieraanvoertekort geeft het tekort in de zomerafvoer ten opzichte van de drempelwaarde van 1800 m³/s (voor de Rijn)

Verwachte ontwikkeling extreme droogte nog niet bekend

Droogte in de zomer wordt zowel veroorzaakt door neerslagtekort als door rivieraanvoertekorten. Er is een grote natuurlijke variatie in het jaarlijkse neerslagtekort (Figuur 3.9). Het gemiddelde neerslagtekort in Nederland bedraagt ongeveer 150 mm; in jaren met de grootste neerslagtekorten ligt dit boven de 300 mm. Uit de figuur blijkt dat er tot op heden geen duidelijke trend zichtbaar is in het jaarlijkse neerslagtekort.

Karakteristieke droogtejaren van de afgelopen honderd jaar zijn vermeld in Tabel 3.1. Gemiddeld over heel Nederland was 1976 tot op heden het meest extreem droge jaar. In droge jaren voert de Rijn ongeveer de helft aan van de afvoer in gemiddelde jaren, de afvoer van de Maas (regenrivier) is in alle jaren relatief gering. In combinatie met een lage rivierafvoer heeft het droogste jaar globaal een herhalingstijd van eens in de 100 jaar. De droge zomer in 2003 heeft een kans op herhaling van eens in de 10-20 jaar.

In de klimaatscenario's (Hoofdstuk 2) wordt voorzien dat - afhankelijk van de temperatuurstijging - het gemiddeld neerslagtekort in de zomer in de periode tot 2100 met 3-12% zal kunnen toenemen. Een geringe toename van de gemiddelde droogte in de zomer is voor zowel de natuur, de landbouw als de koelwatervoorziening minder een probleem, dan een eventuele toename in vóórkomen van extreem droge jaren. Op dit moment is echter niet bekend in hoeverre de herhalingstijden van extreem droge zomers zullen veranderen.

De aanvoer van water door de Rijn zal naar verwachting in de zomermaanden gemiddeld met ca. 10% afnemen in de periode tot 2050. In geval van een droog klimaatscenario echter zou deze afname kunnen oplopen tot 60%.

Tabel 3.2. Werknormen voor wateroverlast zoals afgesproken in het Nationaal Bestuursakkoord Water (V&W, 2003.) De normen zijn uitgedrukt in de kans dat het peil van het oppervlaktewater het niveau van het maaiveld overschrijdt ('kans op inundatie vanuit oppervlaktewater').

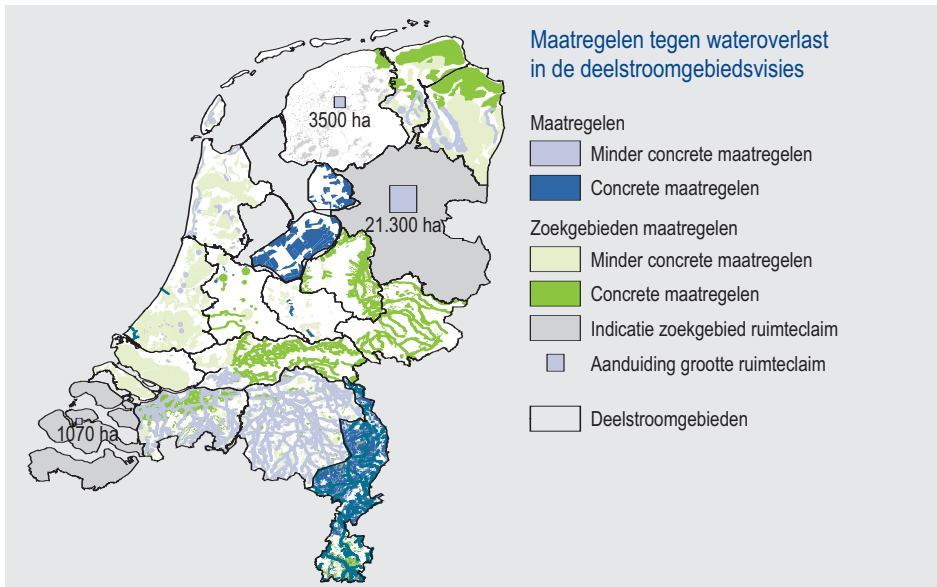
Normklasse gerelateerd aan grondgebruikstype	Maaiveldcriterium ¹ [%]	Basisnorm [1/jr]
Grasland	5	1/10
Akkerbouw	1	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1	1/50
Glastuinbouw	1	1/50
Bebouwd gebied	0	1/100

1 Het maaiveldcriterium geeft aan welk laagste deel van een gebied mag onderlopen voordat bij die normklasse sprake is van wateroverlast.

Adaptatie: omvang benodigde maatregelen tegen wateroverlast nog onduidelijk

In het Nationaal Bestuursakkoord Water onderkennen rijk, provincies, gemeenten en waterschappen de verwachte toename aan neerslag en extremen en hebben gezamenlijk werknormen opgesteld die voor verschillende gebruiksfuncties aangeven wanneer er sprake is van wateroverlast (Tabel 3.2).

Voor de regionale watersystemen hebben provincies, gemeenten en waterschappen in de zogeheten deelstroomgebiedsvisies een analyse van de problematiek gemaakt en een inschatting gemaakt van de benodigde ruimtelijke maatregelen ter voorko-



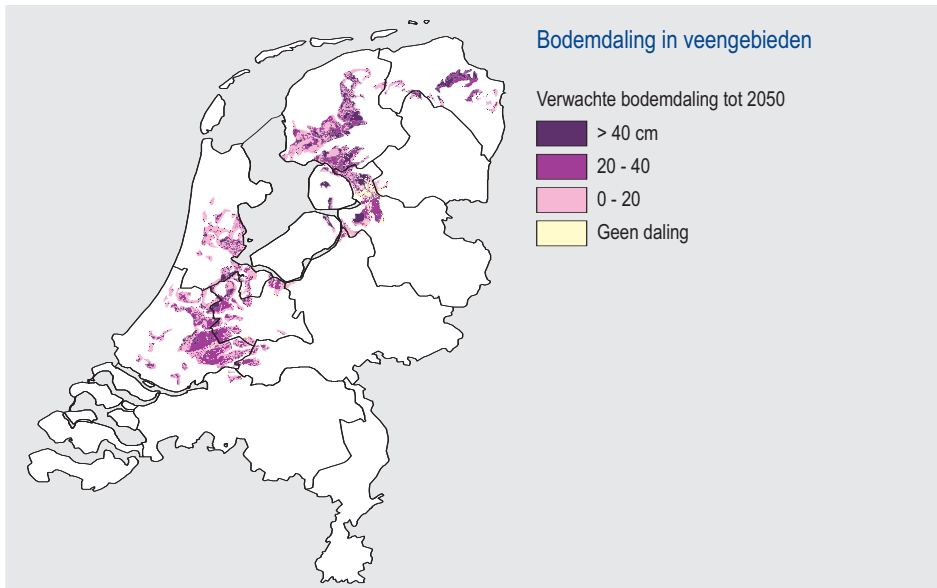
Figuur 3.10 In de deelstroomgebiedsvisies hebben de provincies en waterschappen ruimtelijke maatregelen opgenomen om de verwachte wateroverlast als gevolg van klimaatverandering te bestrijden (RIVM-MNP, 2004).

ming van wateroverlast (Figuur 3.10). De totale ruimteclaim in de deelstroomgebiedsvisies voor het oplossen van de regionale waterproblematiek omvat ca. 120.000 ha voor waterberging en 430.000 ha voor het vasthouden van water, voornamelijk gebaseerd op de aanname van toenemende intensiteit van buien. Er zijn echter nog grote onzekerheden rond de uiteindelijke benodigde maatregelen. De meeste deelstroomgebiedsvisies geven namelijk aan, dat voor de wateroverlast is uitgegaan van de huidige ontwerpnorm voor de afvoercapaciteit; die is gebaseerd op een neerslag die eens in de honderd jaar voorkomt. Voor het landelijk gebied liggen de afgesproken werknormen substantieel lager (Tabel 3.2). Dit zou betekenen dat er in het algemeen nog genoeg ruimte binnen de huidige watersystemen is voor het opvangen van wateroverlast.

3.3 Bodemdaling in de veengebieden

Bodemdaling in veengebieden neemt waarschijnlijk toe

Los van het veranderende klimaat en de tektonische bodemdaling, hebben we ook te maken met een daling van de bodem in de veengebieden. Sinds de Middeleeuwen is er in sommige veengebieden al 2-3 meter bodemdaling opgetreden. Deze bodemdaling hangt samen met de ontwatering van het veen waardoor dit inklinkt en gedeeltelijk oxideert en als koolstofdioxide (CO_2) in de atmosfeer verdwijnt. Afhankelijk van het waterpeil kan deze bodemdaling oplopen tot 1 cm per jaar. Dit betekent dat in sommige veengebieden in de periode tot 2050 een bodemdaling van een halve meter kan optreden (Figuur 3.11). Vooral in gebieden met dikke veenpakketten (in West-

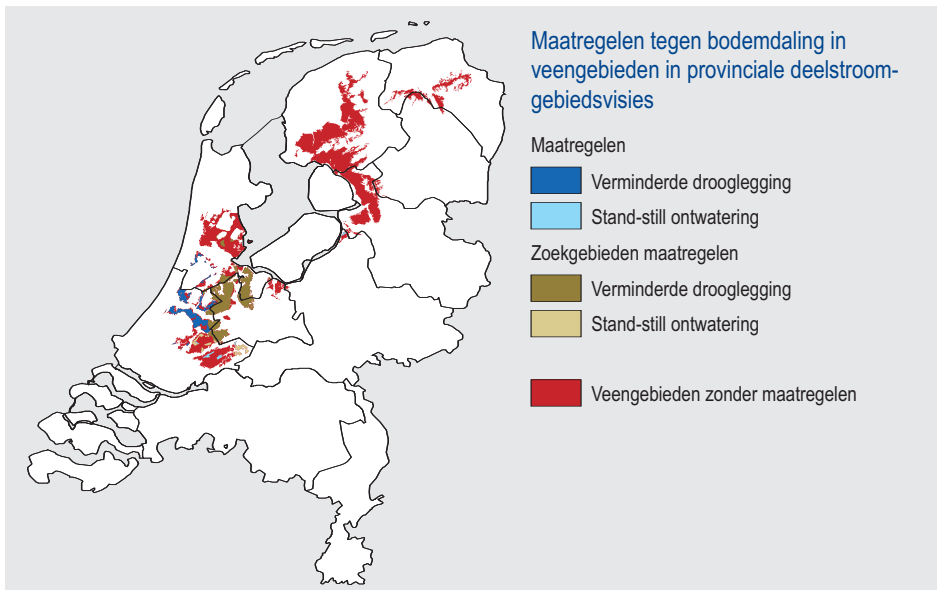


Figuur 3.11 In sommige gebieden loopt de bodemdaling in de veengebieden op tot een halve meter in 2050. Als gevolg van klimaatverandering zal het bodemdalingproces waarschijnlijk sneller gaan verlopen (Naar TNO, 2003).

Nederland plaatselijk tot 12 meter dik) kan dit bij voortgaande bodemdaling op lange termijn leiden tot een toename van overstromingseffecten, toenemende verzilting en een steeds moeilijker beheersbaar watersysteem. In enkele gebieden vindt daarnaast nog bodemdaling plaats als gevolg van gaswinning. Voor het gebied rond Slochteren wordt daardoor voor 2050 een extra daling van ca. 60 cm verwacht.

De oxidatie van het veen zal waarschijnlijk als gevolg van de stijgende temperatuur, het langere zomerseizoen en een grotere dynamiek in nat en droog (oxidatiepomp) sneller gaan verlopen en het bodemdalingproces versnellen. Hoe snel dit zal gaan, is echter nog onzeker.

Door verschillen in veenbodems en peilbeheer verloopt de bodemdaling niet overal even snel. Landbouw bijvoorbeeld vraagt om een relatief diepe ontwatering terwijl bebouwing om een relatief hoog waterpeil vraagt om wegrotten van houten paalfunderingen te voorkomen. Bodemdaling in de veengebieden leidt dan ook tot een steeds verdere versnippering van het waterhuishoudkundige systeem, tot sterkere zoute kwel (nadelig voor de landbouw) en tot schade door verzakking van wegen en gebouwen. Verschillende provincies - vooral in West-Nederland - hebben daarom in de deelstroomgebiedsvisionen maatregelen voorzien die de bodemdaling beogen tegen te gaan (Figuur 3.12). Deze maatregelen beslaan slechts 4% van het totale veenweidegebied.



Figuur 3.12 Vooral in West-Nederland zijn in de Deelstroomgebiedsvisionen maatregelen tegen bodemdaling benoemd. Verminderde drooglegging zal de landbouw in de veengebieden bemoeilijken (MNP, 2004).

3.4 Zoutindringing in het oppervlaktewater

Verwachte toename van zoutindringing maakt innamepunten voor landbouw- en drinkwater vaker onbruikbaar

Als gevolg van zeespiegelstijging en afnemende rivierafvoeren in de zomer zal het zoute zeewater verder het mondingsgebied van Rijn en Maas indringen. Innamepunten van rivierwater ten behoeve van landbouw- en drinkwater zullen hierdoor vaker te maken krijgen met te hoge zoutconcentraties.

Een voorbeeld van een innamepunt voor drinkwater is Ridderkerk. In Tabel 3.3 is aangegeven wat de huidige jaargemiddelde chlorideconcentraties zijn bij een aantal jaren die karakteristiek zijn wat betreft zoutindringing. Tevens is de te verwachten jaargemiddelde concentratie in 2050 weergegeven; deze vertoont vooral in de extremere zoutjaren een flinke stijging. Bovendien kan ook de frequentie van het voorkomen van een zout of extreem zout jaar toenemen. Dit zal tot gevolg hebben dat vaker de drinkwaternorm van 150 mg/l chloride zal worden overschreden.

Bij Gouda, een belangrijk inlaatpunt voor landbouw, zal de toenemende zoutindringing in 2050 leiden tot een verdubbeling van de duur van de periode waarin niet kan worden ingelaten; in een droog jaar neemt deze periode toe van ca. 2 weken tot ruim een maand.

Tabel 3.3 De jaargemiddelde chlorideconcentraties bij innamepunt voor drinkwater Ridderkerk nemen in 2050 in de extremere zoutjaren aanzienlijk toe (Jacobs, 2004).

jaargemiddelde chlorideconcentratie (mg/l) bij Ridderkerk	huidig klimaat	2050 midden klimaatscenario
matig brak jaar	82	82
brak jaar	122	122
gemiddeld zout jaar	167	178
zout jaar	178	211
extreem zout jaar	344	400

4 HOE VERANDERT DE NATUUR?

Kernboodschappen:

- Klimaatverandering heeft waarschijnlijk wereldwijd gevolgen voor de natuur. Circa 80% van waargenomen veranderingen in gedrag en vóórkomen van planten en dieren in allerlei gebieden van de wereld zijn consistent met de verwachte reacties op klimaatverandering.
- Klimaatverandering geeft extra stress op de natuur, die al onder druk staat van de visserij, vermesting en verdroging, verlies en versnippering van het leefgebied.
- De effecten van temperatuurstijging zijn overal in de Nederlandse natuur waar te nemen: planten en dieren verhuizen noordwaarts, de lente begint vroeger, relaties in de voedselketen raken verstoord. Het tempo van de temperatuurstijging is voor veel planten en dieren waarschijnlijk te hoog om zich te kunnen aanpassen of te kunnen verhuizen.
- De voortgaande klimaatverandering zal in de toekomst meer effecten hebben op de natuur dan nu al zichtbaar is. Algemeen voorkomende planten en dieren breiden zich uit, gevoelige soorten sterven uit.
- Voedselketens in de Noordzee en Waddenzee veranderen aan de basis: het plankton. Opwarming van het zeewater is waarschijnlijk één van de oorzaken. De veranderingen, die hoger in de voedselketen worden waargenomen, hangen mogelijk hiermee samen: lage reproductie van vissen, achteruitgang in vogels, verhuizen van bruinvissen.

4.1 Signalen van verandering

Veranderingen natuur overal waarneembaar

‘Natuur’ is een complex begrip met veel facetten: flora en fauna, gebieden en wateren, stoffenkringlopen en relaties in de voedselketen, omzetting van voedingsstoffen, koolstof en energie in levende materie die afsterft en wordt afgebroken, levenscyclus en reproductie, verplaatsing van soorten, symbiose en concurrentie, successie en ontwikkelingen van ecosystemen. Klimaatverandering grijpt aan op deze complexe processen en relaties. Dit heeft directe effecten op het ecosysteem, maar ook indirecte gevolgen, omdat bijvoorbeeld de grondwaterstand, bodemstructuur en beschikbaarheid van voedingsstoffen veranderen. De effecten worden zichtbaar omdat planten en dieren veranderen in hun vóórkomen of gedrag.

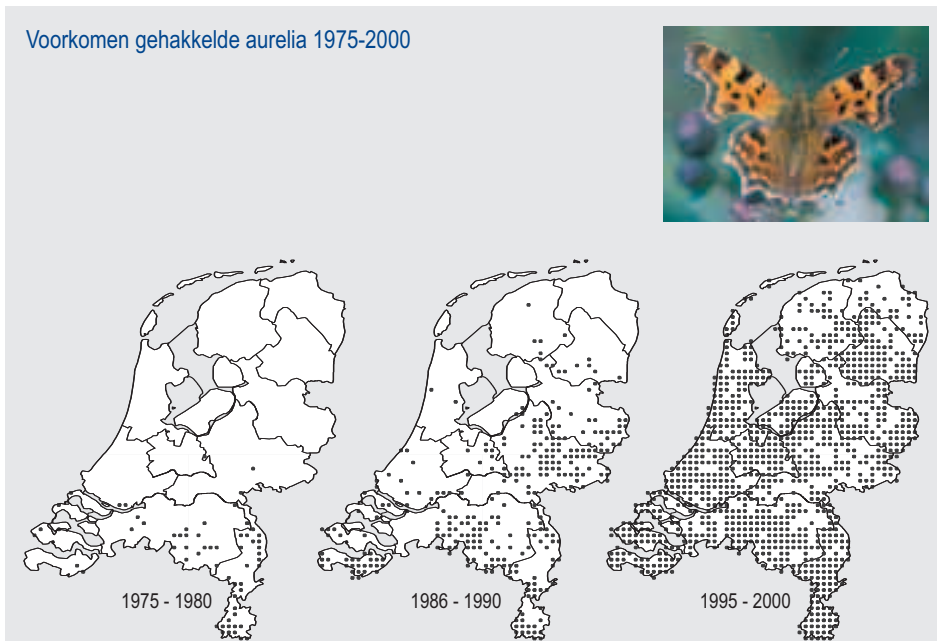
Klimaatverandering heeft waarschijnlijk wereldwijd gevolgen voor de natuur. Dit blijkt uit een analyse van 143 studies naar veranderingen in gedrag en vóórkomen van planten en dieren. Deze laat zien dat circa 80% van die veranderingen overeenkomen met de verwachte reacties op klimaatverandering: de verhoudingen tussen aantallen planten- en diersoorten veranderen, vegetatiezones en leefgebieden van dieren schuiven op, het groeiseizoen verandert. Ook in Nederland worden deze verschijnselen waargenomen. De temperatuurstijging is van alle klimaatfactoren de belangrijkste.

ste oorzaak van de waargenomen veranderingen in de natuur. Behalve klimaatverandering zijn vele andere oorzaken aan te wijzen, waardoor de natuur verandert, bijvoorbeeld verlies aan leefgebied, versnippering, verdroging, vermesting en visserij. Het is niet altijd duidelijk welke oorzaak het belangrijkste is, de klimaatverandering, ander menselijk ingrijpen, of natuurlijke processen. De effecten van deze factoren kunnen elkaar versterken. Hierdoor kunnen de effecten van klimaatverandering extra groot zijn.

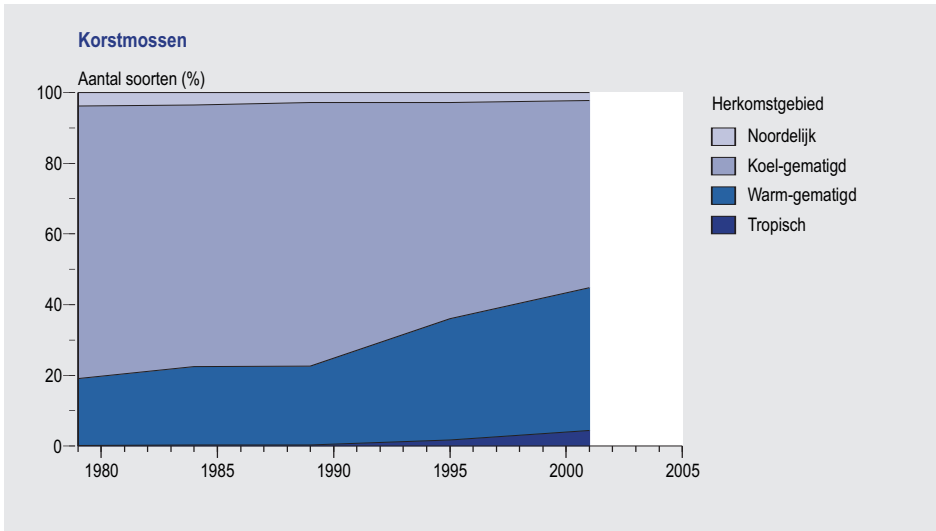
Warmteminnende soorten breiden uit

Door de opwarming verschuiven leefgebieden van diverse planten en dieren in de richting van de polen en hoger de bergen in. Voor Nederland betekent dit onder andere dat er zuidelijke soorten bijkomen.

Bij de insecten bijvoorbeeld verschuift het leefgebied van ongeveer éénderde van de onderzochte zuidelijke soorten naar het noorden. Deze soorten hebben als eigenschappen gemeen dat ze zich snel verbreiden en voortplanten en weinig eisen stellen aan hun leefomgeving en voedsel, zoals de gehakkelde aurelia (Figuur 4.1). Zuidelijke soorten die kieskeuriger en minder mobiel zijn en zich trager voortplanten, breiden zich niet uit. Andere insectensoorten nemen af, waarschijnlijk (mede) onder invloed van milieudruk en gebrek aan leefgebied. Meer noordelijke en kieskeurige soorten doen het slecht in Nederland; de moerasparelmoervlinder en rode vuurvinder zijn bijvoorbeeld verdwenen.



Figuur 4.1 De gehakkelde aurelia voelt zich inmiddels in heel Nederland thuis (Bron: Vlinderstichting, bewerkt door MNP voor Natuurcompendium).



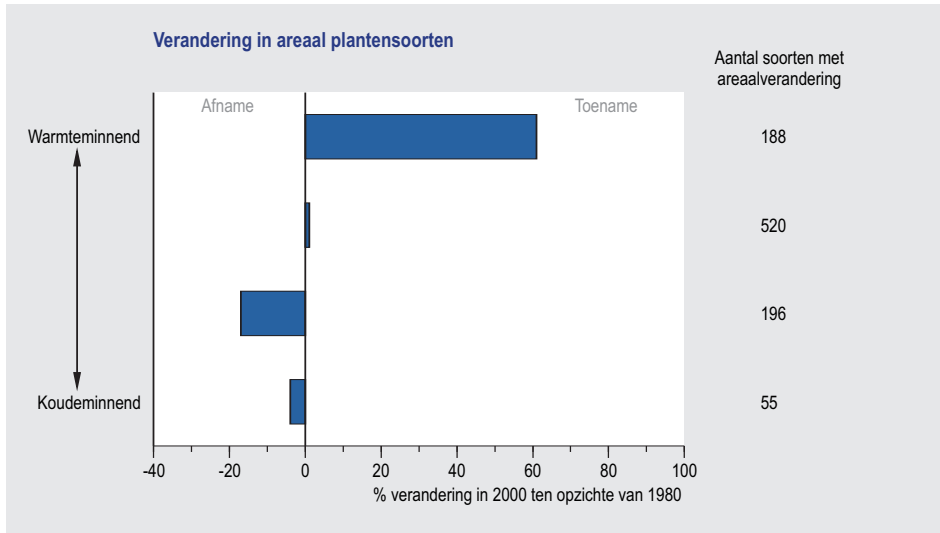
Figuur 4.2 Het aandeel warmteminnende soorten korstmossen neemt toe, het aandeel koude-minnende soorten neemt af (Bron: Lichenologisch Onderzoekbureau Nederland, Van Herk et al., 2002, bewerkt door CBS en MNP voor Natuurcompendium).

Amfibieën en reptielen lijken honkvaster en hun veranderingen lijken meer beïnvloed te worden door biotoopherstel en gunstig beheer, dan door opwarming.

Onder de korstmossen rukken in Nederland de zuidelijke en zelfs tropische soorten op en beginnen noordelijke soorten te verdwijnen (Figuur 4.2). Korstmossen reageren sterk op temperatuurverandering, doordat ze zich goed verspreiden. Het klimaat-effect is overigens momenteel ondergeschikt aan het effect van de verbeterde luchtkwaliteit op de ontwikkeling van korstmossen.

In Nederland zijn warmteminnende planten in areaal toegenomen en koudeminnende planten afgenomen (Figuur 4.3). Had tot circa 1980 vermeting de grootste invloed op de verandering in soortensamenstelling van planten in Nederland, sindsdien is dat vooral de hogere temperatuur.

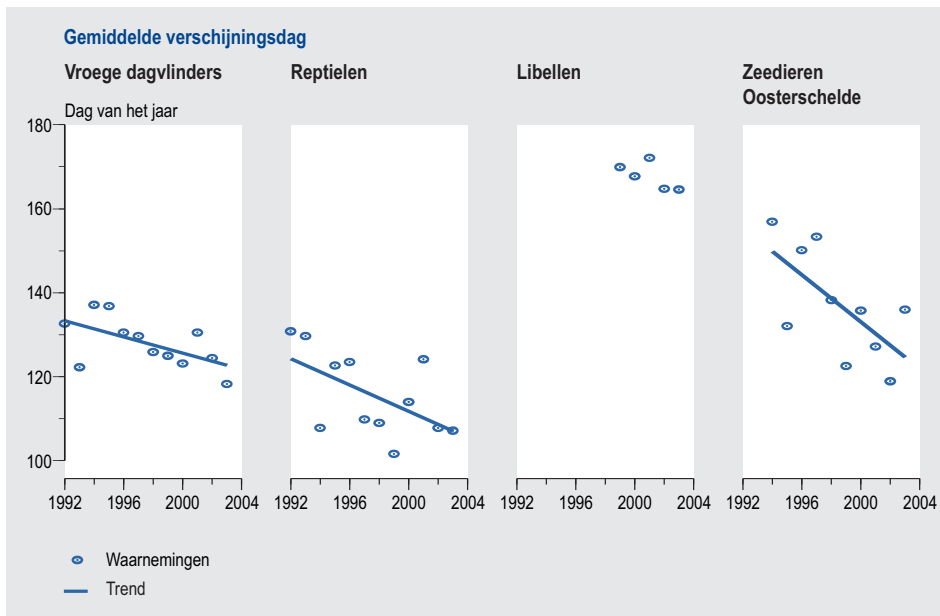
Zuidelijke soorten broedvogels doen het goed. De afgelopen 25 jaar zijn deze soorten meer dan gemiddeld toegenomen, terwijl noordelijke soorten meer dan gemiddeld zijn afgenomen.



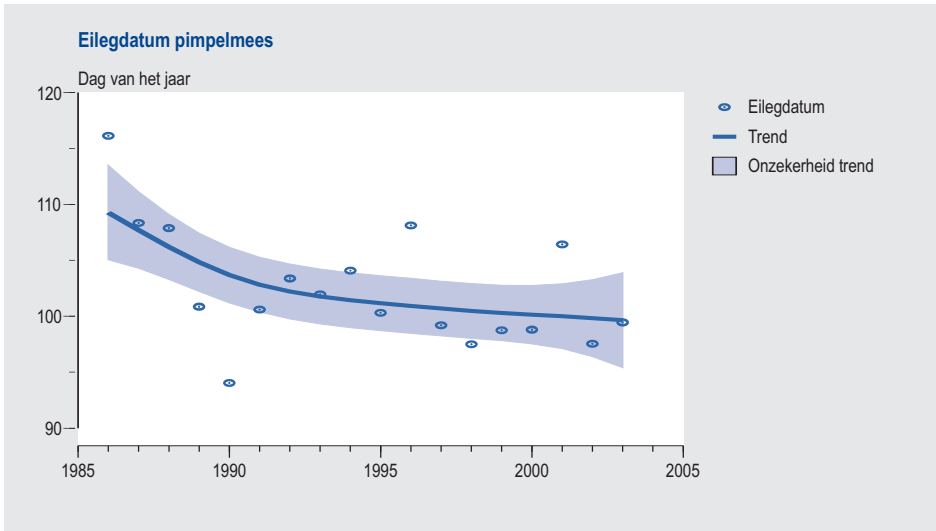
Figuur 4.3 Warmteminnende planten zijn in areaal toegenomen en koudeminnende planten afgenomen (Bron: Tamis et al., 2001; EEA 2004, bewerkt).

Voorjaar begint steeds vroeger, relaties uit de pas

De laatste 10 jaar vervroegt de verschijningsdag van allerlei dieren in allerlei biotopen. Veel soorten blijken snel te reageren op hogere temperaturen (Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Dagvlinders, reptielen en zeedieren in de Oosterschelde verschijnen de afgelopen 10 jaar steeds vroeger. Dit blijkt uit waarnemingen van het Netwerk Ecologische Monitoring (Bron: Vlinderstichting, RAVON, Anemoon, bewerkt door CBS).



Figuur 4.5 De pimpelmees legt haar ei steeds vroeger in het jaar (Bron: SOVON, bewerkt door CBS en MNP voor Natuurcompendium).

Doordat niet alle planten en dieren hetzelfde reageren op het warmere voorjaar, raken relaties in de voedselketen verstoord. Broeden moet bijvoorbeeld op het juiste moment gebeuren, zodat de snel groeiende jongen kunnen profiteren van pieken in het beschikbare voedsel. Sommige vogels passen zich aan het vroegere voorjaar aan door eerder eieren te leggen, zoals de pimpelmees (Figuur 4.5). Andere, zoals de koolmees, doen dat niet, waardoor de jongen te laat uitkomen om te profiteren van de voorjaarspiek aan eiwitrijke rupsen. De rupsen komen op hun beurt weer te vroeg uit, namelijk voordat de zomereik, hun gastheer, uitloopt. Hierdoor verhongeren veel rupsen.

Veel trekvogels hebben een extra probleem. De klimaatverandering heeft op het ene gebied een ander effect dan op het andere. Hierdoor staat bijvoorbeeld de bonte vliegenvanger voor een verrassing als hij in het voorjaar uit Afrika in Nederland aankomt. De lente begint hier steeds vroeger. Hoewel de ouders direct na terugkomst uit Afrika beginnen te broeden (dagen eerder dan in de tachtiger jaren en zonder eerst op krachten te komen), zijn ze toch te laat. Een deel van de jongen komt te laat uit om van de rupsenpiek te profiteren. Er is nog geen invloed op totale populaties aange- toond van deze mistiming in de voedselketen.

4.2 Noordzee en Waddenzee

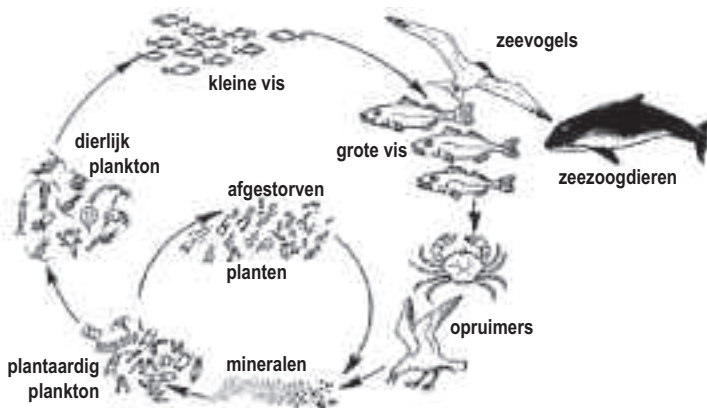
Ecosystemen veranderen

Veranderingen in het plankton, de basis van de voedselketen van de Noordzee en Waddenzee, kunnen ook tot veranderingen in aantallen vissen, vogels en zoogdieren leiden (Figuur 4.6).

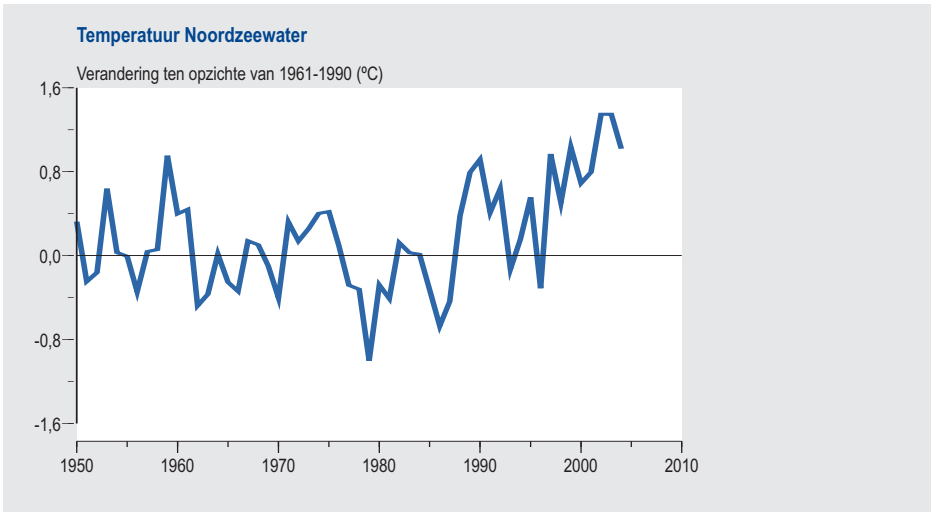
Op het ecosysteem van de Noordzee hebben vooral de volgende factoren grote invloed: de visserij, de belasting met fosfor en stikstof en de Noord Atlantische Oscillatie (NAO: zie paragraaf 2.4). De NAO beïnvloedt op haar beurt de temperatuur, gelaagdheid en stroming van het zeewater. Het is lastig om de invloed van de opwarming van de Noordzee door klimaatverandering (Figuur 4.7) te onderscheiden van bovengenoemde invloeden.

Waarnemingen van onder andere de planktensamenstelling, achteruitgang in zeevogels in de noordelijke Noordzee en verhuizing van bruinvissen lijken er op te duiden dat de temperatuurstijging één van de mogelijke oorzaken is van al deze verschijnselen. Hieronder worden enkele waargenomen veranderingen in de Noordzee besproken, gaande van onder naar boven in de voedselketen.

In een groot deel van de Noordzee neemt de hoeveelheid plantaardig plankton trendmatig af bij een stijgende zeewatertemperatuur. Het hoogtepunt van de voorjaarsbloei wordt eerder bereikt dan voorheen. Het dierlijke plankton, dat het plantaardige plankton eet, is pas later in het seizoen op zijn hoogtepunt, wanneer de beschikbaarheid van plantaardig plankton als voedsel weer is afgenomen. Sommige soorten zijn ook direct gevoelig voor temperatuurstijging.

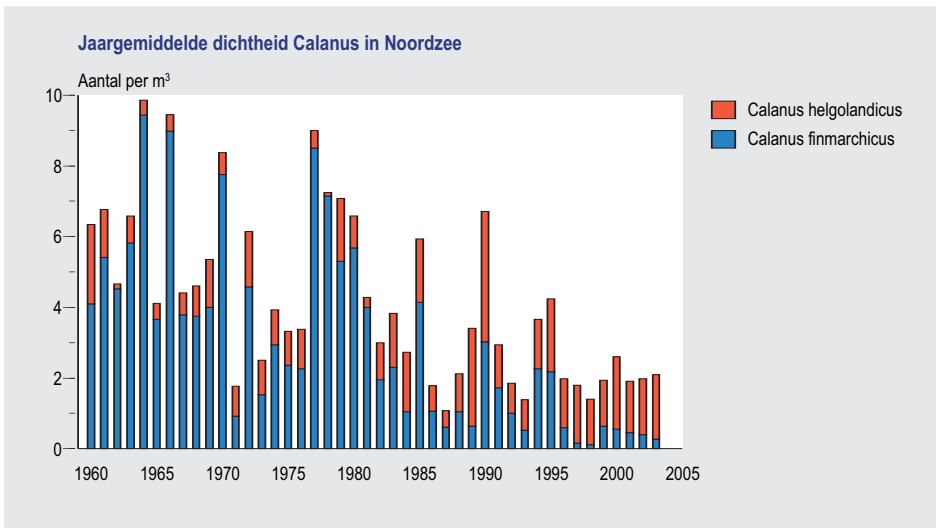


Figuur 4.6 Veranderingen aan de basis van de voedselketen, het plantaardig en dierlijk plankton, werken door tot aan de top, vissen, vogels en zoogdieren (Bron figuur: www.natuurinformatie.nl).



Figuur 4.7 De temperatuur van het zeewater in de Noordzee is hoger vanaf eind 80-er jaren (Bron: KNMI).

In de periode 1980 – 2004 hebben kleinere soorten dierlijk plankton, ook nog eens in kleinere aantallen, de grotere soorten vervangen in het noordelijke deel van de Noordzee. Het verspreidingsgebied van warmteminnend dierlijk plankton in de Noordzee is naar het noorden uitgebreid, terwijl de diversiteit van koudeminnend plankton is afgenomen (Figuur 4.8).

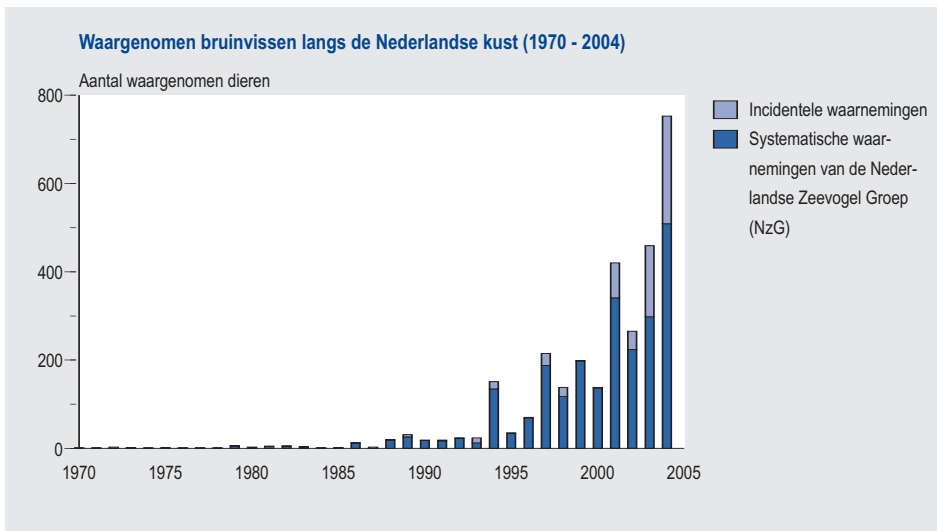


Figuur 4.8 Het roeipootkreeftje Calanus finmarchicus, een koudeminnende dierlijke planktonsoort, komt minder voor in de Noordzee. De warmteminnende Calanus helgolandicus lijkt te stabiliseren of toe te nemen. De som van de twee is afgenomen (Bron: Edwards et al., 2005).

De piek in de planktonbloei is ook niet meer synchroon met het larvestadium van vissen, waardoor er minder vissen volwassen worden. Dit betekent dat er een beperkte hoeveelheid voedsel is voor de hogere niveaus in de voedselketen: vissen (in het bijzonder de zandspiering: een belangrijke voedselbron in het ecosysteem van de Noordzee), vogels en zoogdieren zoals bruinvissen.

Naast overbevissing is de stijgende temperatuur waarschijnlijk mede oorzaak van de slechte stand van de kabeljauw. Er overleven minder larven dan voorheen. Ook dit wordt toegeschreven aan zowel veranderingen in het plankton als aan de directe invloed van de watertemperatuur op de fysiologie van de kabeljauw. Er zijn echter aanwijzingen dat zich ook aan het einde van de 19^{de} eeuw grote verschuivingen in de vispopulaties van de Noordzee hebben voorgedaan, toen er nog geen door de mens veroorzaakte klimaatverandering was. Natuurlijke variaties en andere menselijke invloeden spelen dus waarschijnlijk ook een grote rol.

De bruinvis kwam in de 60-er jaren vrijwel niet meer voor langs de Nederlandse kust. Vanaf de 80-er jaren werd hij in toenemende mate weer gesignaleerd en de afgelopen 15 jaar zijn de aantallen met ruim 40% per jaar toegenomen (Figuur 4.9). Zeer waarschijnlijk betreft het een geografische verschuiving en geen toename in de populatie. De verhuizing van bruinvissen hangt mogelijk (fifty-fifty waarschijnlijkheid) samen met een lokale afname of verschuiving van zijn prooi in de noordelijke Noordzee, waardoor hij naar het zuiden verhuist op zoek naar voedsel. De afname of verschuiving van zijn prooi is waarschijnlijk het indirecte gevolg van de opwarming van het zeewater en de effecten hiervan op de basis van de voedselketen.



Figuur 4.9 Vanaf de 90-er jaren neemt het aantal waargenomen bruinvissen in de Nederlandse kustwateren sterk toe (Bron: Marine Mammal Database; Camphuysen, 2004).

Veranderingen verlopen niet altijd geleidelijk, maar kunnen ook sprongsgewijze gaan. De ecosystemen van de Noordzee en Waddenzee zijn in 1979 en 1988 en mogelijk ook in 1998 ingrijpend veranderd, zowel fysisch-chemisch als biologisch. De veranderingen in de biologie (plankton, vis, vogels, zoogdieren) zijn het duidelijkst. Het lijkt of deze op gang zijn gebracht door eerdere, meer geleidelijke veranderingen in een aantal omgevingsfactoren, die op hun beurt weer mede worden beïnvloed door de interactie tussen de zee en het klimaatsysteem. Zoutgehalte en weersomstandigheden waren belangrijk voor de verandering van het ecosysteem in 1979 terwijl temperatuur en weersomstandigheden domineerden bij de verandering in 1988. Deze resultaten zijn in lijn met waarnemingen in de noordelijke Grote Oceaan en mogelijk ook met de waarnemingen aan weersverschijnselen in Nederland.

Minder schelpdieren in de Waddenzee

De wintertemperatuur is een belangrijke factor in het voortplantingssucces van schelpdieren. Na een strenge winter ontstaat een extra grote nieuwe generatie van schelpdieren, die ook nog zwaarder zijn dan na een zachte winter. Zachte winters hebben een nadelige invloed op de voortplanting van de belangrijkste soorten twee-kleppige schelpdieren (kokkels, nonnetjes en mosselen), zeker als deze enige jaren achtereen voorkomen. Naast dit directe effect speelt ook nog een indirect effect: na een zachte winter verschijnen de belangrijkste roofvijanden, garnalen en strandkrabben, eerder en in grotere getale dan na een koude winter. Zo leidde de opeenvolging van zachte winters in de periode 1988 t/m 1990 tot een sterke achteruitgang van schelpdieren. De visserij kwam in 1991 stil te liggen. Omdat schelpdieren een belangrijke voedselbron zijn voor vogels, leidde hun achteruitgang tot massale sterfte onder vogels, zoals eidereenden en scholeksters, in de winter van 1990/1991. Het klimaat-effect komt bovenop het effect van ander menselijk ingrijpen, zoals de kokkelvisserij en de verstoring van de bodem die hierdoor ontstaat.

4.3 Toekomstige effecten van klimaatverandering

Natuur past zich aan, verhuist of verdwijnt

Klimaatverandering heeft meerdere facetten, die van invloed zijn op de natuur: de stijging van de gemiddelde temperatuur, veranderingen in de gemiddelde neerslag en toename van extremen, frequentere afvoerpieken en droogteperiodes, veranderingen in windrichting, enzovoorts. Gezien de omvang van de verwachte klimaatverandering zijn de effecten op de natuur in de toekomst waarschijnlijk groter, dan wat we nu al waarnemen. Sommige leefgebieden en soorten zullen verdwijnen, nieuwe leefgebieden zullen ontstaan en nieuwe soorten zullen komen. Aan het einde van de 21^e eeuw zal de 'Nederlandse natuur' er waarschijnlijk heel anders uitzien dan nu. Sterk competitieve soorten zullen zich vanuit het zuiden in Nederland vestigen en mogelijk inheemse soorten verdringen. De veranderingen hoeven niet lineair te verlopen, maar kunnen zich plotseling voordoen bij het overschrijden van een drempel. De veranderingen in de rest van Europa, zoals het mediterrane gebied en Scandinavië, zullen waarschijnlijk groter zijn dan in Nederland. Indirect zijn de veranderingen buiten

Nederland van invloed op de natuur in Nederland. Trekvogels kunnen bijvoorbeeld hun stopplaatsen onderweg verliezen.

Sommige planten en dieren zijn gevoeliger voor klimaatverandering dan andere; voor sommige soorten zijn de veranderingen gunstig, voor andere niet. Planten en dieren kunnen zich aanpassen aan klimaatverandering bijvoorbeeld door hun fysiologie of gedrag te veranderen, soorten kunnen zich ook genetisch aanpassen door natuurlijke selectie. Bij zich snel vermenigvuldigende soorten gaat dit laatste uiteraard sneller dan bij soorten die zich langzaam voortplanten. Ook kunnen hele ecosystemen zich aanpassen aan veranderingen. Als een soort niet in staat is om zich (snel genoeg) aan te passen, kan hij verhuizen of zal hij verdwijnen. Dit laatste gebeurt als verhuizen niet lukt, omdat de soort niet mobiel genoeg is, of omdat er geen geschikt leefgebied is binnen zijn bereik.

Warmer in hoog tempo

Hoe verder en sneller de temperatuur stijgt, des te groter zijn de verwachte gevolgen voor de natuur. Als het tempo van temperatuurstijging hoog is, neemt het risico op verlies aan biodiversiteit toe.

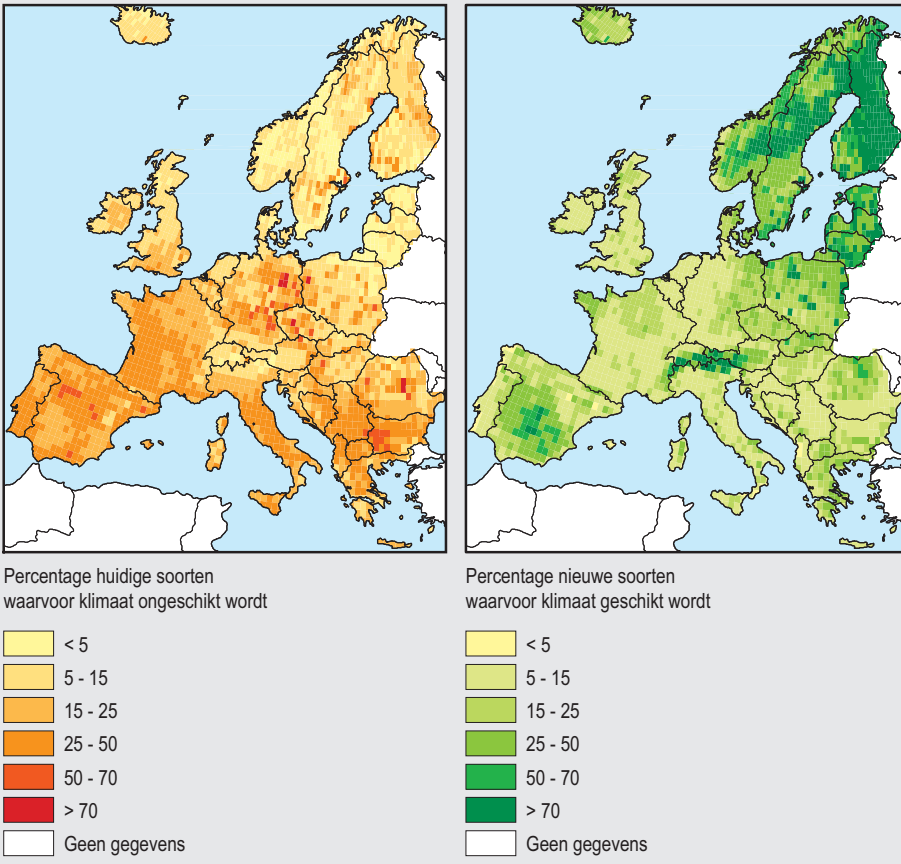
Bij een stijging van 2°C wereldwijd (ten opzichte van circa 1900) verliezen bijvoorbeeld miljoenen ganzen op het noordelijk halfrond de helft van hun huidige broedgebied en zal ruim 30% van de plantensoorten uit ruim 40% van Europa verdwijnen (modelberekeningen). Inheemse en specialistische soorten sterven dan mogelijk uit. De Benelux blijft geschikt voor circa 90% van de huidige plantensoorten (Figuur 4.10) en wordt geschikt voor 5-15% nieuwe soorten. Nieuwkomers zullen zich alleen kunnen vestigen als er geschikte vestigingsplaatsen zijn qua omvang en kwaliteit en als hun migratie niet wordt gehinderd door barrières.

Weinig ecosystemen kunnen zich aanpassen aan een stijging van 3 °C en meer. Ruim 20% van de ecosystemen zullen wereldwijd totaal veranderen en ruim 20% van moerasgebieden zullen verloren gaan.

Niet alleen de temperatuurstijging, maar vooral de snelheid van de stijging is van belang. Een snelheid van 0,1 °C per 10 jaar wordt door velen als een grenswaarde gezien. De helft van de ecosystemen kan zich dan nog aanpassen. Daarboven onder vinden ecosystemen schade. Bij een stijging van 0,3 °C per 10 jaar kan circa 30% van de ecosystemen wereldwijd zich mogelijk aanpassen. De overige raken waarschijnlijk uit evenwicht en worden extra gevoelig voor plagen, ziekten en brand. Bij een stijging van 0,4 °C per 10 jaar degenereren mogelijk (fifty-fifty waarschijnlijkheid) alle ecosystemen en zullen agressieve en opportunistische soorten gaan domineren. De biodiversiteit zal waarschijnlijk laag zijn en er zal meer CO₂ vrijkomen dan er wordt vastgelegd.

In Nederland is de temperatuur de afgelopen 30 jaar met 1 °C gestegen, ofwel 0,3 °C per 10 jaar. Deze snelheid is zo hoog, dat niet-mobiele planten en dieren deze niet

Effect klimaatverandering op planten 1995 - 2050



Figuur 4.10 In 2050 zal het klimaat in de Benelux ongeschikt zijn voor 5-10% van de planten-soorten (uit 1995) en geschikt voor 5-15% nieuwkomers (Bron: Bakkenes et al., 2002).

bij kunnen houden. Daarbij komt dat planten en dieren in het dichtbevolkte en -bebouwde Nederland overall barrières tegenkomen en zich dus niet altijd kunnen verplaatsen.

Om de huidige temperatuurstijging bij te houden is een verplaatsingssnelheid van 4 km per jaar nodig, ofwel over het hele jaar gemiddeld circa 10 meter per dag, ongeacht het seizoen. Dieren en planten die in Nederland aan de noordgrens van hun verspreidingsgebied zitten, kunnen hun leefgebied verder noordwaarts uitbreiden, als ze voldoende mobiel zijn. Vooral warmteminnende dieren en planten kunnen zich uitbreiden bij de stijgende temperatuur, mits er geschikte leefgebieden zijn. Noordelijke soorten krijgen het moeilijk. In Tabel 4.1 zijn voorbeelden gegeven van reacties van soorten op de temperatuurstijging.

Tabel 4.1 Verwachte reactie van enkele dieren en korstmossen op temperatuurstijging in Nederland.

Soort	Gevolgen temperatuurstijging
Amfibieën en reptielen Heikikker	Houden van warmte, profijt, mits geschikt leefgebied Risico uitsterven in sterk versnipperde leefgebieden, doordat heidevennen te snel opwarmen
Noordelijke watervogels Wilde zwaan, grote zaagbek	Overwinteren in strenge winters. Noordwaartse verschuiving vorstgrens maakt Nederland minder aantrekkelijk
Wintertaling, tafeleend, kuifeend, toppereend	Komen niet meer naar Nederland, maar blijven ter hoogte Baltische staten
Diverse trek- en standvogels	Toename overleving winter
Zuidelijke vlinders, mobiel en algemeen	Uitbreiden in Nederland
Dagvlinders van hoogveen: veenhoobeestje, veenbesparelmoervlinder, veenbesblauwtje. Zilveren maan, aardbeivlinder	Risico uit Nederland te verdwijnen, risico uitsterven bij onvoldoende migratiemogelijkheden
Noordelijke libellen: noordse waterjuffer, noordse glazenmaker, venwitsnuitlibel	Verdwijnen uit Nederland, want aan zuidwestelijke grens verspreidingsgebied
Zuidelijke libellen	Breiden uit naar Nederland
Noordelijke, bodembewonende korstmossen, korstmossen in oude restanten bos	Risico uitsterven, want leefgebied (stuifzand, duinen, oud bos) is versnipperd

Klimaatverandering legt extra stress op de natuur, die toch al onder druk staat. De vereiste migratiesnelheden zijn mogelijk (fifty-fifty waarschijnlijkheid) veel groter dan na de ijstijden. Ecosystemen raken zo uit evenwicht, waardoor ze extra gevoelig worden voor ziekten, plagen, droogte en brand.

Doordat dieren en planten zich in verschillend tempo aanpassen aan de temperatuur, kunnen de problemen binnen de voedselketen groter worden. Dit kan consequenties hebben voor de overleving van de betrokken soorten. Het meeste risico lopen soorten die afhankelijk zijn van een beperkt aantal relaties in hun voedselweb met een korte overlaptijd. Extra kwetsbaar zijn mogelijk ook de langeafstandstrekkingen, omdat ze afhankelijk zijn van verschillende leefgebieden die wellicht op verschillende wijzen veranderen door het klimaat. Ook veranderingen in windpatronen kunnen een extra probleem gaan vormen voor deze trekkers.

Neerslag, verdamping en waterbeheer van grote invloed op natuur

Natte natuurgebieden, zoals natte hooilanden, rivierbossen en grienden, kunnen profiteren van de toenemende neerslag in winter en voorjaar, de ondiepere voorjaarsgrondwaterstanden en de toename van kwel. Of dit ook gebeurt, is afhankelijk van de manier waarop in het waterbeheer wordt omgegaan met deze veranderende weersomstandigheden: als water wordt vastgehouden en niet als overtollig water direct weer afgevoerd, krijgt de natuur extra kans. Door de hogere verdamping zullen de zomers echter droger worden en de watertekorten groter. Hierdoor zal óf het zomerpeil verder zakken dan nu, óf er zal in gebieden met een beheerd waterpeil meer water ingelaten worden van een kwaliteit die mogelijk niet voldoet aan de natuureisen. Watervoorziening voor natuur staat op dit moment niet op de prioriteitenlijst voor de verdeling van water in perioden van schaarste. Droogte heeft negatieve gevolgen voor waardevolle natuur zoals bronbossen, veenmosrietlanden, trilvenen, blauwgraslanden, natte duinvalleien, natte heide en hoogveen. Deze gebieden herstellen zich moeilijk van droogte en vragen ook om een specifieke waterkwaliteit. Voedselarme natuur lijkt gevoeliger dan voedselrijke. Bovendien speelt mee dat natuurgebieden, die nu al last hebben van verdroging, geen buffer meer hebben. Deze worden harder getroffen door droogte dan niet verdroogde gebieden.

Een warmer klimaat en drogere zomers leiden tot verdroging, vermessing en verzilting van moerassen. Het vaker vóórkomen van extreme weersomstandigheden kan nadelig zijn voor laagdynamische natuur, vooral als het leefgebied sterk versnipperd is. Moerasvogels, zoals de roerdomp, de grote karekiet en de snor, kunnen in de broedtijd te maken krijgen met droogte, maar ook met overstromingen, waardoor het broedsel mislukt.

Meer algenbloei in meren, andere vissen in kleine wateren

Stijging van de temperatuur zal waarschijnlijk de bloei van blauwalgen en botulisme bevorderen in de Nederlandse meren, met kans op sterfte onder de watervogels. Ook zal een hoge temperatuur troebele systemen in stand houden en daarmee het effect van herstelmaatregelen teniet doen. Toenemende neerslagpieken vergroten de uitspoeling van fosfor uit de bodem naar het oppervlaktewater en de fosforbelasting van meren. Meer fosfor betekent grotere kans op algenbloei, waardoor meren troebel worden. Troebele meren hebben een veel lagere biodiversiteit dan heldere.

Hogere temperaturen leiden tot verschuiving in de populatie vissen in wateren. Warmer water kan minder zuurstof bevatten dan kouder water. Vissen die veel behoefte hebben aan zuurstof kunnen stikken, zoals de snoek, voorn, baars en snoekbaars. Vissen van ondiepe polderwateren, zoals karper, kleine modderkruiper en zeelt, kunnen wel goed tegen weinig zuurstof. Ook de meerval voelt zich fijn in zuurstofarm en warm water.

Bij een temperatuurstijging van 2 tot 5 °C zal de soortenrijkdom in beken kunnen toenemen. Indien wateren echter gaan droogvallen, zal het aantal soorten drastisch

afnemen tot alleen soorten die zich hieraan hebben aangepast (enkele soorten muggen, vliegen en kevers).

Mogelijk dubbele effecten op schelpdieretende vogels in de Waddenzee

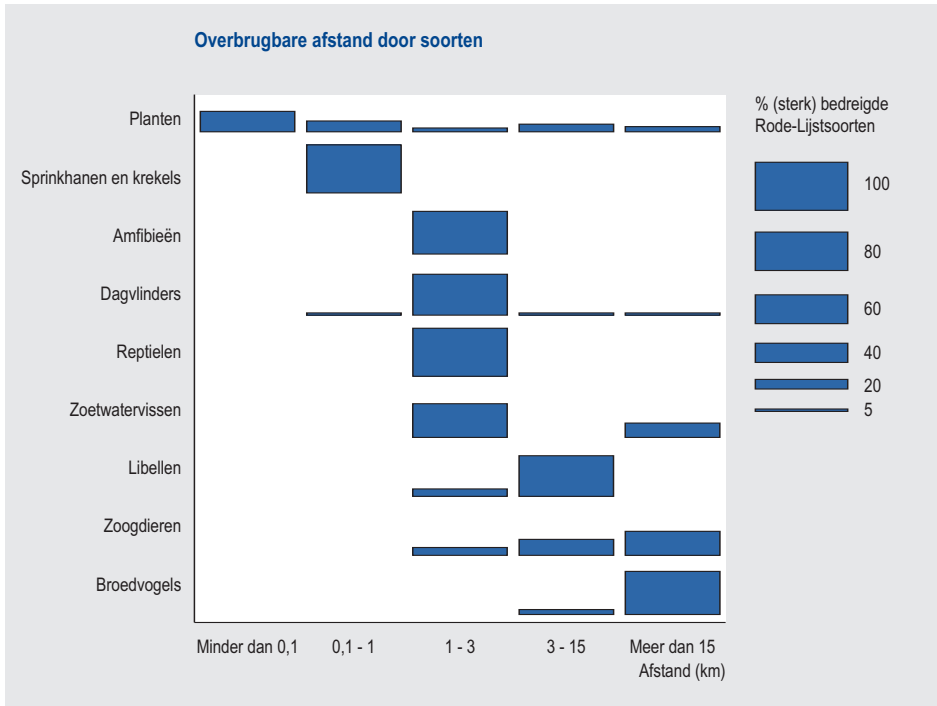
De verwachting is dat, met stijgende temperaturen in de Waddenzee, in de naaste toekomst de voortplanting van schelpdieren verder zal teruglopen, waardoor de schelpdieretende vogels als kanoeten, scholeksters en eidereenden steeds minder voedsel vinden. Als daar in de tweede helft van deze eeuw een zeespiegelstijging van meer dan 60 cm bijkomt, dan worden de schelpdiereters mogelijk dubbel getroffen. Niet zozeer de absolute stijging, maar vooral de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt, is van belang. Als deze boven een kritische waarde komt, zal de sedimentatie deze mogelijk niet meer bijhouden en zullen zandplaten en kwelders 'verdrinken'. Naar schatting ligt deze kritische grens op 3 tot 6 mm/jaar. Als zandplaten en kwelders verdwijnen, dan zullen ook de vele hiervan afhankelijke planten en dieren (zoals schelpdieretende vogels) verdwijnen. Ook andere invloeden zoals eutrofiëring en visserij spelen mee. De temperatuur heeft mogelijk ook effect op de beschikbaarheid van voedingstoffen.

4.4 Inspelen op klimaatverandering

Robuuste verbindingen belangrijk

Het merendeel van de broedvogels en zoogdieren op de Rode Lijst (zeldzame en bedreigde soorten) kan redelijk grote afstanden afleggen. Als hun leefgebieden niet te versnipperd zijn, kunnen deze dieren mogelijk meeverhuizen. Het zijn vooral de planten, dagvlinders, sprinkhanen en krekels die het risico lopen het tempo niet bij te kunnen houden (Figuur 4.11). Planten en dieren waarvoor Nederland aan de zuidelijke grens van het verspreidingsgebied ligt, bevinden zich in de gevarenzone. Zij lopen de kans uit Nederland te verdwijnen en uit te sterven, als elders (nog) geen geschikt leefgebied is. Niet-mobiele soorten met versnipperde leefgebieden zijn kwetsbaar, zoals soorten van bossen, moerassen en heide.

Het zal niet altijd haalbaar blijken om bepaalde habitats, planten en dieren in een aangewezen gebied te beschermen, zoals nu in het natuurbeleid wordt nagestreefd. Wel kan het natuurbeleid zorgen voor samenhangende natuurgebieden van goede kwaliteit, die plaats en leefvoorwaarden kunnen bieden aan vele soorten: de blijvers, de nieuwkomers en de doortrekkers. Een robuuste Ecologische Hoofdstructuur met kerngebieden en verbindingen tussen deze kerngebieden, maakt het soorten gemakkelijker om de klimaatverandering te volgen, door verschuiving van het leefgebied. Dat werkt slechts als ook op Europees niveau de verbindingen aanwezig zijn (het 'Natura 2000' netwerk).



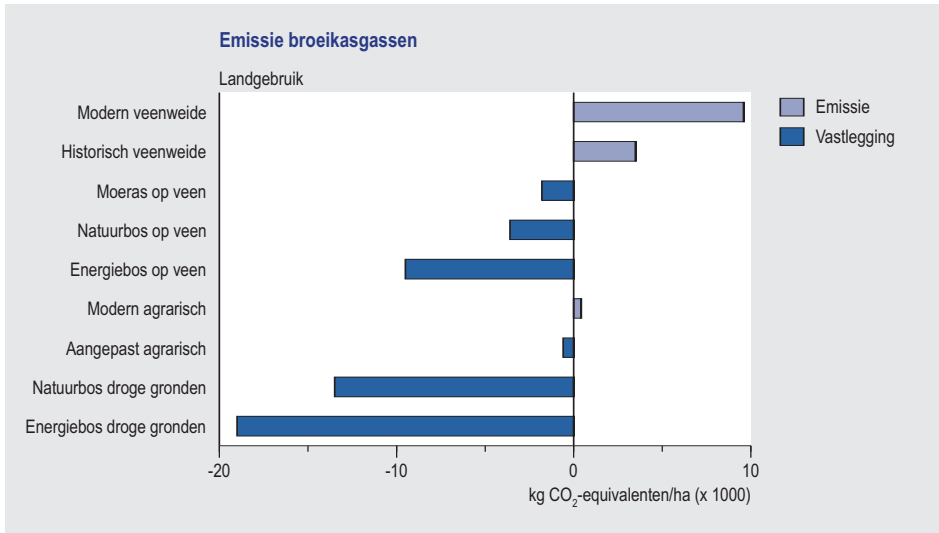
Figuur 4.11 De afstand die beschermde planten en dieren in één generatie kunnen overbruggen varieert van minder dan 10 centimeter tot meer dan 15 kilometer (Bron: Alterra, bewerkt voor Milieu- en Natuurplanbureau, 2003).

Ruimte voor water geeft kansen voor natuur

Sinds de twee hoogwatergolven in de rivieren in de 90-er jaren, staat in het rivierengebied de veiligheid voorop en is 'ruimte voor de rivier' een belangrijk thema. Mede als gevolg van klimaatverandering kunnen ook in de toekomst grote afvoerpieken worden verwacht en zullen verdere aanpassingen in het riviersysteem nodig zijn. Natuur kan profiteren van de aanleg van natte natuur als onderdeel van deze aanpassingen. Door de ruimtelijke samenhang in het rivierengebied kunnen dit grote, aaneengesloten gebieden worden. Door de eisen van het waterbeheer zal het hier gaan om robuuste natte natuur, die tegen hoge dynamiek kan: zachtouthoutoibos, rietmoerassen en ook biezenhorzen (als de getijdenwerking in Haringvliet en Biesbosch weer zal toenemen). Deze natuur zal in eerste instantie vooral worden gekoloniseerd door zich makkelijk verspreidende soorten. Als concessie aan het waterbeheer, zullen de oibossen een geringere oppervlakte innemen dan vanuit het oogpunt van natuur gewenst is, omdat oibossen de waterafvoer stremmen.

Natuur kan koolstof opslaan

Nederland streeft ernaar om het areaal bos uit te breiden tot 410.000 hectare in 2018. Hiermee kan extra koolstof worden vastgelegd (Figuur 4.12). Natuur- en klimaatdoelen kunnen zo beide worden gediend. In het veenweidegebied kan de omzetting van



Figuur 4.12 In moerassen en bossen worden broeikasgassen vastgelegd (Bron: Kuikman et al., 2002; Van den Born et al., 2002; Nabuurs et al., 1996 en 2000; Van den Bos, 2003).

weiland naar bos of moeras ook tot afname van de emissie van broeikasgas leiden. De mogelijk extra emissie van methaan uit de moerassen wordt ruim gecompenseerd door de vastlegging van CO₂. Vernatting en stimuleren van veengroei kunnen de bodemdaling in laag-Nederland vertragen. De bodem zakt daar momenteel met 0,5 tot 1 cm per jaar (zie Hoofdstuk 3).

5 Wat merkt de landbouw van klimaatverandering?

Kernboodschappen:

- Klimaatverandering heeft mogelijk zowel positieve als negatieve effecten op de landbouwproductie en de landbouweconomische situatie.
- De negatieve effecten zijn groter als extreme klimaatomstandigheden vaker voorkomen of langer aanhouden.
- Landbouwsectoren spelen in op veranderingen in natuurlijke en economische omstandigheden. Anticipatie op veranderend klimaat kan risico's beperken en kansen vergroten.

5.1 Klimaatverandering als één van de invloeden op de landbouw

Landbouw is de overkoepelende aanduiding voor heel verschillende sectoren: veehouderij, akkerbouw en (glas)tuinbouw. De effecten van klimaatverandering, of anders gezegd de directe en indirecte gevolgen van de veranderingen in neerslag en temperatuur in ruimte en tijd en van het toenemende CO₂-gehalte, verschillen per sector. Sommige sectoren zullen profiteren, terwijl andere grote nadelen ondervinden. De economische effecten van verandering van fysieke opbrengsten hangen mede af van marktprijsontwikkelingen. Die staan zelf weer onder invloed van de gevolgen van klimaatverandering buiten Nederland en van de wereldmarkt.

Belangrijk is de constatering dat de landbouw, behalve van natuurlijke omstandigheden (m.n. klimaat, bodemgesteldheid, plagen), ook sterk afhankelijk is van de keuzen die de ondernemer zelf maakt (bijv. gewas- en raskeuze, managementbeslissingen) en van landbouweconomische aspecten (kosten, prijs, subsidies, wereldhandel). Het gemeenschappelijk Europees landbouwbeleid en nationale ontwikkelingen (ruimtelijke ordening, water-, natuur- en milieubeleid) zijn mede bepalend voor de uiteindelijke omvang van de economische effecten voor de sector. Er zijn geen studies bekend waaruit het relatieve belang van elk van deze samenhangende invloeden kan worden gehaald. Geschat wordt dat de invloed van Europees landbouwbeleid en de markt dominant zijn. Samenhangend landbouweconomisch scenario-onderzoek kan hierin duidelijkheid brengen.

Mogelijke effecten van klimaatverandering voor de landbouw in Nederland zijn:

- hogere, maar soms ook lagere opbrengst; wellicht andere gewaskeuze,
- zaai- en oogstproblemen en glas- en gewasschade door extreme regen (ook met hagel),
- oogstverliezen door insecten- en schimmelplassen,
- nachtvorstschade, vooral in de fruitteelt,
- niet gelijk oplopen van gewasontwikkeling en bestuiving door insecten,

- gevolgen van verzilting,
- een lagere energierekening in de glastuinbouw en een hogere in de veeteelt door de noodzaak van het koelen van stallen,
- minder gunstige productieomstandigheden in Zuid-Europa en mogelijk gunstiger in Noord-Europa.

Al deze effecten kunnen in meer of mindere mate optreden, weinig of zeer frequent, lokaal of over grote gebieden, in droge of juist in de natte delen van het land, één of meerdere landbouwsectoren treffen en al dan niet leiden tot economische schade die de draagkracht overstijgt.

Vooraf de frequentie en omvang van klimaatgerelateerde gebeurtenissen en de (economische) buffercapaciteit van de landbouwsectoren zijn bepalend voor de gevolgen. De landbouwsector toont een sterk innovatief karakter en is vertrouwd met aanpassingen aan veranderende omstandigheden. Toch is alertheid voor de gevolgen en wellicht anticipatie geboden, gezien de mogelijk sterke effecten van klimaatverandering, maar ook gezien de kansen die deze bieden.

5.2 Stijging CO₂ -gehalte geeft hogere productie

Het CO₂ gehalte is in de afgelopen twee eeuwen toegenomen met 100 ppm tot 380 ppmv (deeltjes per miljoen, op basis van volume; zie hoofdstuk 2). De scenario's die gebruikt worden voor de klimaatverwachting voor Nederland laten een verdere toename zien; de range loopt van 500 tot 900 ppmv in 2100. Een verhoging van de CO₂-concentratie in de lucht kan leiden tot een verhoging van de fysieke landbouwproductie. Deze opbrengstverhoging is gewasafhankelijk. Een voorwaarde is wel dat de teeltcondities optimaal zijn. Bij een verdubbeling van de CO₂-concentratie kan de opbrengst wel 15-20% hoger zijn. Een positief neveneffect van de hogere CO₂-concentraties is de hogere waterefficiëntie. Deze wordt echter teniet gedaan, omdat de verdamping door de hogere temperatuur ook toeneemt. Het netto effect is dat de totale gewasverdamping nauwelijks verandert. Deze analyse wordt overigens niet door alle instellingen onderschreven. Het verschil van inzicht kan slechts met nader veld- en laboratoriumonderzoek worden opgelost.

Uit onderzoek uit 1998 naar de effecten van klimaatverandering op de opbrengst van landbouwgewassen in Nederland blijkt, dat grasland, suikerbieten en wintertarwe profiteren en dat snijmaïs een lagere opbrengst geeft. De resultaten zijn het effect van een veranderende CO₂-concentratie, temperatuur en een iets hogere neerslag (zie Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Relatieve verandering in fysiek productie per ha in Nederland in procenten in 2020 en 2050 (bron: Schapendonk et al, 1998).

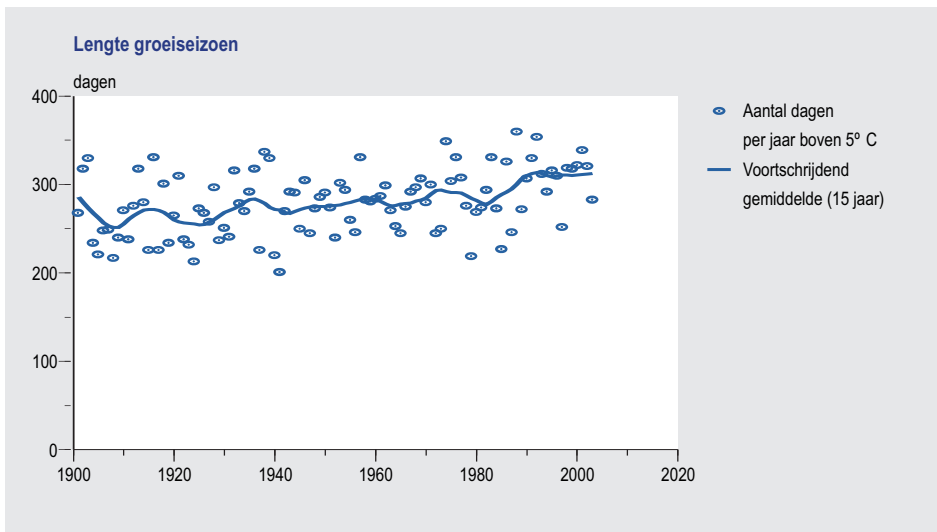
Jaar	Omschrijving *	klimaatkenmerken			resultaten			
		CO ₂ - concentratie	Neerslag	Temperatuur	Winter tarwe	Snij- maïs	Suiker- bieten	Gras- land
1990	Referentie jaar	354	794	9,3	100,0	100,0	100,0	100,0
2020	Laag scenario	425	794	10,8	103,7	93,1	116,2	118,2
2020	Hoog scenario	438	794	10,9	104,3	92,2	118,1	120,6
2050	Laag scenario	512	794	12,3	105,1	84,0	129,0	139,6
2050	Hoog scenario	566	794	12,8	107,6	83,8	135,1	149,1

* Betreft resultaten van een studie uit 1998, daarbij is gerekend met andere klimaatscenario's dan in hoofdstuk 2 van deze publicatie.

5.3 Hogere temperatuur, uiteenlopende effecten

De gemiddelde temperatuur in Nederland is nu circa 1 °C hoger dan aan het begin van de 20^e eeuw. Dit leidt tot een toename van de lengte van het groeiseizoen. Het groeiseizoen blijkt gemiddeld over de laatste 15 jaar, ruim 3 weken langer te zijn geworden dan in de periode 1961-1990 (Figuur 5.1).

De lengte van het groeiseizoen laat op veel weerstations in Noordwest-Europa een gestage stijging zien, vergelijkbaar met de stijging in Nederland. In de periode 1995-2050 zal het groeiseizoen naar verwachting verder toenemen in grote delen van Europa. De opwarming is over de periode 1901-2004 homogeen over de maanden van



Figuur 5.1 Ontwikkeling lengte groeiseizoen (Bron: Rooijers et al 2004).

het jaar geweest. Het groeiseizoen wordt niet alleen bepaald door de temperatuur. Planten kunnen alleen groeien als er ze voldoende vocht krijgen (neerslag plus eventuele irrigatie min verdamping). Het groeiseizoen in Zuid-Europa wordt voor niet-geïrrigeerde landbouw korter, door vermindering van de neerslag en toename van de verdamping. De gevolgen van deze verandering zijn, dat de teeltcondities voor grondgebonden teelten in Noordwest-Europa gunstiger worden en dat de situatie in Zuid-Europa op termijn minder gunstig zal zijn. De landbouweconomische gevolgen van deze verandering zullen naar verwachting met name in Zuid-Europa negatief zijn en mogelijk positief voor de meer gematigde regio's.

Door stijging van de temperatuur zullen planten in het voorjaar eerder uitlopen en bloeien fruitbomen eerder. Kijken we alleen naar het effect van een hogere temperatuur (dus zonder de toename van CO₂ en veranderingen in de neerslag), dan zullen sommige gewassen, w.o. knolgewassen en maïs profiteren van de hogere temperatuur en het langere groeiseizoen (hogere opbrengst, en hoger suikergehalte in suikerbieten). Granen, profiteren daar niet van, omdat het graan eerder afrijpt en dus korter de tijd heeft gehad om te groeien. Bij een stijging van meer dan 2 of 3 graden zal het negatieve effect groter en de opbrengst voor de landbouw als totaal lager zijn.

Over de kans op nachtvorst bij klimaatverandering is weinig bekend. Een nadeel van het vroege uitlopen is wel dat de kans op nachtvorstschade in het vroege voorjaar groter is, vooral voor de fruittelers. Dit is in het voorjaar van 2005 voorgevallen in Flevoland. De schade werd zo groot, omdat de nachtvorst relatief plotseling optrad en de periode ervoor relatief warm was geweest, waardoor bloesem, vruchtvorming en sapstromen al op gang waren gekomen.

Voor de melkveehouderij kan een hogere temperatuur tot gevolg hebben dat de behoefte aan ruwvoer afneemt, omdat de beweidbare periode langer wordt. Daartegenover staat dat er in de zomer meer energie nodig zal zijn om de stallen te koelen. In de glastuinbouw zal m.n. het energieverbruik afnemen bij een hogere wintertemperatuur. Ook ontstaan kansen voor andere gewassen dan nu worden geteeld.

Een stijging van de temperatuur versnelt de ontwikkeling van insecten. Deze zijn sneller vruchtbaar. Dat kan leiden tot grotere populaties met mogelijk (fifty-fifty waarschijnlijkheid) meer vraat en het mogelijk asynchroon zijn van bestuiving en gewasontwikkeling.

Het is de verwachting, dat ziekteverwekkende organismen uit zuidelijke en mediterrane gebieden in Nederland kunnen binnendringen en overleven. Dit kan opbrengstschade geven. In hoeverre dit een tijdelijk verschijnsel zal zijn en hoe groot de mogelijke omvang ervan zal zijn, is niet te voorzien. De overlevingskansen voor insecten en ziekteverwekkende organismen nemen vooral toe, omdat er in de winter minder vorst is. Ook aardappelen, die bij de oogst in de grond zijn blijven zitten (bijvoorbeeld omdat het oogsten door wateroverlast moeilijk was), kunnen bij minder vorst gemakkelijker ziekten doorgeven.

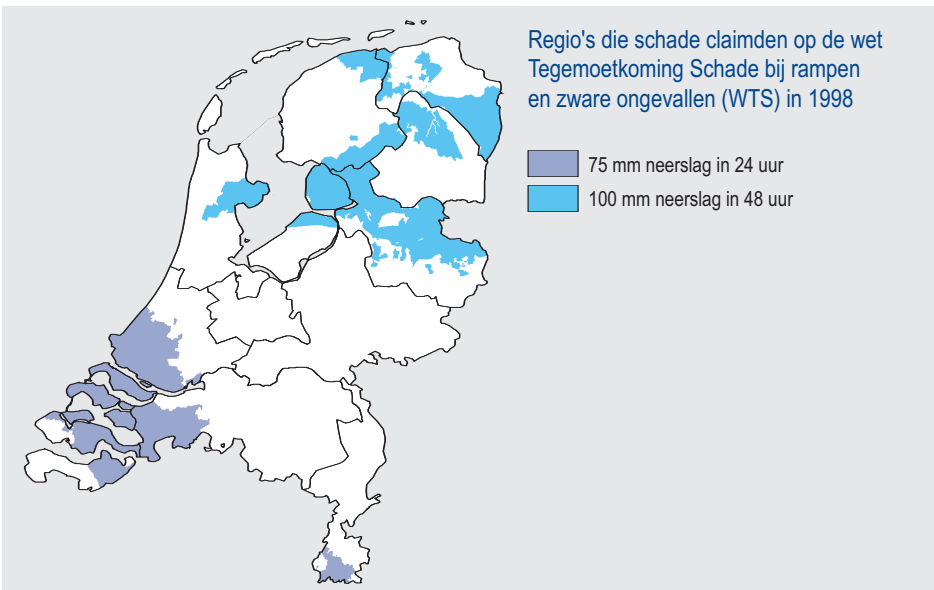
5.4 Meer dynamiek in neerslag, meer risico's voor de landbouw

De scenario's, die gebruikt worden voor de klimaatverwachting voor Nederland (zie Hoofdstuk 2), laten een toename van zowel de winter- als de zomerneerslag zien en een hogere verdamping in de zomer. Gezien de onzekerheid over de ontwikkeling van de neerslag in de zomer en de problemen tijdens droge zomers (o.a. 2003) is er door het KNMI ook een droog scenario doorgerekend. Kwantificering van deze effecten in termen van landbouwschade heeft nog niet plaatsgevonden.

Wateroverlast

Een verhoogde neerslagdynamiek en -intensiteit (zie Hoofdstuk 2) zullen direct doorwerken in de agrarische bedrijfsvoering. De bewerkbaarheid en berijdbaarheid van het land worden minder. Dit geldt in het voorjaar voor zaaien en poten en in het najaar voor de oogst van late gewassen zoals (poot)aardappelen en bieten. Ook grondbewerking en bemesting in het voor- en najaar kunnen minder goed plaatsvinden. Dit leidt tot opbrengstderving en oogstschade. In 1998 waren er twee regio's in Nederland waar sprake was van extreme regenval met een totale schade van ongeveer 600 miljoen euro (zie Figuur 5.2). Via de Oogstschaderegeling en de Wet Tegemoetkoming Schade bij rampen en zware ongevallen (WTS) werd 70% van de schade vergoed aan de boeren. De laatstgenoemde regeling keert alleen geld uit wanneer een deel van de schade mede veroorzaakt wordt door besluiten van beleidsmakers.

Veranderingen in neerslagdynamiek en -intensiteit leiden ook tot hogere frequentie van piekafvoeren in beken en rivieren (zie Hoofdstuk 3). De behoefte om waterber-



Figuur 5.2 Extreme Neerslag en landbouw (Bron: van Duinen et al., 1999).

ging te realiseren neemt toe. Natschade of beperkende maatregelen voor landbouwactiviteiten in landbouwgebieden langs de grote rivieren kunnen hiervan het gevolg zijn. Piekafvoeren in combinatie met zeespiegelstijging verhogen de behoefte aan waterbufferende en waterbergende functies. Polders met een beperkte bergingscapaciteit zullen vaker worden getroffen door wateroverlast in winter en voorjaar als de afwateringscapaciteit te beperkt is. Dit beperkt de toegankelijkheid van het land voor bemesting, grondbewerking en weidegang voor vee. In hoeverre lagere (economische) opbrengsten het gevolg zijn, is niet op voorhand aan te geven. De landbouweconomische verliezen kunnen (gedeeltelijk) worden afgedekt via afspraken tussen waterbeheerders en landbouwbedrijven ('Blauwe functies').

Droogte

Nederland kent een neerslagtekort (cumulatieve som van neerslag en verdamping) in de zomer. Dit tekort wordt niet als een probleem ervaren, juist omdat het ieder jaar voorkomt en de bedrijfsvoering daarop is ingesteld (door te beregenen). Het oppervlaktewatersysteem is meestal goed in staat te voldoen aan de watervraag (bij de huidige omvang van de beregening), zelfs in jaren met extreme droogte. De schade ontstaat, doordat de gewassen niet die hoeveelheid kunnen verdampen, die nodig is voor een optimale groei. Dit is vaak een gevolg van te beperkte beregeningscapaciteit of een beregeningsverbod. Dat laatste is een maatregel, die veelal wordt genomen om, bij beregening met grondwater, te lage grondwaterstanden te voorkomen. In West-Nederland geldt ook, dat het zoutgehalte van het oppervlakte- of grondwater een belemmering vormt voor beregening (zie ook paragraaf 5.5).

Bij een veranderend klimaat krijgt Nederland te maken met toenemende watertekorten. In neerslagafhankelijke gebieden, vooral de hoger gelegen en droogtegevoelige zandgronden, zal een verhoogde neerslagdynamiek ook een negatief effect hebben op de productieomvang en productkwaliteit door droogteschade. De mate van schade zal mede afhangen van de beregeningscapaciteit en eventuele beregeningsverboden (als andere functies van het grond- en oppervlaktewater prioriteit hebben). De effecten zijn nog groter in het droge scenario (zie Hoofdstuk 2). In lagere delen van Nederland zal meer water moeten worden aangevoerd voor peilbeheersing en bestrijding van de verzilting.

Overige weerseffecten

In erosiegevoelige gebieden, zoals het Zuid-Limburgse lösslandschap, zal door verhoogde neerslagintensiteit de erosie toenemen. In de lagere delen van Nederland zal vooral de akkerbouw meer last krijgen van een periodiek hoger (grond)waterpeil.

Veranderingen in de frequentie en dynamiek van de klimaatparameters zullen een direct effect hebben op het risico van oogstderiving en de kwaliteit van het product. Frequentie en omvang van schade aan gewassen en kassen ten gevolge van extreem weer (hevige buien met zware windstoten, hagel) kunnen toenemen, maar hiervoor kan geen kwantitatief beeld worden gegeven. Schade door hagel of storm aan gewassen en kassen kan in Nederland via private verzekeraars worden afgedekt.

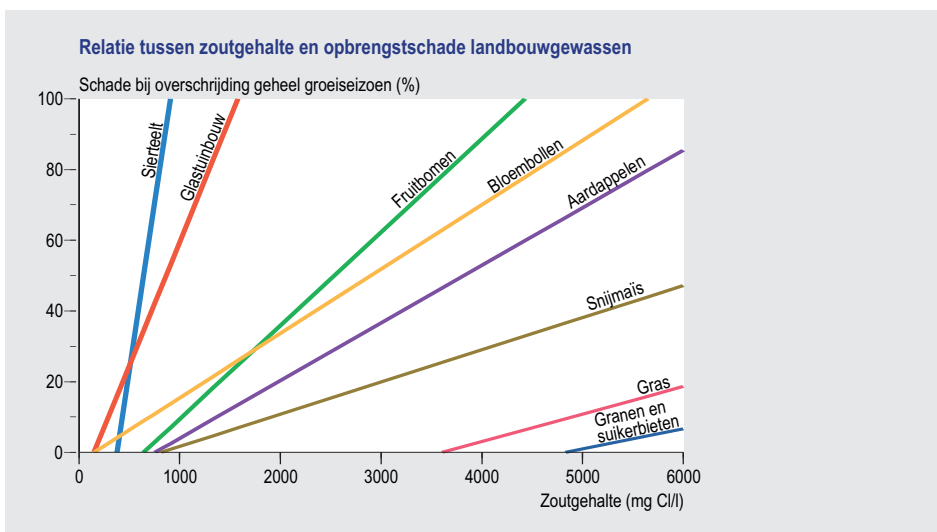
5.5 Verzilting neemt toe bij stijgende zeespiegel en dalend land: hogere landbouwschade

In de kustzones zal ten gevolge van zeespiegelstijging de zoute kwel toenemen. Daarmee versnelt de verzilting van het grond- en oppervlaktewater. Als zouter water door de toename van zoute kwel in het bovenste grondwater en de sloten komt, is dit nadelig voor de bestaande land- en tuinbouw met een lage zouttolerantie. Verschillende landbouwgewassen stellen verschillende eisen aan het zoutgehalte van beregeningswater, aan de hoeveelheid beregeningswater en aan de grondwaterstand.

De gevoeligheid van gewassen voor zoutconcentraties is door Alterra bepaald met schadefuncties. Boven een drempelwaarde neemt de gewasschade lineair toe met toenemend zoutgehalte (Figuur 5.3). Met name boomteelt, glastuinbouw en fruitteelt zijn zeer gevoelig. Er kan al bij lage zoutconcentraties aanzienlijke schade optreden. In de droge zomer van 2003 had de boomteelt te maken met schade door verzilting in Midden-Nederland. Gras, granen en suikerbieten zijn maar weinig gevoelig voor het bodemzoutgehalte

Vooral de diepe polders in West-Nederland, maar ook de veenweidegebieden, zullen in toenemende mate last krijgen van de zoute kwel. De behoefte aan zoet water voor doorspoeling neemt dan toe. In droge jaren is dat niet altijd voorhanden (zie Hoofdstuk 3).

De uitkomsten van de modellering van verzilting bij verschillende klimaatscenario's en zeespiegelstijging kennen veel onzekerheden. RIZA en KIWA stellen dat de verschillen in intensiteit van de kwelstroom (zoutbezwaar) tussen een gemiddeld en extreem droog jaar in de huidige situatie klein zijn. Het hoogste zoutbezwaar komt in



Figuur 5.3, Zoutschadefuncties voor landbouwgewassen (Bron: Droogtestudie, 2005).

de huidige situatie voor in de kuststrook van Friesland en Groningen, de IJsselmeerpolders, Zeeland en de Haarlemmermeerpolder. Uit een klimaatstudie van het RIZA blijkt dat de zoutconcentraties in het oppervlaktewater, vooral in de genoemde gebieden sterk toenemen in een extreem droog jaar. In de toekomstscenario's neemt het zoutbezwaar vooral toe door de combinatie van de toegenomen kweldruk, afname van de effectieve neerslag (= neerslag min verdamping), bodemdaling en zeespiegelstijging. De effecten zullen het grootst zijn in extreem droge jaren en minder in gemiddelde jaren. De landbouwgebieden in Groningen, Friesland, Noord- en Zuid-Holland zijn het meest afhankelijk voor de watertoevoer van het oppervlaktewater en lijken daarmee het meest gevoelig te zijn voor schade door verzilting. De gevoelige teelten komen daar veelvuldig voor.

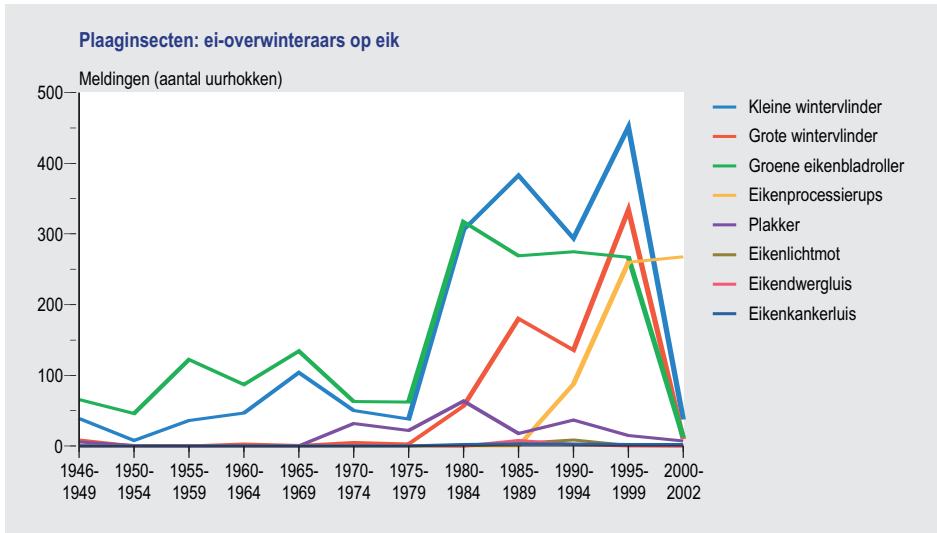
5.6 Ziekten en plagen nemen toe

De kans voor vestiging van nieuwe ziekten en plagen neemt door klimaatverandering toe. In een recente publicatie van de Plantenziektenkundige Dienst, over de negatieve ontwikkeling van ziekten, plagen en onkruiden in de periode 1998-2004, wordt naar voren gebracht door sectordeskundigen dat plagen, die normaal gesproken zuidelijker dan Nederland voorkomen, nu ook in Nederland worden waargenomen. Dit voorkomen wordt met name gerelateerd aan de verandering van het klimaat. Zo waren de laatste 5 jaar relatief warm en de winters nat.

Een voorbeeld van een mogelijke toekomstige bedreiging is de Maïswortelkever, die met een opmars in Europa bezig is. De van oorsprong in de VS en Mexico voorkomende kever is via transport in Zuid-Europa terechtgekomen en heeft zich verder verspreid (zowel natuurlijke verspreiding als via transport) naar andere delen van Europa en is sinds 2004 ook in Nederland gesignaleerd. Nederland ligt momenteel op de rand van het mogelijke verspreidingsgebied. Bij verdere temperatuurstijging verschuift deze grens verder naar het noorden. Klimaatstudies van onder andere de Plantenziektenkundige Dienst tonen aan dat de Maïswortelkever zich nu in Nederland kan vestigen en ontwikkelen. Ervaringen uit andere landen leren dat, als de kever niet goed wordt bestreden, de oogstverliezen op de percelen met continueelt kunnen oplopen tot 6,5 à 13%. Voor snijmaïs, dat met ruim 200.000 hectare verreweg het belangrijkste maïsgewas is in Nederland, betekent dat een economisch verlies van € 15 miljoen tot € 30 miljoen op jaarbasis (bij een handelswaarde van € 1.550 per hectare).

Onderzoek aan ziekten en plagen in relatie tot klimaat in de Nederlandse bossen heeft aangetoond dat er ook daar sterke aanwijzingen zijn voor effecten van klimaatverandering.

Voor insecten op loofbomen is gebleken, dat de overlevingskansen worden bepaald door de weersomstandigheden in de winter. Nederland heeft meestal een zeeklimaat, met milde winters en wisselvallige zomers en veel neerslag. Slechts met oostenwind komen koude winters en hete droge zomers voor. Voor insecten is het moeilijk om



Figuur 5.4 Trends in plaaginsecten sinds 1946 (Bron: Moraal et. al., 2004).

zich aan de onvoorspelbaarheid van een zeeklimaat aan te passen. Bij toenemende zachte en vochtige winters, die sinds 1976 frequenter voorkwamen, hebben de overwinterende kwetsbare volwassen insecten en larven meer te lijden van schimmelziekten in vergelijking met soorten die overwinteren als ei. Daarnaast zijn er nog andere klimaatinvloeden. Zo hebben veel insecten een koudeprikkel nodig om in het voorjaar actief te worden. Daarbij kan er een mismatch ontstaan tussen het actief worden van het insect en het uitlopen van het blad (zijn voedsel) in het voorjaar.

In onderzoek is gekeken naar groepen insecten met bepaalde basale overlevingsstrategieën. Daaruit is gebleken, dat de insecten die als ei overwinteren, het de laatste decennia beter doen dan soorten die overwinteren als larve, pop of volwassene. Dit wordt gezien als een sterke aanwijzing voor een effect van klimaatverandering. Figuur 5.4 geeft het aantal meldingen van plaaginsecten die als ei overwinteren op de eik.

Uit de jaarlijkse monitoring van plaaginsecten op bomen sinds 1946 blijkt dat er meer invasies van uitheemse insecten worden waargenomen. Maar ook bij de inheemse insectenplagen treden verschuivingen op. Het vermoeden bestaat, dat veranderde milieufactoren zoals verdroging, stikstofdepositie en klimaatverandering hierbij een oorzakelijke rol spelen. Het is vaak onmogelijk om daaruit de invloed van één van de factoren te filteren.

6 GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING VOOR RECREATIE EN TOERISME

Kernboodschappen

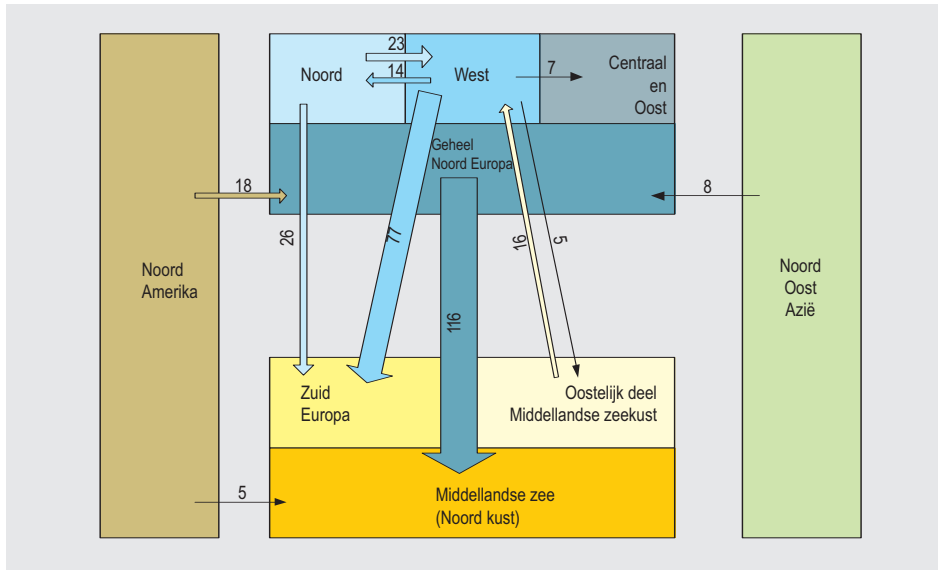
- Temperatuurstijging in Nederland zal vermoedelijk het zomerseizoen verbeteren en verlengen waardoor toerisme en recreatie kunnen toenemen.
- Ons land zal waarschijnlijk aantrekkelijker worden voor buitenlandse vakantiegasten. Nederlanders zullen eerder geneigd zijn vakanties in eigen land door te brengen.
- Klimaatverandering zal waarschijnlijk de groeiende vraag naar recreatie- en natuurgebieden versterken.
- Temperatuurstijging van het ondiepe (zwem-)water heeft potentiële gezondheidsrisico's vanwege het mogelijk verhoogd vóórkomen van pathogene micro-organismen.

6.1 Inleiding

De wereldwijd omvangrijke en groeiende toeristische sector is gevoelig voor effecten van klimaatverandering. Zeespiegelstijging, gekoppeld aan een grotere kans op weersextremen, vormt een bedreiging voor de toeristische bestemmingen in kustgebieden. Veranderingen in temperatuur en neerslagpatronen zullen gevolgen hebben voor de aantrekkelijkheid van toeristische bestemmingen: te hete en te koude gebieden worden minder aantrekkelijk, evenals te natte regio's. De verwachting is dat de zone waar in de zomer een meer ideaal klimaat voor toerisme heerst, in Europa naar het noorden zal opschuiven, omdat de mediterrane landen te heet en te droog worden en de landen in het noorden van Europa, bijvoorbeeld langs de Oostzee, niet meer te koud zijn. Landen als Nederland zullen zich dan ook in een toenemende toeristische belangstelling mogen verheugen, niet alleen vanwege buitenlanders die ons land bezoeken, maar ook doordat meer Nederlanders een vakantie in eigen land zullen doorbrengen.

Wellicht zal de angst voor een te hoge dosis aan schadelijke UV-straling zorgen voor een geleidelijke verschuiving van strandtoerisme naar andere vormen van vrijetijdsbesteding. Ook déze ontwikkeling zou gunstig voor Nederland kunnen uitpakken, gezien het brede pakket aan recreatieve mogelijkheden in ons land: cultuur, grote steden, watersport en bos- en heidegebieden.

Het is goed te realiseren dat toerisme en recreatie onderhevig zijn aan vele invloeden, zoals technologische, sociale en economische. Deze zijn vermoedelijk sterker dan de invloed van klimaatverandering.



Figuur 6.1 Als klimaatveranderingen doorzetten is het voorstelbaar dat er grote verschuivingen zullen optreden in de huidige toeristenstromen met grote gevolgen voor recreatie en toerisme (Bron: Mather, Viner and Todd, 2005).

6.2 Kusttoerisme algemeen

Kusttoerisme is verreweg het belangrijkste segment in de internationale toerismemarkt. Het klimaat speelt een belangrijke rol bij de keuze voor een vakantiebestemming aan de kust. Zo bezoeken jaarlijks naar schatting 116 miljoen toeristen (een zesde van het wereldtotaal) uit noordelijk Europa het Middellandse Zeegebied en dan vooral de kustzones. Ook veel Nederlanders brengen hun vakantie door aan de Middellandse Zee (Figuur 6.1).

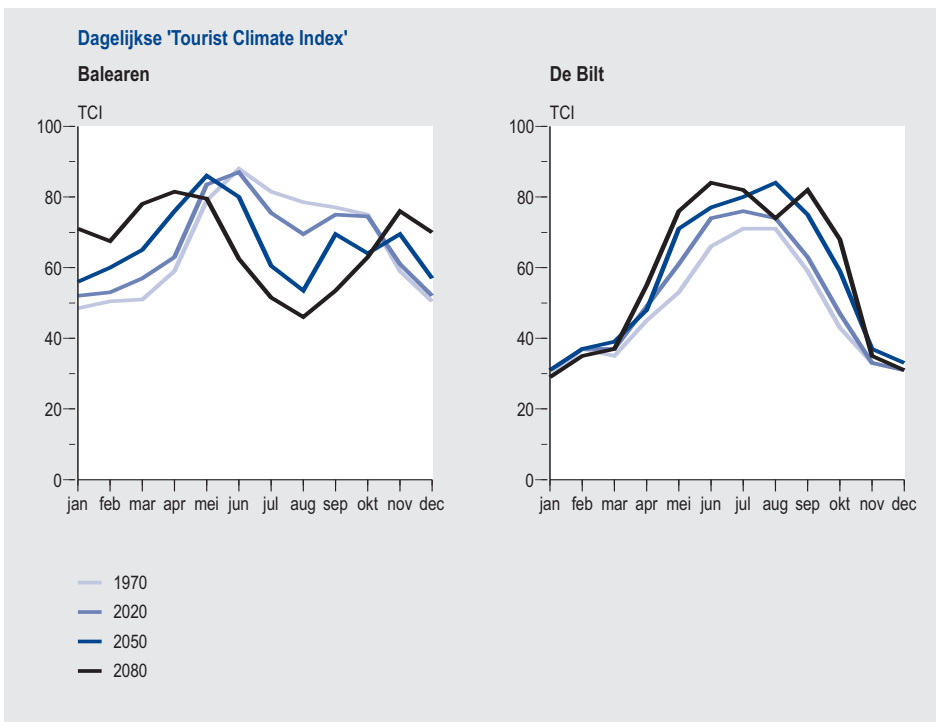
6.3 Verschuivingen in het warmte- en hitteseizoen

Het huidige klimaat van het Middellandse Zeegebied staat bekend als aantrekkelijk voor toerisme, hoewel er 's zomers regelmatig hittegolven voorkomen, waterschaarste optreedt, bosbranden uitbreken of extreem veel neerslag valt. Klimaatmodellen houden voor dit gebied rekening met een toename van hitte en droogte in de zomer, die bovendien groter is en zich veel sneller voltrekt dan in andere delen van Europa. Het is zeer waarschijnlijk dat deze effecten het Middellandse Zeegebied onaantrekkelijker maken als vakantiebestemming, ook omdat (nagenoeg zeker) de concurrentiestrijd om water tussen toerisme, landbouw en andere watervragers steeds feller zal worden.

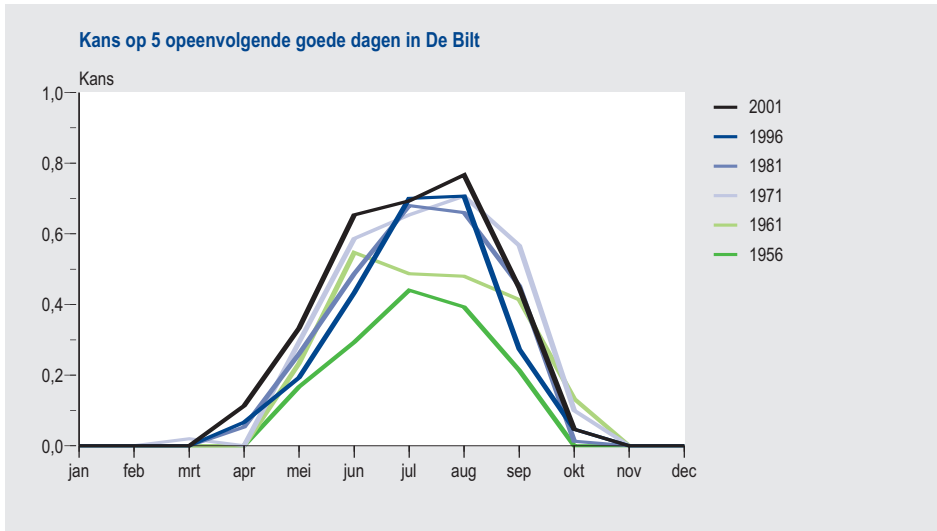
In vrijwel heel Europa zijn de omstandigheden voor toerisme traditioneel het best in de zomer, maar dat gaat waarschijnlijk veranderen. In het binnenland en aan de oos-

telijke Costa's van Spanje en in delen van Griekenland en West-Turkije wordt al in de jaren 2020 de zomer minder aantrekkelijk (te heet) dan het voor- en najaar. De zone met goede omstandigheden in de lente en herfst en een inzinking daarvan in de zomer zal zich vermoedelijk in de jaren 2050 over vrijwel het gehele noordelijke Mediterrane kustgebied hebben uitgestrekt. Als gevolg hiervan krijgt het Middellandse Zeegebied te maken met een verschuiving van het toeristenseizoen van de zomer richting voor- en najaar.

Een maat voor de aantrekkelijkheid van een gebied voor toerisme is de 'Tourism Climatic Index' (TCI). Deze TCI is opgebouwd uit onder meer temperatuur, luchtvochtigheid, zon, regen en wind. Een score boven 70 is zeer goed, boven 90 is ideaal. In Figuur 6.2 (linker plaatje) is voor enkele jaren de vermoedelijke klimaatinvloed op de TCI aangegeven voor de Balearen (Mallorca, Menorca en Ibiza). In noordelijker streken, zoals Nederland (Figuur 6.2 – rechter plaatje) blijft de zomer het belangrijkste toeristenseizoen, maar dit seizoen duurt veel langer; niet alleen juli en augustus horen erbij, maar de hele periode van mei tot en met september.



Figuur 6.2 Klimaatverandering gaat vermoedelijk het toeristisch zomerseizoen beïnvloeden. Zuidelijker gebieden zoals de Balearen (linker plaatje) zullen te maken krijgen met een verslechtering van de omstandigheden voor toerisme in het zomerseizoen. In noordelijker streken zoals Nederland (rechter plaatje) zou het zomerseizoen langer kunnen duren waardoor kusttoerisme en recreatie een grotere kans krijgen (Bron: Amelung, 2002).



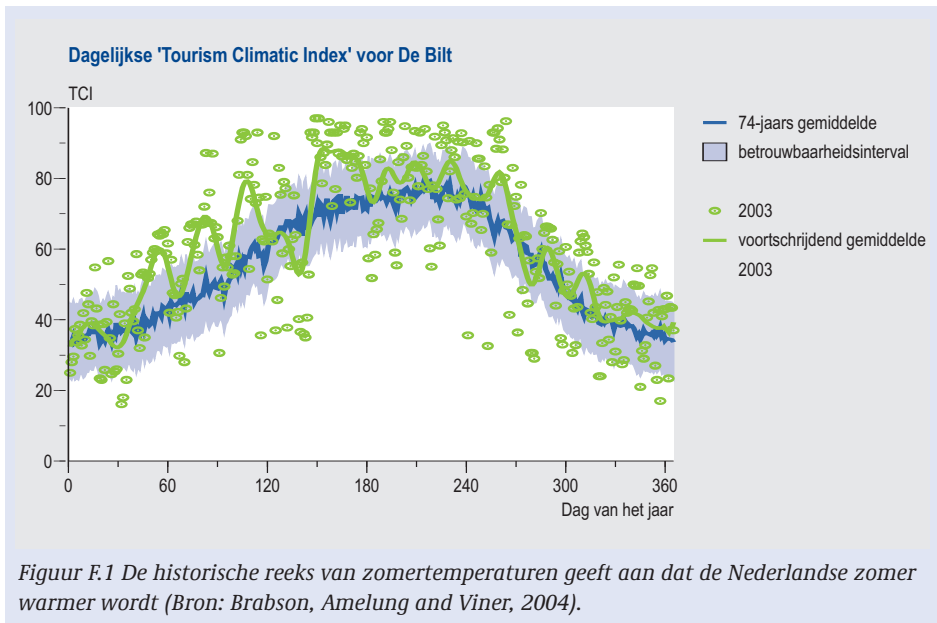
Figuur 6.3 Door het nu al waarneembare effect van klimaatverandering is het aantal perioden met zeer goede (warme) weersomstandigheden significant toegenomen (Bron: Brabson, Amelung and Viner, 2004).

Een dergelijke klimaatverandering, met gemiddeld warmere en langere zomers, is nu al in Nederland waarneembaar: weken die tenminste 5 dagen met zeer goede omstandigheden ($TCI > 70$) tellen, zijn sinds de jaren 60 al veel gebruikelijker geworden (Figuur 6.3). Deze trend doet zich niet alleen voor in hoogzomer, maar in een groot deel van het jaar. Deze historische tendens, van gelijktijdige verbetering van de topomstandigheden en van verbreding van het seizoen, sluit goed aan bij de projecties uit Figuur 6.2. Het jaar 2003 is wellicht een indicatie voor in de toekomst frequenter voorkomende warme en droge jaren (Kader F).

Kader F De hittegolf van 2003

De zomer van 2003 staat in Europa te boek als een extreem warme zomer en in vele landen vielen duizenden slachtoffers door de hitte (waarvan een deel overigens weer is terug te voeren op luchtverontreiniging (zie hoofdstuk 8 - gezondheid)). Voor Zwitserland is aangetoond, dat de kans op een hete zomer zoals die van 2003, verwaarloosbaar klein is, uitgaande van het klimaat zoals men dat daar vanaf 1864 heeft geregistreerd. De zomer van 2003 wordt dan ook gezien als een sterke aanwijzing voor klimaatverandering. In een veranderd klimaat zou een zomer à la 2003 wel eens normaal kunnen worden en aan het eind van deze eeuw gemiddeld eens in de twee jaar kunnen optreden (zie ook hoofdstuk 2). Gegevens voor het jaar 2003 wor-

den daarom voorzichtig gebruikt als doorkijkje naar het toekomstige klimaat. Voor De Bilt is in Figuur F.1 het TCI-verloop voor het jaar 2003 vergeleken met het verloop over de jaren 1930-2003. De figuur suggereert dat het Nederlandse zomer-klimaat op termijn wellicht betrouwbaar genoeg wordt om het aantrekkelijk te maken voor buitenlandse vakantiegasten, zoals nu het geval is met het Middellandse Zeegebied. Zo'n verlenging van het toeristenseizoen en stijging van het aantal mooie, warme dagen zorgen via een toename van het aantal strandgangers voor extra druk op de stranden en op de infrastructuur richting kust.



6.4 Toerisme, recreatie en water in Nederland

De klimaatverandering zal echter tegelijkertijd voor een zeespiegelstijging zorgen en leiden tot meer afslag van de stranden en de duinen. Grote inspanningen in termen van het opspuiten van zand zullen nodig zijn om de breedte van de stranden op peil te houden, als dit al mogelijk is. Het toerisme in de kustgebieden zal dus zowel kunnen profiteren, als te vrezen hebben van klimaatverandering.

Winters worden warmer

De winters in Nederland worden warmer, waardoor er steeds minder kans is om te kunnen schaatsen op natuurijs. Voor een in cultureel en recreatief opzicht belangrijk evenement als de Elfstedentocht, moet het dagenlang streng vriezen. De kans hierop is al niet groot en deze wordt als gevolg van klimaatverandering nog kleiner, zij het niet zo sterk als de algemene temperatuurstijging doet vermoeden (zie ook Hoofdstuk 2).

Door klimaatverandering krijgen rivieren incidenteel meer water te verwerken, dat zij vanwege de zeespiegelstijging bovendien moeilijker kwijt kunnen aan de zee (zie ook Hoofdstuk 3). Overal in Nederland worden daarom gebieden ingericht om het extra water op te vangen. Waterberging, ook om grotere droge perioden te overbruggen, is één van de adaptatiemaatregelen die worden verkend. Een aantal van deze bergingsgebieden zal naar het zich laat aanzien geschikt zijn voor recreatie en watersport. Naast de algehele verbetering van de weersomstandigheden in het zomerseizoen is dit een extra stimulans voor de watersport.

Tabel 6.1 Door klimaatverandering en temperatuurstijging zal de sneeuwgrens in de Alpen naar boven opschuiven en zal de sneeuwzekerheid afnemen en het skiseizoen korter worden (Bron: Abegg, 1996).

Regio	Aantal ski gebieden	Sneeuwzekerheid					
		1200 m + zeeniveau		1500 m + zeeniveau		1800 m + zeeniveau	
		aantal	%	aantal	%	aantal	%
Jura	15	4	27	1	7	0	0
Alpen	19	16	84	7	37	4	21
Valais	54	54	100	52	96	40	74
Bern (excl. Jura)	35	30	86	20	57	12	34
Centraal Zwitserland	35	26	74	13	37	7	20
Ticino	8	8	100	3	38	2	25
Oost Zwitserland	18	11	61	6	33	3	17
Grisons	46	46	100	42	91	33	72
Totaal Zwitserland	230	195	85	144	63	101	44

Sneeuwtoerisme van Nederlanders

De Alpen zijn voor Nederlanders een belangrijke vakantiebestemming, in de zomer, maar vooral ook in de winter. Met name de Zwitserse skioorden liggen relatief hoog ten opzichte van de skigebieden in de andere Alpenlanden, waardoor de sneeuwzekerheid traditioneel goed is. Sinds begin jaren 80 loopt de sneeuwzekerheid echter sterk achteruit. Vermoed wordt, dat dit te maken heeft met klimaatverandering. Onderzoek geeft aan dat de sneeuwgrens bij elke graad temperatuurstijging 100 tot 200 meter naar boven opschuift. Door de hogere temperatuur wordt niet alleen de sneeuwzekerheid kleiner, maar wordt ook het skiseizoen korter, vooral voor de lager gelegen skioorden. Op dit moment is de sneeuwzekerheid voldoende bij ca. 85% van de Zwitserse skigebieden. Wanneer echter in de winter in de periode 2030-2050 de sneeuwgrens zal zijn opgeschoven tot 1500 meter boven zeeniveau, is nog maar ongeveer 63% sneeuwzeker (Tabel 6.1). De gevolgen zijn nog dramatischer voor de lager gelegen Alpenlanden zoals Oostenrijk en Duitsland. Het sneeuwtoerisme door Nederlanders wordt hierdoor dus nadelig beïnvloed.

Zwemwaterkwaliteit

In de RIZA-droogtestudie is gebleken dat in een extreme situatie het aantal recreanten, de jaarlijkse bestedingen en het aantal aan deze sector gebonden werknemers maximaal enkele procenten terugloopt door wijziging van de kwaliteit van water, de bevaarbaarheid, de kwaliteit van de visstand en het oponthoud bij bruggen en sluisen. Van de genoemde factoren had de verslechtering van de (zwem-)waterkwaliteit de grootste invloed op de recreatie. Het positieve effect van het goede weer in een droog jaar op het aantal dagtochten is echter veel groter dan het eventuele nadelige effect van een verslechtering van de waterkwaliteit: in een extreem droog jaar neemt het aantal dagtochten met 40% toe ten opzichte van een gemiddeld jaar terwijl door een slechtere waterkwaliteit het aantal dagtochten met circa 4% afneemt voor alle

berekende jaren. De werkgelegenheid in de recreatiesector laat een zelfde beeld zien als het aantal dagtochten: de werkgelegenheid blijkt gevoeliger voor de weersituatie dan voor de waterkwaliteit.

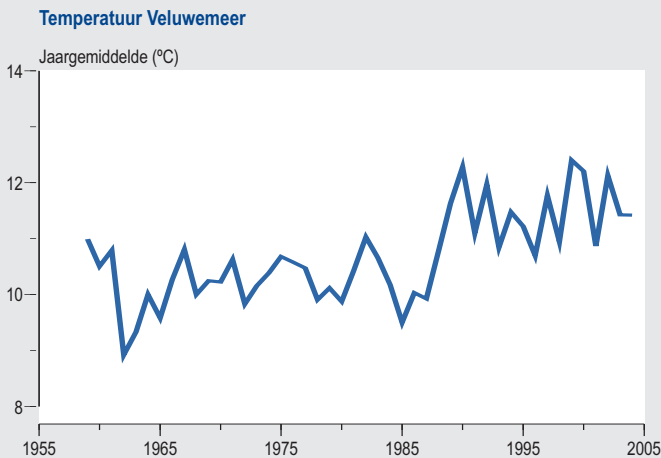
Kader G Het mogelijk verhoogd vóórkomen van blauwalgen (cyanobacteriën) in meren als gevolg van klimaatverandering

De temperatuur in de Nederlandse ondiepe meren neemt geleidelijk toe (gegevens RIZA). Dit is conform de verwachting, gezien de sterke correlatie tussen buitenluchttemperatuur en watertemperatuur (zie Figuur G.1 voor het Veluwemeer). Uit deze gegevens blijkt dat de temperatuur in de periode na 1990 significant hoger is dan die voor 1985. Er lijkt een vrij plotselinge stijging tussen 1987 en 1990, parallel aan de buitenluchttemperatuur, en wellicht samenhangend met een stijging van de NAO index. Over een eventuele verder stijgende trend na 1990 kan nog niets worden gezegd.

Klimaatverandering en de hiermee verbonden stijging van de (zwem-)watertemperatuur in ondiepe meren kan een potentieel gezondheidsrisico inhouden door het mogelijk verhoogd vóórkomen van pathogene micro-organismen zoals blauwalgen. De invloed van de watertemperatuur en de overige klimaateffecten op de (zwem-)waterkwaliteit is op zich veel kleiner dan de invloed van nutriënten en samenstelling van de visstand. Zo zijn meren met een hoge belasting van fosfor altijd troebel en hebben meestal last van blauwalgen, bij lage fosforgehalten zijn ze altijd helder en hebben niet of nauwelijks last

van blauwalgen. Klimaateffecten zijn daardoor vaak lastig te onderscheiden van andere effecten. De effecten zijn sterk afhankelijk van het type ecosysteem en van andere randvoorwaarden, kunnen tegenstrijdig zijn en zijn nog slechts gedeeltelijk kwantitatief bekend.

Bij matige fosforbelasting, geldend voor de meeste Nederlandse meren, leidt opwarming tot een verhoogde kans op een blauwalgenbloeï. In de matig-belaste Randmeren leidden strenge winters tot een ca. 50% kans op een blauwalgenbloeï in de zomer, en zachte winters tot een 75% kans. In heldere, vegetatie-gedomineerde meren is de invloed van de temperatuur op de bloei van blauwalgen gering (bepaald via mesocosmos-experimenten). Opwarming verhoogt echter wel de kans dat heldere, vegetatie-gedomineerde meren, met een fosforbelasting dicht bij de kritische waarde, terugvallen naar de troebele toestand. In mesocosmos-experimenten in verschillende meren in Europa in twee achtereenvolgende jaren bleek de hoeveelheid blauwalgen meestal hoger te zijn in het jaar met de warmste zomer. Behalve tot temperatuursverhoging zal de klimaatverandering waarschijnlijk ook leiden tot een verhoging van de fosforbelasting in een aantal meren.



Figuur G.1 Trend in de watertemperatuur van het Veluwemeer (Bron gegevens: RIZA).

Droogte en recreatie / toerisme

Naast de huidige situatie is ook geanalyseerd wat de effecten van toekomstige klimaatverandering zijn op recreatie en toerisme. Hierbij zijn de verwachte temperatuur, zonneschijnduur en neerslagduur in 2050 gebruikt. Er zijn twee scenario's doorgekend: één scenario met een temperatuurstijging van 1 °C in 2050 en het zogenaamde 'droge' scenario. Uit deze berekeningen blijkt dat klimaatveranderingen een positief effect hebben op de bestedingen in de waterrecreatie. Zowel het klimaatscenario met 1 °C temperatuurstijging als het meer droge scenario laten een stijging zien in de bestedingen van respectievelijk 1% en 6%. Een verslechtering van de waterkwaliteit heeft minder invloed op de bestedingen dan het positieve effect van klimaatverandering en de daarbij horende temperatuurstijging. Opgemerkt zij dat de berekeningen voor de toekomstscenario's hooguit als richtinggevend moeten worden gezien, omdat het gedrag van recreanten in de toekomst mogelijk sterk wijzigt; hiermee is in de huidige modellering geen rekening gehouden.

Concluderend kan worden gesteld dat klimaatverandering en temperatuurstijging een positieve impuls kunnen geven aan het toerisme en de recreatie in Nederland. Vooral het warmere en langere zomerseizoen is hiervoor verantwoordelijk. De temperatuur van het zwemwater heeft echter wel een nadelige invloed op de kwaliteit ervan (Kader G).

7 ENKELE GEVOLGEN VOOR HET BEDRIJFSLEVEN

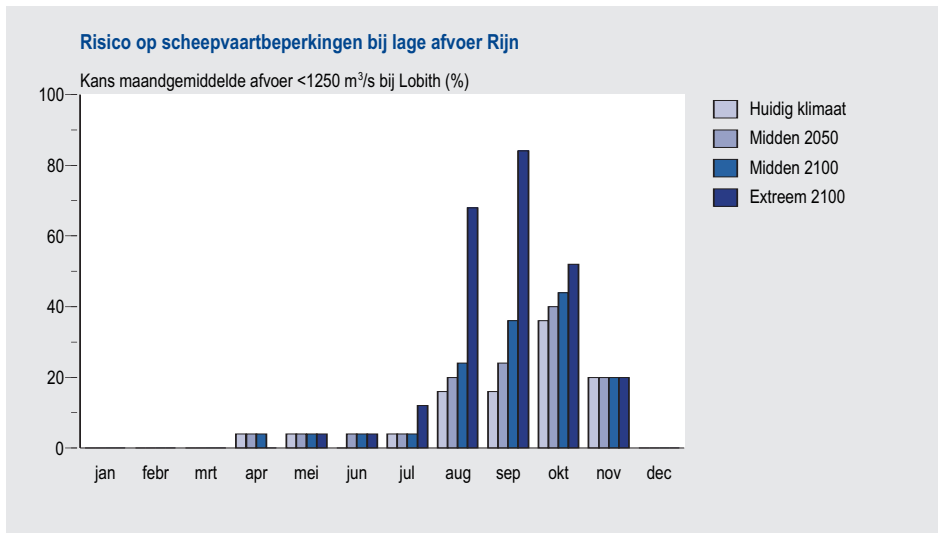
Kernboodschappen:

- De gevolgen van klimaatverandering voor de transportsector zijn erg onzeker.
- De binnenvaart krijgt waarschijnlijk meer beperkingen door lagere minimumafvoeren van Rijn en Maas.
- Koelwaterproblemen bij elektriciteitsbedrijven worden zeer waarschijnlijk groter door temperatuurstijging en vaker lage afvoeren.
- Het piekverbruik van water in droge perioden zal waarschijnlijk hoger en frequenter zijn.
- Schade van wateroverlast is verzekeraar; schade door overstroming niet.

7.1 Transportsector

De gevolgen voor de transportsector hebben tot nog toe weinig aandacht gekregen, maar het valt niet uit te sluiten dat klimaatverandering op verschillende terreinen tot problemen kan leiden. Het transportsysteem als geheel presteert namelijk slechter onder extreme weersomstandigheden en het ziet er naar uit dat warme extremen in de toekomst zullen toenemen (zie Hoofdstuk 2). Dit kan bijvoorbeeld leiden tot lange files (bijvoorbeeld naar het strand: zie Hoofdstuk 6), grotere storingen op het spoor en in de luchtvaart en tot beperktere bevaarbaarheid van rivieren voor het goederenvervoer. Daar staat tegenover dat koude-extremen beperkt zullen verminderen. Of dit tot minder gladheid leidt, is onduidelijk. Gladheid is niet zo afhankelijk van extreem lage temperaturen. Wat de mogelijke economische en ruimtelijke gevolgen in de transportsector zouden kunnen zijn, is nog onderwerp van onderzoek.

In de periode tot 2050 zullen de vervoerskosten van de binnenvaart vooral veranderen als gevolg van veranderingen in het vrachtaanbod. De verwachte toename van de vervoerskosten als gevolg van klimaatverandering zal volgens de Droogtestudie beperkt zijn tot 2 à 4%. Bij extreem lage waterstanden zoals in 2003 kunnen de schepen nog maar een deel van de normale laadcapaciteit benutten en nemen de transportkosten sterk toe. De kans op dergelijke lage rivierafvoeren ($< 1250 \text{ m}^3/\text{s}$) en lage waterstanden neemt vooral toe in het droge klimaatscenario (Figuur 7.1). De negatieve effecten van ijsgang op de grote rivieren zullen nog maar heel zelden voorkomen. Mede door klimaatverandering is de temperatuur van het rivierwater nu al aanzienlijk hoger dan enkele tientallen jaren geleden (zie Hoofdstuk 3). Dat zet zich zeer waarschijnlijk versterkt door.



Figuur 7.1 De kans op een extreem lage rivierafvoer en beperkte vaardiepte neemt ten opzichte van de huidige situatie vooral toe in een extreem droog jaar ("extreem 2100") (Bron: Buiteveld, 2005).

7.2 Energie

Energieverbruik

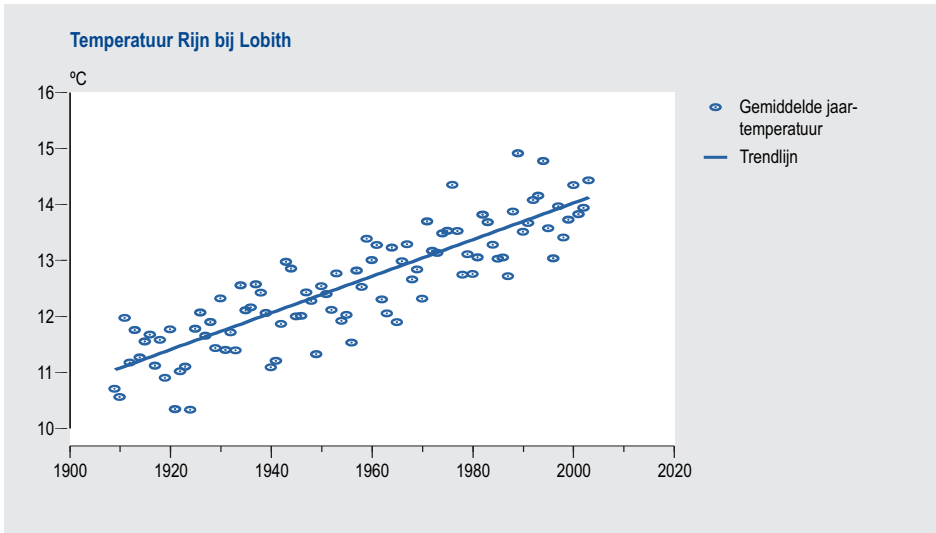
Het energieverbruik is onder meer afhankelijk van de buitentemperatuur. Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) en het MNP ramen de invloed van reeds opgetreden temperatuurverhoging op het energieverbruik op circa 3 miljoen ton CO₂-emissiebesparing (een gezamenlijke maat om diverse soorten energieverbruik op één noemer te brengen). Dit is circa 1,5% van de totale Nederlandse CO₂-emissie in 2000. Dit is voornamelijk het gevolg van minder ruimteverwarming in huishoudens, diensten en glastuinbouw. In de verschillende scenario's komt daar de komende 20 jaar waarschijnlijk nog 0,5 tot 0,8 miljoen ton CO₂ emissiebesparing bij. Het lijkt erop dat de toekomstige besparing voor een belangrijk deel teniet wordt gedaan door extra ruimteteoeling.

Elektriciteitsproductie

Oppervlaktewater wordt in Nederland op grote schaal gebruikt als koelmedium in de elektriciteitsproductie. Voor het lozen van koelwater geldt een tweetal beperkingen:

- de maximale lozingstemperatuur bedraagt 30 °C
- het temperatuurverschil tussen inname en lozing mag niet meer dan 7 °C bedragen in de zomer en 15 °C in de winter.

Hierdoor geldt een watertemperatuur van 23 °C als een kritische grens voor het gebruik van koelwater.

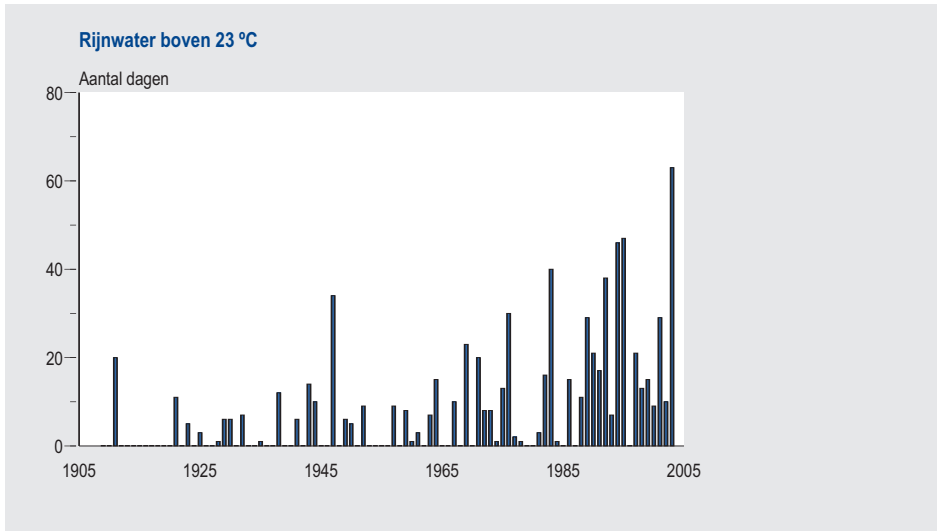


Figuur 7.2 Gemiddelde jaartemperatuur van het Rijnwater te Lobith, periode 1909-2003 (Bron: RIZA).

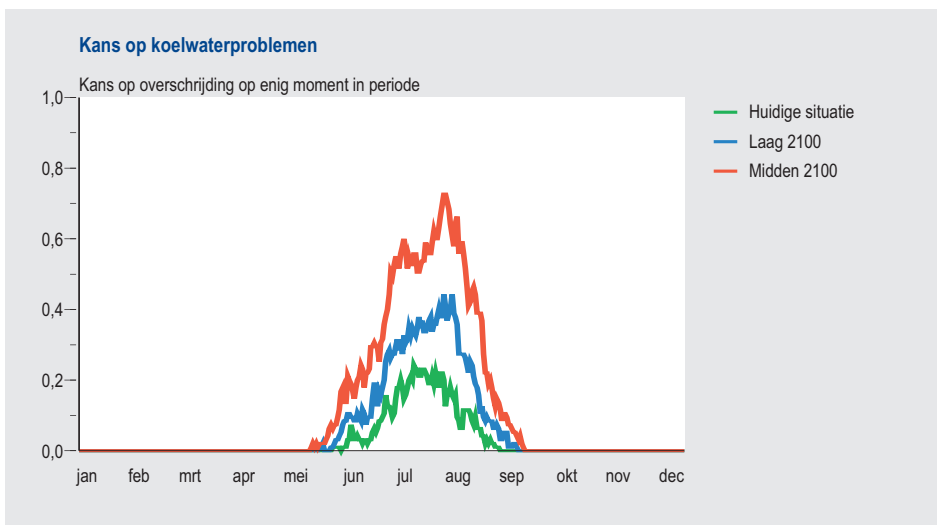
Uit onderzoek is naar voren gekomen dat de temperatuur van het rivierwater meer bepalend is voor koelwaterbeperking, dan de afvoer van de rivier (KEMA 2004). De afgelopen eeuw is de gemiddelde jaartemperatuur van het Rijnwater toegenomen van 11 °C in 1910 tot boven de 14 °C in 2003 (Figuur 7.2). Deze temperatuurstijging is naar inschatting voor 2/3 het gevolg van het toegenomen koelwatergebruik in Duitsland en voor 1/3 deel het gevolg van temperatuurverhoging door klimaatverandering.

Door de reeds opgetreden temperatuurstijging van de afgelopen decennia is ook het aantal dagen per jaar boven de 23 °C toegenomen (Figuur 7.3). Tijdens de zeer warme zomers van 1994 en 2003 is de energieproductie tijdelijk afgenomen als gevolg van koelwatertekort en in 2003 is zelfs een nijpende situatie ontstaan (code “rood” wat betreft leveringszekerheid) doordat gedurende bijna 40 dagen de temperatuur boven de 24 °C lag.

Hoe het toekomstige verloop van de temperatuurstijging in de Rijn en Maas zal zijn, is onzeker en hangt zowel af van de stijging van de luchttemperatuur als van de ontwikkelingen in het koelwatergebruik bovenstrooms in Duitsland en België. Bij verdere stijging van de luchttemperatuur zal naar verwachting de watertemperatuur in Rijn en Maas stijgen en zal – bij gelijkblijvend koelwatergebruik bovenstrooms - de kans toenemen op temperaturen waarbij een koelwaterbeperking geldt. Uit een nadere studie naar de koelwaterproblematiek van de Maas komt bijvoorbeeld naar voren, dat de kans op het optreden van koelwaterproblemen verder toeneemt (Figuur 7.4), uitgaande van de huidige afvoerarakteristiek en het huidige koelwatergebruik. De energiesector heeft echter diverse mogelijkheden om de gevoeligheid voor de temperatuur van het rivierwater te verminderen.



Figuur 7.3 Ontwikkeling aantal dagen per jaar met temperatuur van het Rijnwater hoger dan 23 °C in de periode 1909-2003 (Bron: Droogtestudie, 2004).



Figuur 7.4 Kans op optreden koelwaterproblematiek in de loop van het jaar (Bron:RIZA).

7.3 Watergebruik

Het jaar 2003 was een droge en extreem warme zomer. De drinkwaterafzet in dit jaar was 2% hoger dan in 2002. Dat is des te opmerkelijk, omdat het drinkwaterverbruik vanaf 1995 een dalende lijn laat zien. De stijging kwam geheel voor rekening van de consumenten, die 25 miljoen m³ meer water verbruikten (3,5% van het jaarverbruik van de huishoudens), vooral als gevolg van het meer sproeien van de tuin.

Ook de hittegolf in juni 2005 heeft volgens de VEWIN (persbericht) geleid tot het gebruik van een recordhoeveelheid drinkwater. In de week van de hittegolf is 8 miljoen m³ meer gebruikt dan het weekgemiddelde over het hele jaar. Op de warmste dag was het gebruik soms 50% hoger dan gemiddeld.

De verwachting is, dat gemiddeld de vraag naar drinkwater door de temperatuurstijging met enkele procenten zal stijgen. Verwacht mag worden dat als gevolg van klimaatverandering de vraag naar drinkwater in de toekomst meer pieken zal vertonen. Om tijden van watertekort als gevolg van lage rivierafvoeren of een slechte waterkwaliteit te kunnen overbruggen zijn drinkwaterbekkens aangelegd. Deze bekkens hebben een dusdanige omvang dat een landelijk tekort aan water voor drinkwaterbereiding zeer onwaarschijnlijk is.

7.4 Verzekering

Schade door overstromingen en wateroverlast wordt verschillend verdeeld over burgers, bedrijven en overheid. Schade die ontstaat door hevige regenval is veelal commercieel verzekeraar, voor huishoudens maar sinds kort ook voor de landbouwsector. Schade die ontstaat door het bezwijken van waterkeringen is niet meer verzekeraar in Nederland sinds de Stormvloedramp van 1953. Niet verzekeraar is schade door hevige regenval elders of door het stijgen of dalen van grondwater. Schade die niet te voorkomen is, of redelijkerwijs verzekeraar is of op een andere wijze compenseerbaar, kan worden gedekt door de overheid via de Wet Tegemoetkoming Schade en Zware Ongevallen (WTS; zie ook Hoofdstuk 5).

In Nederland wordt nagedacht over de verbeterde afdekking van risico's op schade. Zie bijvoorbeeld de adviezen van de Adviescommissie Water en de Commissie tegemoetkomingen bij rampen en calamiteiten (Commissie Borghouts). Ook binnen de Europese Unie worden oplossingen gezocht voor catastrofale schade, bijvoorbeeld via het zogenaamde EU-Solidariteitsfonds.

De risico's in Nederland, die samenhangen met overstromingen, verdelen zich verschillend over Nederland. Dit is onder andere te zien in de ruimtelijke differentiatie van veiligheidsniveaus, zoals die zijn vastgelegd in de Wet op de Waterkering. De schade wordt op dit moment uniform gedekt door zowel commerciële verzekeringen als door de overheid via de WTS. Het is denkbaar dat de dekking van commerciële verzekeringen en compensatie van de overheid ruimtelijk gedifferentieerd worden, waardoor de risico's voor de deelnemende partijen beter beheersbaar zijn en ook een prikkel voor meer duurzaam landgebruik wordt gegeven. Daarnaast kan schade, die nog niet is afgedekt, mogelijk via publiek-private constructies worden opgevangen.

8 ZIJN ER GEZONDHEIDSRISICO'S VAN KLIMAATVERANDERING?

Kernboodschappen

- Klimaatverandering kan in Nederland negatieve invloed hebben op gezondheid.
- Gezondheidseffecten zijn moeilijk te kwantificeren; voor een aantal effecten, bijvoorbeeld een malaria-epidemie, zijn de risico waarschijnlijk gering.
- Mogelijk belangrijke gezondheidseffecten zijn gerelateerd aan temperatuurstijging, zoals de ziekte van Lyme, effecten van luchtkwaliteit en allergieën.
- Risicogroepen ondervinden waarschijnlijk sterkere effecten en grotere ziektelast.

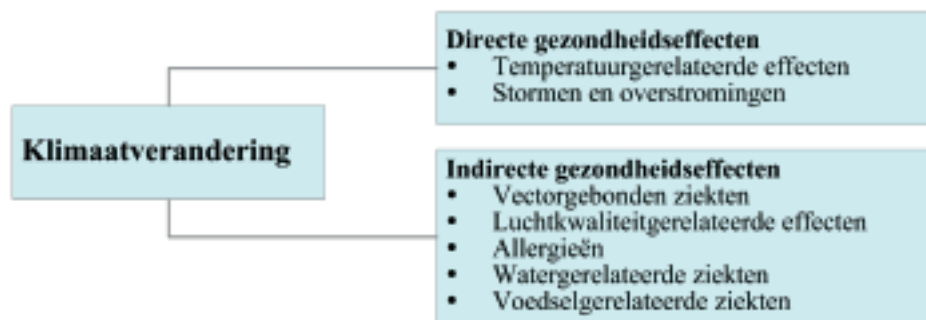
Klimaatveranderingen kunnen de menselijke gezondheid op vele manieren bedreigen (Figuur 8.1). Welke gezondheidseffecten waar zullen optreden hangt af van de gevoeligheid voor veranderingen, de mate van belasting, en het vermogen tot aanpassing.

Hoe zal klimaatverandering de gezondheid van de Nederlandse bevolking beïnvloeden? Welke effecten zijn nu al waarneembaar en welke kunnen met een zekere waarschijnlijkheid worden verondersteld? Welke ziektelast is met deze effecten gemoeid en wat zijn de risicogroepen? Dit hoofdstuk geeft een overzicht.

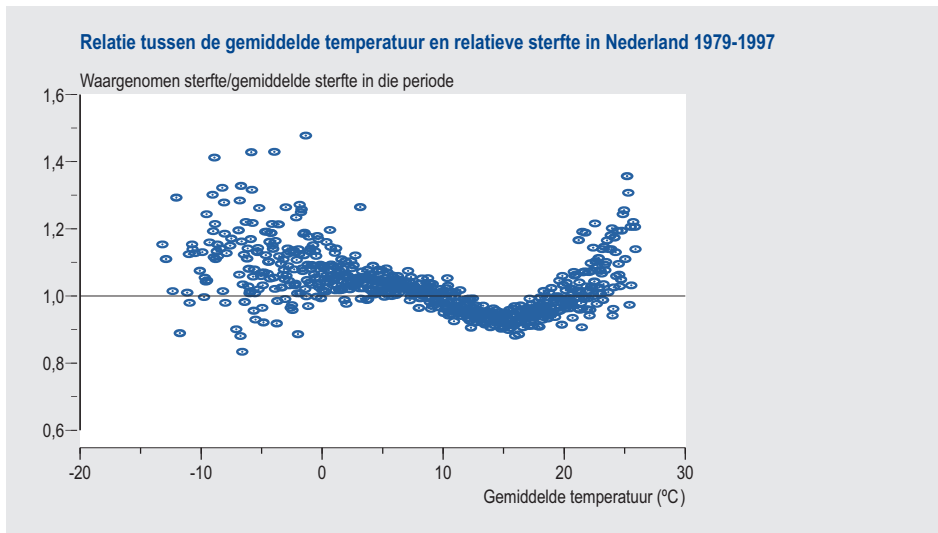
8.1 Temperatuurgerelateerde effecten

De relatie tussen temperatuur en sterfte

Uit veel studies blijkt dat er een relatie bestaat tussen temperatuur en overlijden. Uit een Nederlandse studie door Huynen *et al* bleek dat deze relatie U-vormig is (Figuur 8.2), waarbij de optimale temperatuur (de gemiddelde temperatuur met de laagste sterfte) ca. 16.5 °C is. Boven en onder dit optimum neemt de sterfte toe. Uit hun resultaten bleek ook dat temperatuur vooral de sterfte door hart- en vaatziekten en ademhalingsproblemen bevordert en vooral de sterfte onder ouderen (65+) doet stijgen.



Figuur 8.1 Klimaatverandering kan de gezondheid op vele manieren beïnvloeden.



Figuur 8.2 De relatie tussen de gemiddelde temperatuur en sterfte in Nederland, zoals gemeten tussen 1979-1997, kent een optimum met de laagste sterfte (uitgedrukt als relatieve sterfte = waargenomen sterfte / gemiddelde sterfte in die periode) (Bron: Huynen et al., 2001).

Deze toegenomen sterfte boven en onder het optimum zal ook een toename van ziekte inhouden, waarvan de omvang minstens proportioneel is en wellicht groter.

Klimaatverandering in gematigde of koude gebieden zoals Nederland zal leiden tot warmere zomers en zachtere winters, nog los van soms voorkomende extreme omstandigheden. Op basis van de temperatuur-sterfte-relatie is de veronderstelling dat de toegenomen sterfte in zomers mogelijk wordt gecompenseerd door een afgenomen sterfte tijdens winters.

Effecten van temperatuurextremen

Klimaatverandering zal echter ook leiden tot het meer en heftiger vóórkomen van extreme temperaturen.

Effecten van koudegolven

De kans op extreme koudeperioden neemt af, zij het niet zo sterk als de verschuiving in gemiddelde temperaturen (zie Hoofdstuk 2). De kans op oversterfte bij perioden van extreme kou (13% ofwel gemiddeld 47 personen per dag, vooral ouderen) zal dus beperkt afnemen.

Effecten van hittegolven

Klimaatverandering zal leiden tot een toename in hittestress door toename van het aantal hittegolven (zie Hoofdstuk 2). Gedurende hittegolven neemt de dagelijkse sterfte toe (Tabel 8.1), met vermoedelijk ook een hiermee verbonden toename in ziekte. In Nederland stierven er tijdens de hittegolven in 1982, 1983, 1990, 1994, 1995 en 1997 gemiddeld 40 mensen extra per dag door de extreem hoge temperatuur. De hittegolf van augustus 2003 duurde maar liefst twee weken. Vergelijken met de normale

Tabel 8.1 Tijdens hittegolven vindt meer sterfte plaats. Ref: Huynen et al. (2001), McMichael et al. (1998), Rooney et al. (1998), Sartor et al. (1994).

Hittegolf	Relatieve toename van sterfte
Londen, 1995	15%
Londen, 1976	15%
België 1994	13%(vooral ouderen)
Nederland 1982, 1983, 1990, 1994, 1995, 1997	13 % (overeenkomend met ca. 40 extra doden per dag)

temperatuur in augustus van ca. 22 graden concludeert het Centraal Bureau voor de Statistiek dat er in deze periode ca. 400 à 500 mensen extra zijn overleden. Recente berekeningen voor Nederland tonen aan dat verhoogde luchtverontreiniging (ozon, fijn stof) tijdens hittegolven verantwoordelijk is voor ca. 25-40% van de geregistreerde “hittegolf-doden” (zie ook de paragraaf luchtverontreiniging).

Met name ouderen (65+), personen met luchtwegaandoeningen en personen met hart- en vaatziekten zijn gevoelig voor extreme warmte. In veel landen vindt vergrijzing van de bevolking plaats, waardoor het aantal mensen, die gevoelig zijn voor hittestress, toeneemt en klimaatverandering daarop dus een extra invloed heeft. De cijfers verdienen echter wel enige relativering. Uit onderzoek blijkt namelijk, dat een gedeelte van de extra sterfte tijdens hittegolven moet worden opgevat als een iets vroegd overlijden; hierdoor wordt er na een hittegolf vaak ook een relatieve daling van de sterfte gezien. Het andere deel zou wel een feitelijk extra sterfte inhouden met wellicht wel een substantieel verlies aan levensjaren. Over de relatieve verhouding tussen deze twee groepen is helaas nog weinig bekend.

Baby's en jonge kinderen vormen mogelijk ook een risicogroep omdat hun temperatuurregulatie nog in ontwikkeling is en ook uitdroging kan optreden. Signalen hierover zijn ook moeilijker waarneembaar. Gegevens over effecten op baby's en jonge kinderen zijn onvoldoende bekend.

8.2 Vectorgebonden ziekten

Een belangrijk potentieel effect van klimaatveranderingen en temperatuurstijging is de toename en overdracht van vector(drager)-gerelateerde ziekteverwekkers. Hieronder enkele belangrijke voorbeelden.

Malaria

Malaria is een infectieziekte die wordt veroorzaakt door de steek van een met malariaparasieten besmette mug. Wat zijn de risico's van klimaatverandering op verhoogd voorkomen van malaria in Nederland? Er bestaat een kans op een af en toe lokaal optredende epidemie in de zomer door overdracht van de malariaparasiet (*P. vivax*).



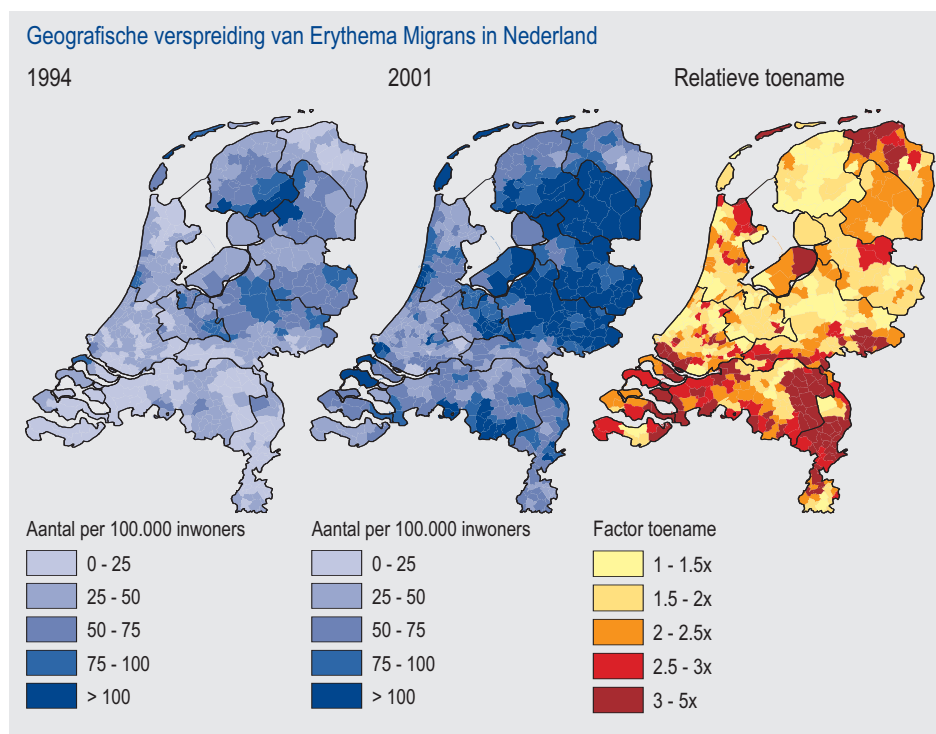
Figuur 8.3 Ondanks dat malaria in kranten vaak genoemd wordt als mogelijk gezondheidseffect van klimaatverandering, zal de kans op een malaria-epidemie erg klein zijn.

Daarnaast is het mogelijk dat de Mediterrane mug zich verder verspreidt richting Centraal en West-Europa met een kans op infectie met de gevaarlijke malariaparasiët *P. falciparum*. Hoewel de berichtgeving in de media soms anders doet geloven (Figuur 8.3) zijn deskundigen van oordeel dat de kans op een grootschalige malaria-epidemie in Nederland mede onder invloed van klimaatverandering erg klein is, vooral dankzij de goede gezondheidszorg en preventieve maatregelen. In de incidenteel voorkomende gevallen worden door klimaatveranderingen weinig veranderingen verwacht. Er blijft wel zorg om mogelijke toename van geïmporteerde malaria uit minder ontwikkelde gebieden waar de ziekte vaker voorkomt.

Ziekte van Lyme

Een aantal infectieziekten kan worden overgebracht door teken. Een belangrijke ziekte veroorzaakt door een tekenbeet is de ziekte van Lyme. Deze bacteriële infectieziekte komt in Europa frequent voor en wordt meestal veroorzaakt door de schapenteek. De ziekte van Lyme is een complexe infectieziekte met een grillig verloop die vele verschijningsvormen kent en die, wanneer onvoldoende behandeld, tot ernstige invaliditeit en ziekte kan leiden. Risicogroepen zijn mensen die veel tijd doorbrengen in tuinen, parken en bossen, waardoor de kans op contact met de teek en op een tekenbeet toeneemt. Tussen 1994 en 2001 is het aantal geschatte tekenbeten in Nederland verdubbeld van 30.000 naar 61.000. Ook het aantal patiënten met rode vlekken op de huid, als een eerste uiting van de ziekte van Lyme, nam met ongeveer met een factor 2 toe (Figuur 8.4). Dit is een signaal dat het risico op besmetting snel toeneemt. De gestegen populariteit van natuurrecreatie wordt als de belangrijkste oorzaak genoemd.

Overdracht van de bacterie vindt vooral plaats in perioden dat teken actief zijn, te weten gedurende de lente, zomer en herfst (april - oktober). De verspreiding en populatiedichtheid van teken in Nederland is klimatologisch bepaald en is afhankelijk van warm en vochtig weer. De ziekte van Lyme is daarom gevoelig voor klimaatverandering. Het is mogelijk dat door klimaatveranderingen in Nederland de ziekte van Lyme meer gaat vóórkomen omdat warmere en nattere winters en vroegere lentes zorgen



Figuur 8.4 De geografische verspreiding van erythema migrans (rode vlekken op de huid als eerste uiting van de ziekte van Lyme) in Nederland in 1994 en 2001 en de relatieve toename tussen 2001 en 1994 (Bron: den Boon en van Pelt, 2003).

voor een verlenging van de overdrachtperiode. Daarnaast kan klimaatverandering leiden tot meer natuurrecreatie in Nederland, wat het risico op besmetting ook verhoogt. De mogelijke toename van de ziekte van Lyme is kwantitatief nog niet goed in te schatten.

8.3 Luchtkwaliteit en effecten

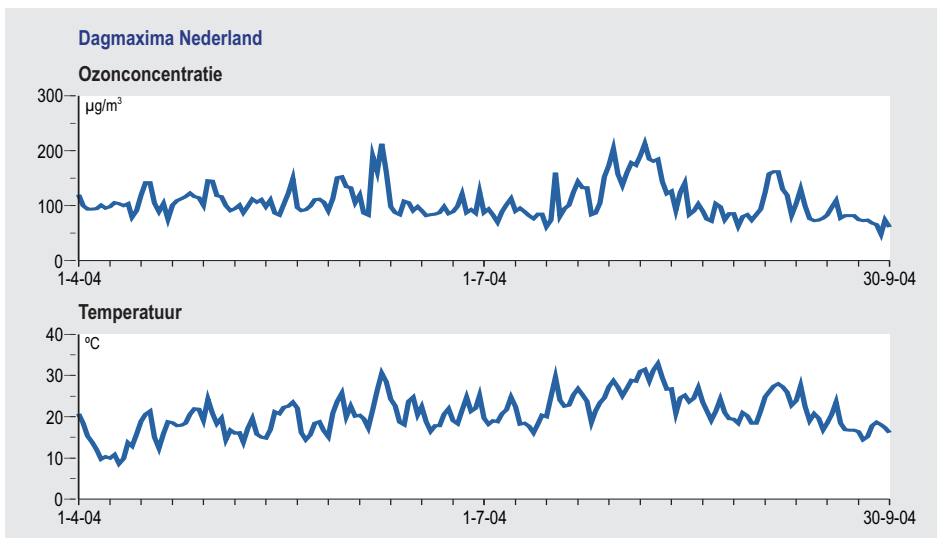
Er is een versterkende wisselwerking tussen extreme temperaturen en de mate van luchtverontreiniging. Weersomstandigheden bepalen voor een deel de luchtkwaliteit door hun invloed op de vorming en verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. Dit leidt vaak tot overschrijding van grenswaarden (zomersmog- en wintersmogepisodes). Bij gezondheidseffecten van luchtverontreiniging zijn vooral twee componenten van belang: ozon (op leefniveau) en fijn stof. Ozon is alleen in de zomer van belang. Fijn stof is gedurende het gehele jaar een probleem maar 's winters zijn de niveaus hoger. Uit gezondheidskundig onderzoek blijkt dat korte- en lange-termijnblootstelling aan deze stoffen samengaat met een groot aantal gezondheidseffecten (waaronder vervroegde sterfte en toegenomen ziekte). Daarnaast zijn er aanwijzingen

dat gezondheidseffecten van gelijktijdige blootstelling aan stressvolle weercondities en luchtverontreiniging, groter zijn dan de som van de afzonderlijke effecten. Er wordt verwacht dat klimaatverandering van invloed zal zijn op zowel zomersmog als wintersmog. Toegenomen luchtverontreiniging als gevolg van klimaatverandering kan, naast een invloed op landelijke regio's, vooral ook een probleem vormen in stedelijke gebieden.

Zomersmog en ozon

Uit Figuur 8.5 blijkt dat de concentratie van ozon in de buitenlucht hoger is in perioden met hogere temperaturen. Door een fotochemisch proces wordt op zonnige en warme dagen in de middag en vroege avond uit stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen ozon in hoge (piek)concentraties gevormd. Hoewel het nog onzeker is, lijkt er geen drempelwaarde voor ozoneffecten te bestaan. Hoe hoger de ozonconcentratie, hoe groter de toename en de ernst van de effecten.

Risicogroepen zijn mensen die zich inspannen in de buitenlucht, mensen met ziekten aan hart- en vaatstelsel en luchtwegen en mensen die extra gevoelig zijn voor ozon. Klimaatverandering in Nederland leidt waarschijnlijk tot een toename in het aantal zomerdagen, waardoor de kans op smogvorming groter wordt. Een ander fenomeen, dat voor een deel met klimaatverandering gepaard gaat, is de verhoging van de achtergrondconcentratie van ozon op het hele noordelijk halfrond. In Nederland wordt deze significante verhoging ook waargenomen. Bij afwezigheid van een drempelwaarde zal een verhoging van deze achtergrondconcentratie direct een negatieve invloed op de gezondheid hebben. Kwantitatief is dat nog moeilijk aan te geven.



Figuur 8.5 Landelijke maximum ozonconcentraties en de maximum temperatuur zijn sterk aan elkaar gerelateerd; hier het voorbeeld van de zomer van 2004 (Bron: RIVM, 2004).

Wintersmog en fijn stof

Fijn stof is een algemeen luchtverontreinigingprobleem met grote negatieve gevolgen voor de gezondheid. Mensen met luchtwegaandoeningen of hart- en vaatziekten, ouderen en mensen die zich inspannen in de buitenlucht lopen als eerste een risico op gezondheidseffecten. In de winter tijdens stabiel koud weer met vorst kunnen perioden vóórkomen waarbij de fijn-stofniveaus sterk en langdurig zijn verhoogd (wintersmog) en waarbij gezondheidseffecten toenemen. Wanneer onze winters door klimaatverandering gemiddeld minder koud worden, kan de kans op wintersmog afnemen. Ook in de toekomst kunnen echter nog steeds extreme koudegolven optreden. Tijdens zulke perioden is de kans op wintersmog groter.

8.4 Allergieën

In Europa lijken allergische aandoeningen om nog onbekende redenen toe te nemen (hoewel recente berichten aangeven dat intussen de top gepasseerd zou zijn). Onder deze aandoeningen vallen allergische hooikoorts (met loopneus en niezen), allergisch eczeem en astma. Klimaatverandering zou hierop een nadelig effect hebben bijvoorbeeld door toename van de blootstelling aan pollen en huismijten. Gezondheidskundig kunnen dit significante effecten zijn, omdat deze aandoeningen in belangrijke mate bijdragen aan ziekte, verlies van arbeidsproductiviteit en een forse aanslag betekenen op de kosten voor de gezondheidszorg in Europa.

Pollen en hooikoorts

Aan pollenblootstelling gerelateerde ziekten kunnen wel 10-20% uitmaken van het totaal aan allergische ziekten in Europa. Klimaatveranderingen en weersomstandigheden beïnvloeden de timing en misschien ook de duur van het pollenseizoen, de hoeveelheid stuifmeelkorrels die worden geproduceerd en de geografische verdeling van bloeiende planten. Het vóórkomen van hooikoorts valt dan ook samen met het pollenseizoen. Klimaatveranderingen in Nederland en het mogelijke effect hiervan op de productie van pollen, kunnen dus direct van negatieve invloed zijn op allergische aandoeningen als hooikoorts en astma en op het aantal patiënten dat daar last van heeft. Hoewel een effect van klimaat op pollen waarschijnlijk lijkt, ontbreken kwantitatieve gegevens om de omvang van het effect te voorspellen.



Figuur 8.6 Als klimaatveranderingen het pollenseizoen verlengt kan dat bij een relatief groot gedeelte van de Europese bevolking tot meer allergische reacties leiden. (Foto: H. Behrent.)



Figuur 8.7 De huisstofmijt houdt van een hoge luchtvochtigheid; klimaatverandering kan het vóórkomen van de huisstofmijt en de hierdoor veroorzaakte allergieën bevorderen (Bron foto: onbekend).

Huisstofmijt

De huisstofmijt (Figuur 8.7) is een van de belangrijkste bronnen van allergenen binnenshuis. Allergie voor huisstofmijt gaat gepaard met oogirritaties, hooikoorts, astma en huidproblemen (eczeem). Veranderingen in temperatuur en vochtigheid kunnen leiden tot een toename van huisstofmijten. Vocht is voor mijten een levensvoorwaarde; daarom gedijen mijten het best in een stabiele vochtige omgeving met een relatieve vochtigheid tussen de 65-85%. Vooral in de herfst neemt hun aantal flink toe door de hogere luchtvochtigheid in huis. Hoewel een effect van klimaat op de huisstofmijt waarschijnlijk lijkt, ontbreken kwantitatieve gegevens om de omvang van het effect te voorspellen.

8.5 Overige ontwikkelingen

Watergerelateerde ziekten

Het is niet erg waarschijnlijk dat in Nederland klimaatverandering en temperatuurstijging een zeer grote bijdrage gaan leveren aan de met de waterkwaliteit verbonden ziekten. Toch kunnen er diverse gezondheidseffecten optreden:

- effecten veroorzaakt door de toegenomen groei van en blootstelling aan microbiologische verontreinigingen in het kust-, oppervlakte-, recreatie- en drinkwater in Nederland, bijvoorbeeld blauwalgen of botulisme,
- effecten van ziekteverwekkende micro-organismen die tot nu toe weinig of geen problemen hebben veroorzaakt, zoals amoeben, vooral gedurende warme zomers,
- effecten van ziekteverwekkende micro-organismen uit minder ontwikkelde gebieden (zoals de cholera bacterie).

Om de mogelijke gevolgen van temperatuurveranderingen voor het verhoogde voorkomen van pathogene micro-organismen in beeld te krijgen is een trendanalyse gemaakt van de temperatuurontwikkeling in een van de grote landelijke meren die ook een recreatieve zwemfunctie heeft (zie Hoofdstuk 6).

Voedselgerelateerde ziekten

Klimaatverandering kan ook het vóórkomen bevorderen van ziekten als vergiftigingen met Salmonella via besmet voedsel, omdat de overdracht en de vorming van dit soort besmettingen direct temperatuur- en dus ook klimaatafhankelijk is. In Nederland maar ook in andere landen zijn significante effecten hierop aangetoond. Het is onwaarschijnlijk dat deze effecten hier zeer groot zullen zijn door de hoge standaarden voor hygiëne.

Blootstelling aan UV-straling

Hoewel het klimaatprobleem en het ozonprobleem ('gat in de ozonlaag') niet met elkaar verward moeten worden, is er een aantal interacties tussen beide. Zo kan, door het versterkte broeikaseffect, het herstel van de ozonlaag wellicht vertraging oplopen bij de polen (in orde van verscheidene decennia), maar op gematigde breedte versnellen (recent IPCC-rapport). Op deze manier beïnvloedt dit indirect de gezondheid via het toe- of afnemen van ultraviolette (UV) straling. Daarnaast bestaat bij een toename in warmere en drogere zomers de kans op grotere blootstelling aan zonlicht en UV-straling (vaker buiten en in de zon verblijven: zie Hoofdstuk 6), wat het gezondheidsrisico extra verhoogt. Blootstelling aan UV-straling kan leiden tot oogstaar, huidkanker en een verzwakking van het immuunsysteem.

9 NASCHRIFT

De zeer lange termijn

Dit rapport beperkt zich in hoofdzaak tot de termijn van enkele tientallen jaren. Voor enkele aspecten is een langere zichthorizon gebruikt (eind van de eeuw). De algemene conclusie is, dat in Nederland de komende tientallen jaren de effecten beheersbaar lijken. Deze conclusie behoeft echter enkele kanttekeningen. Als op de nog langere termijn fundamentele problemen dreigen te ontstaan, dan kunnen die beter tijdig in de overwegingen over maatregelen worden betrokken. Dat kan tot robuustere oplossingen leiden die bij voortgaan op de weg van geleidelijke veranderingen niet in beeld komen.

De verwachtingen voor het klimaat aan het eind van deze eeuw en daarna laten wereldwijd voortschrijdende veranderingen zien (zie voor een overzicht het MNP-rapport: 'Hoeveel warmer mag het worden?'). Emissies van broeikasgassen werken vertraagd door in het hele klimaatsysteem. Effecten van de huidige verhoogde concentraties van broeikasgassen werken onvermijdelijk nog vele tientallen jaren tot eeuwen door. De temperatuurverhoging leidt tot thermische uitzetting van dikke lagen van de oceaan. Dat kan pas door lange perioden van veel kouder weer ongedaan worden gemaakt. Over het afsmelten van landijs zijn de inzichten meer uiteenlopend (zie ook Kader B in Hoofdstuk 2). Dit leidt, samen met de voortzettende bodemdaling aan de Nederlandse kust tot een zeespiegelstijging van mogelijk enkele meters in de komende paar honderd jaar, met mogelijk nog grotere stijgingen als het landijs substantieel smelt.

Het is onzeker of de huidige gebruikelijke technieken van zandaanvulling in het kustgebied, dijkverhoging en duinonderhoud voldoende zullen zijn om dit te volgen met handhaving van onze huidige veiligheidsstandaarden.

De consequenties van zich voortzettende klimaatverandering voor natuur, landbouw, recreatie, andere belangen en gezondheid in Nederland zijn op die lange termijn moeilijk concreet aan te geven. De wijze waarop in het waterbeheer wordt gereageerd op de komende klimaatveranderingen heeft grote gevolgen voor de andere belangen. Samenhangende analyses zijn nodig om tot afgestemd beleid te komen. Het is in ieder geval duidelijk, dat in Nederland op langere termijn deels een andere natuur aanwezig zal zijn. Ook de landbouw zal zich ongetwijfeld hebben aangepast aan de veranderingen door teeltkeuze en dergelijke. Voor landbouw en andere economische sectoren geldt echter dat andere (economische en maatschappelijke) ontwikkelingen waarschijnlijk belangrijker zijn dan klimaatverandering.

Scenariostudies en adaptatie

In dit rapport is de beschikbare kennis over de effecten van klimaatverandering in Nederland op een rij gezet. Deze kennis is nog verre van volledig en vaak nog gebaseerd op analyses met verschillende uitgangspunten. Voor een betere onderbouwing

van het adaptatiebeleid is behoefte aan een brede samenhangende analyse. Het KNMI werkt momenteel aan nieuwe klimaatscenario's. Naar verwachting komen deze begin volgend jaar beschikbaar. Het zou goed zijn, als op basis van de nieuwe scenario's van het KNMI de uitgangspunten voor de analyses van de effecten worden afgestemd tussen de onderzoeksinstellingen. Dan kan ook meer samenhangend naar de onzekerheden worden gekeken. Veel van de analyses geven nog geen beeld van de verwachte kosten en baten van klimaatverandering voor de verschillende betrokken belangen. Voor een goede afweging van eventueel te nemen maatregelen zou dit belangrijke informatie kunnen zijn.

Uit de analyses komt ook naar voren dat vaak geen goede kwantitatieve schatting is te geven van de effecten, zeker niet in economische termen. Toch is dit voor zorgvuldige afwegingen tussen maatschappelijke belangen en tussen korte- en lange-termijndoelen vaak wel nodig. De scenarioanalyses zouden bij voorkeur tot op dat niveau moeten worden uitgewerkt.

De effecten van klimaatveranderingen kunnen op veel plaatsen buiten Nederland aanzienlijk ingrijpender zijn dan hier. Dat zal in toenemende mate ook invloed hebben op de Nederlandse samenleving via migratie, veranderingen in handelsstromen, veranderingen in gedrag van toeristen enzovoorts. De scenarioanalyses naar de effecten in Nederland zullen dan ook altijd aangevuld moeten worden met Europese en mondiale analyses.

LITERATUUR

Literatuur bij hoofdstuk 2

- Crutzen, P.J., G.J. Komen, K. Verbeek, R. van Dorland, en A.P. van Ulden: Veranderingen in het klimaat: vragen en antwoorden, KNMI, 2004.
- Dorland, R. van, Klimaat op drift; hoofdstuk 2 in "Opgewarmd Nederland", Roos, R. e.a. (red.), Opgewarmd Nederland (boek + DVD), ISBN 90 808158 2 9, 224 p., Stichting Natuur en Milieu, november 2004.
- Dorland, R. van, Klimaatveranderingen en het broeikas-effect, Actuele Onderwerpen (AO) boekenreeks, AO2781, 2003.
- Dorland, R. van, Radiation and Climate: from radiative transfer modelling to global temperature response, 1999: Ph.D. Thesis, ISBN 90-646-4032-7. Forest, C.E., P.H. Stone, A. Sokolov, M.R. Allen, and M.D. Webster: Quantifying uncertainties in Climate System Properties with the Use of Recent Climate Observations, *Science*, **295**, 113-117, 2002.
- Hansen, J.; Diffusing the global warming time bomb, *Sci. Amer.*, **290**, 68-77, 2004.
- Hare B. and M. Meinshausen; How much warming are we committed to and how much can be avoided? PIK report 93, Potsdam institute for climate impact research, Potsdam, 2004.
- Hasselmann, K., M. Latif, G. Hooss, C. Azar, O. Ederhofer, C.C. Jaeger, O.M., Johannessen, C. Kemfert, M. Welp, and A. Wokaun; The challenge of long term climate change, *Science*, **302**, 1923-1925, 2003.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); *Special Report on Emission Scenario's*, N. Nakicenovic and R. Swart (eds.), Cambridge Univ. Press, 2000.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2001; The Scientific Basis*, Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (Eds.), 2001.
- Jones, P.D. & Moberg, A.; Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*. **16**, 206-223, 2003.
- Knutti, R., T. F. Stocker, F. Joos, and G.-K. Plattner; Constraints on radiative forcing and future climate change from observations and climate model ensembles. *Nature*, **416**, 719-723, 2002.
- Kors, A.G., Claessen, R.A.M., Wesseling, J.W. en Können, G.P.; Scenario's externe krachten voor WB21, Commissie Waterbeheer 21^{ste} eeuw, RIZA, WL-Delft/KNMI-rapport, 2000
- Langhemheen, W. van de, J.R.A. Onvlee, G.P. Können, and J. Schellekens; Projectie van de Elbe-zomermeerslag op Rijn en Maas, *RIZA report 2002042, KNMI publicatie no. 198, WL rapport no. Q3352, ISBN 9036 95 472x.*, 2002
- Rial, J., Pielke Sr., R.A., M. Beniston, M. Claussen, J. Canadell, P. Cox, H. Held, N. de Noblet-Ducoudre, R. Prinn, J. Reynolds, and J.D. Salas; Nonlinearities, feedbacks and critical thresholds within the Earth's climate system, *Climatic Change*, **65**, 11-38, 2004.
- RIZA, Arcadis, HKV_Lijn in Water, Korbbe Hovelynck, KIWA (2005), Droogtestudie Nederland, Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Concept-eindrapport Lelystad, juli 2005.
- Rooijers, F.J., I. De Keizer, S. Slingerland, J. Faber, R.C.N. Wit, K. Verbeek, R. van Dorland, A.P. van Ulden, R.W.A. Hutjes, P. Kabat, en E.C. van Ierland, Klimaatverandering en klimaatbeleid: Inzicht in keuzes voor de Tweede Kamer, 2004.
- Schär, C, P.L. Vidale, D. Lütti, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger, and C. Appenzeller; The Role of Increasing Temperature Variability in European Summer Heatwaves, *Nature*, **427**, 332-336, 2004.
- Ulden, A.P. van, and R. van Dorland; 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).
- Verbeek, J. (Ed.); De toestand van het klimaat in Nederland 2003, KNMI. De Bilt, NL, 2003.
- Visser, H.; De significantie van klimaatverandering in Nederland. Een analyse van historische en toekomstige trends (1901-2020) in het weer, weersextremen en temperatuurgerelateerde impactvariabelen. MNP Rapport 550002007, Bilthoven, NL, 2005.
- Wood, R., M. Collins, J. Gregory, G. Harris and M. Vellinga; Towards a risk assessment of a shut down of Atlantic Thermohaline Circulation. Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Met. Office, Exeter, UK, 2005.

Literatuur bij hoofdstuk 3

- Beersma J. T.A. Buishand en H. Buiteveld.
Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie; 199-II. Augustus 2004, De Bilt
- Beersma J.J., Hurk B.J.J.M. van den en Können G.P. Weer en water in de 21e eeuw; een samenvatting van het derde IPCC klimaatrapport voor het Nederlandse waterbeheer. KNMI, 2001
- Blom G., *Integrale Verkenning benedenrivieren*. Van Onderzoek naar Advies; Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland / RIZA Rotterdam / Lelystad, december 2001
- Born, G.J. van den, L. Brouwer, H. Goossen, R. Hoekstra, D. Huitema & R. Schrijver; *Klimaatwinst in veenweidegebieden, beheersopties voor het veenweidegebied integraal bekeken*. LEI/RIVM/VU/CLM. Rapport nr. R-02/05. VU-IVM, Amsterdam, 2002.
- Bos, R. van den, 2003. *Invloed van de mens op koolstof-fluxen in kustveengebieden; procesanalyse, kwantificering en voorspelling*. Proefschrift VU, Amsterdam.
- Bruijn, F.A. de en A. van Mazijk. *Klimaatinvloeden op de kwaliteit van het Rijnwater*, TU Delft / Vereniging van Rivierwaterbedrijven, oktober 2003
- Buiteveld H. en M. Schropp. *Klimaatscenario's voor de maatgevende afvoer Rijn en Maas*. Memo WSR 2003-002, RIZA, 23 januari 2003
- Buiteveld, H. *Afvoerregime van de Rijn in de 20e eeuw*. Memo WRR/2005-018. RIZA, september 2005
- Deursen, W. van. *Klimaatveranderingen in de stroomgebieden van Rijn en Maas*. Modelstudies met Rhineflow-3 en Meuseflow-2. Carthago Consultancy Rotterdam, november 2002
- Dillingh D. *Klimaatverandering en zeespiegelstijging: vroeger, nu en in de toekomst*. Mens en Wetenschap 29. 2002
- Dolman, D.J., P. Kabat, E.C. van Ierland, R.W.A. Hutjes. *Klimaatverandering en het landelijk gebied in Nederland*; LNV Agenda Klimaat. Alterra, 2000
- Gaalen, F.W. van, Kragt, F.J. en Keuren, A. *Toelichting op de landsdekkende maatregelkaart deelstroomgebiedsvisies*. MNP rapportnr. 500023001/2005. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2005
- Huissteden, K. van. *Moeras en de broeikas*. In: R. Roos & S. Woudenberg. *Opgewarmd Nederland*, p. 147-153. Stichting Natuurmedia. 2004
- IPCC. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.
- Jacobs, Pieter (2005). *Zout vanuit zee: verzilting van de rijkswateren in Midden-West Nederland nu en in de toekomst*. Publicatie van de Nederlandse Hydrologische Vereniging, naar aanleiding van een symposium over verzilting op 30 november 2004.
- Katsman C.A.. *Tien vragen en antwoorden over zeespiegelstijging*. KNMI, 2005. <http://www.knmi.nl/kenniscentrum/zeespiegelstijging.html>
- Korbee & Hovelynck; RIZA, Arcadis, HKV, Landelijke Droogtestudie. *Inhoudelijke Analyse Fase 2A en Achtergrondrapportage fase 2b*. RWS-Directie Zuid-Holland. notanr AP/3314610/2000/15. ISBN 90-369-4822-3, 2004 en 2005
- Kragt, F.J., Gaalen, F.W. van, Beugelink G.P. en Ligtoet W. *Afwenteling en blauwe knopen: sleutel tot duurzaam waterbeleid*. MNP rapportnr. 500023003/2005. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2005
- Kwaad, F.J.P.M. *Het NAP-niveau - de dijkpeilstenen van burgemeester Hudde en de geschiedenis van het Normaal Amsterdams Peil*. 2005. <http://home.tiscali.nl/~wr2777/Kwaad-Public.htm>.
- Ligtoet, W. en M. van der Vlist. *'Waarheen met het veen: op zoek naar ruimtelijke strategieën voor de veengebieden'*. ROM magazine (10), 2002.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. *3e Kustnota; Traditie, Trends en Toekomst*, december 2000.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. *Nationaal Bestuursakkord Water*, 2003.
- MNP, CBS en WUR. *Zeespiegelstand aan de Nederlandse kust, 1900-2003*. Milieu- en Natuurcompendium. 26 januari 2005. <http://www.mnp.nl/mnc/i-nl-0229.html>
- PKB Deel 1 *Ruimte voor de Rivier*; Ontwerp Planologische Kernbeslissing en Nota van Toelichting, 15 april 2005
- Project Ruimte voor de Rivier. *'PKB deel 1 en MER'* http://www.ruimtevoordevier.nl/index.asp?m_id=278, 2005
- Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier. *Hoogwater in het stroomgebied van de Rijn*. Brochure Projectorganisatie Ruimte voor de Rivier, 2003

- Rijkswaterstaat directies IJsselmeergebied, Noord-Holland en Utrecht en RIZA. Waterhuishouding in het natte hart; WIN strategie als leidraad voor toekomstig waterkwantiteitsbeheer van het natte hart, mei 2000.
- RIVM-MNP. Milieu- en natuureffecten Nota Ruimte. RIVM-rapportnr. 711931009. RIVM, Bilthoven, 2004
- RIZA, Droogtestudie Nederland. Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland, concept-eindrapport, juli 2005
- RIZA. Droogtestudie Nederland. Aard, Ernst en omvang van de droogte in Nederland. Resultaten fase 2a Informatiespoor Droogtestudie Nederland. RIZA Rapport 2004.31, ISDN 9036956897, 2004
- RIZA. Droogtestudie Nederland. Technisch spoor: Eindrapport fase 1. Verkenning. RIZA-rapport 110605/Br3/35/000006/001. Lelystad. 2003
- Rooijers, F.J. et al. Klimaatverandering, klimaatbeleid: inzicht in keuzes voor de Tweede Kamer. KNMI 2004
- STOWA. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. STOWA rapport 2004-26, Utrecht, 2004
- TNO. De ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland , deel 7, 2003
- Visser, H.; De significantie van klimaatverandering in Nederland. Een analyse van historische en toekomstige trends (1901-2020) in het weer, weersextremen en temperatuurgerelateerde impactvariabelen. MNP Rapport 550002007, Bilthoven, 2005.
- Literatuur bij hoofdstuk 4**
- Arnott, S.A. and G.D. Ruxton; Sandeel recruitment in the North Sea: demographic, climatic and trophic effects, *Marine Ecology Progress Series* vol 238, 199-210, 2002.
- Bakkenes, M., J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Lee-mans & J.B. Latour; Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology*, vol. 8, 390-407, 2002.
- Beaugrand, G., Brander K.M., Lindley J.A., Souissi S. & Reid P.C.; Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664, 2003.
- Beukema J.J., Honkoop P.J.C.; Winter temperatures and reproductive success in bivalves living on tidal flats of the Wadden Sea, NRP rapport, nr. 410100074, 1995
- Born, G.J. van den, L. Brouwer, H. Goossen, R. Hoekstra, D. Huitema & R. Schrijver; Klimaatwinst in veenweidegebieden, beheersopties voor het veenweidegebied integraal bekeken. LEI/RIVM/VU/CLM. Rapport nr. R-02/05. VU-IVM, Amsterdam, 2002.
- Bos, R. van den; Invloed van de mens op koolstof-fluxen in kustveengebieden; procesanalyse, kwantificering en voorspelling. Proefschrift VU, Amsterdam, 2003.
- Both, C. & M.E. Visser; Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. In: *Nature* 411. 296-298, 2001.
- Brinkman, A.G., B.J. Ens, K. Kersting, M. Baptist, M. Vonk, J. Drent, B.M. Janssen-Stelder & M.W.M. van der Tol; Modelling the impact of climate change on the Wadden Sea ecosystems. NOP report 410 200 066, 2001.
- Camphuysen C.J.; The return of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in Dutch coastal waters. *Lutra* 47 (1): 135-144, 2004.
- Creemers, R. Amfibieën en reptielen: honkvast. In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 69-71, 2004.
- Edwards, M. , P. Licandro, A.W.G. John & D.G. Johns; Ecological Status Report: results from the CPR survey 2003/2004. SAHFOS Technical Report, 2: 5. ISSN 1744-075. Plymouth, UK., 2005.
- EEA; Indicators of Europe's Changing Climate. EEA, Copenhagen, 2004
- Elbersen, J.W.H.; Nederlandse beken. Presentatie op het Veldsymposium Klimaatverandering, 6 juni, Petten. www.natuurmedia.nl/klimaatverandering/index.htm, 2002.
- European Climate Forum (ECF); What is dangerous climate change? Initial results of a symposium on Key Vulnerable regions, Climate Change and Article 2 of the UNFCCC, held at Beijing, 27-30 October 2004
- Exeter; Report of the International Scientific Steering Committee to the conference "Avoiding dangerous climate change". , Exceter, UK, September 2004, 22p, http://www.stabilisation2005.com/Steering_Committee_Report.pdf, 2005
- Folkestad, T., M. New, J.O. Kapland, J.C. Comiso, S. Watt-Cloutier, T. Fenge, P. Crowley & L.D. Rosentrater, 2005. Evidence and Implications of Dangerous Climate Change in the Arctic. Conf. Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK, 1-3 februari 2005.

- Herk, C.M. van, A. Aptroot & H.F. van Dobben. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34 (2). 141-154, 2002.
- Herk, K. van; Korstmossen; de tropen zijn er al. . In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 73-77, 2004.
- Hoek, T.H. van den & P.F.M. Verdonschot. De invloed van veranderingen in temperatuur op beekmacrofauna. Alterra rapport. ISSN 1566-7197, 2001.
- Huissteden, K. van; Moeras en broeikas. . In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 147-153, 2004.
- IPCC; Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001.
- Kuikman, P., W. de Groot, R. Hendriks, J. Verhagen & F. de Vries. Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in the Netherlands. Alterra, Wageningen, 2002.
- Leemans, R. and B. Eickhout; Analysing ecosystems for different levels of climate change. OECD: ENV/EPOC/GSP(2003) 5/FINAL.OECD, 2003
- Leemans, R. and B. Eickhout; Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change. *Global Environmental Change*, 2004. 14: 219-228, 2004.
- Lindeboom, H.J. Changes in coastal zone ecosystems; In: Wefer, G., H. Berger, K.-E. Behre, & E. Jansen (eds.). *Climate development and history of the North Atlantic realm*. Springer-Berlin, 447-455, 2002
- Lindeboom, H. & G. Janssen; Woelige zee, belaagde kust. In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 135-145, 2004.
- Loneux, M.; De teruggang van de Korhoen, een slachtoffer van klimatologische opwarming. In: *De Levende Natuur* 104 mei. 83-85, 2003.
- Malcolm, J.R., A. Markham, R.P. Neilson and M. Garaci; Estimated migration rates under scenarios of global climate change. *Journal of Biogeography*, vol. 29, 835-849, 2002
- Milieu- en Natuurplanbureau, Natuurbalans 2003. Kluwer, Alphen aan den Rijn, 2003.
- Mooij, W.M., Hülsmann, S., De Senerpont Domis, L.N., Nolet, B.A., Bodelier, P.L.E., Boers, P.C.M., Dionisio Pires, L.M., Gons, H.J., Ibelings, B.W., Noordhuis, R., Portielje, R., Wolfstein, K. & Lammens, E.H.R.R; The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquatic Ecology*, in press, 2005.
- Mostert, K.; Libellen: voordelen van een warmer klimaat? In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 49-53, 2004.
- Nabuurs, G.J., A.J. Dolman, E. Verkaik, P.J. Kuikman, C.A. van Diepen, A.P. Whitmore, W.P. Daamen. O. Oenema, P. Kabat, & G.M.J. Mohren.; Article 3.3 and 3.4 of the Kyoto Protocol: consequences for industrialised countries' commitment, the monitoring needs, and possible side effects. *Environmental Science Policy* 3. 123-134, 2000.
- Nabuurs, G.J., G.J.M. Mohren, & M.F.F.W. Jans; Kosteneffectiviteit van koolstofvastlegging in bos. IBN-rapport 248. IBN-DLO, Wageningen, 1996.
- Natuurkalender, 2005. <http://www.natuurkalender.nl>
- Neilson, R.P.; Vegetation redistribution: a possible biosphere source of CO₂ during climatic change. *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 70, 659-673, 1993.
- Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans and M. Marchand; Increasing Flood risk and wetland losses due to global sea level rise: regional and global analyses. *Global Environmental Change – Human and Policy Dimensions*, vol. 9, 69-87, 1999.
- Parmesan, C. and G. Yohe; A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, no. 6918, 37-42, 2003.
- Philippart, C.J.M., H.M. van Aken, J.J. Beukeema, O.G. Bos, G.C. Cadée & R. Dekker; Climate-related changes in recruitment of the bivalve *Macoma balthica*. In: *Limnology and Oceanography* 48: 2171-2185, 2003.
- Richardson, AJ and D.S. Schoeman; Climate impact of plankton ecosystems in the Northeast Atlantic, *Science* 305, no. 5690, 1609-1612, 2004.
- RIZA; Droogtestudie Nederland. Technisch spoor: Eindrapport fase 1. Verkenning. RIZA-rapport 110605/Br3/35/000006/001. Lelystad, 2003.
- RIZA; Droogtestudie Nederland. Aard, Ernst en omvang van de droogte in Nederland. Resultaten fase 2a Informatiespoor Droogtestudie Nederland. RIZA Rapport 2004.31, ISDN 9036956897, 2004.

- Roos, R. & B. van Tooren. Flora en fauna in rep en roer. In: R. Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 99-103, 2004.
- Root, T.L., J.T. Price, S.H. Schneider, C. Rosenzweig and J.A. Pounds; Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421, no. 6918, 57-60, 2003
- Schreijer, M.; Polders, sloten en plassen: binnenwateren in beweging. In: Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 119-125, 2004.
- Swaay, C. van; Dagvlinders: extra onder druk. In: R. Roos red.. Opgewarmd Nederland. Stichting NatuurMedia, Uitgeverij Jan van Arkel & Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam/Utrecht. 55-59, 2004.
- Tamis, W.L.M., M. van 't Zelfde & R. van der Meijden; Changes in vascular plant biodiversity in The Netherlands in the 20th century explained by climatic and other environmental characteristics. In: Oene, H. van et al.. Dutch national programme on global air pollution and climate change. Long-term effects of climate changes on biodiversity and ecosystem processes. NOP- Report 410 200 089. Bilthoven. 23-50, 2001.
- Vellinga, P. and R.J. Swart, 191. The greenhouse marathon: A proposal for a global strategy. *Climatic Change*, vol 18, 7-12, 1991
- Visser, H.; De significantie van klimaatverandering in Nederland. Een analyse van historische en toekomstige trends (1901-2020) in het weer, weersextremen en temperatuur-gerelateerde impact-variabelen. MNP Rapport 550002007, Bilthoven, 2005.
- Visser, M. & F. Rienks; Klimaatverandering rammelt aan voedselketens. *De Levende Natuur* 104 mei. 110-113, 2003.
- Vliet A.J.H. van, R. Leemans; Rapid species' responses to changes in climate require stringent climate protection targets. In: Tirpak, D., M. Parry, J. Schellnhuber, W. Cramer & T. Wigley (eds.). *Avoiding Dangerous Climate Change*. DEFRA, Exeter, UK. 57-61, 2005.
- Weijerman, M., H. Lindeboom & A.F. Zuur; Regime shifts in marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* vol. 298: 21-39, 2005.
- Wolff W.J.; Impact of climate change on the Wadden Sea. In: Zwerver S. van Rompaey, Kok M.T.J., Berk M.M. (eds.)- *Climate change research: evaluation and policy implications*. *Studies in Environmental Science* 65B. Elsevier, Amsterdam: 781-818, 1995.
- ## Literatuur bij hoofdstuk 5
- Asseldonk, M.A.P.M. van; Meuwissen, M.P.M.; Huirne, R.B.M.; Risicofinanciering van oogstschade door extreme weersomstandigheden. Wageningen : IRMA, Institute for Risk Management in Agriculture. - ISBN 90-6754-604-6 - p. 41, 2000.
- Duijn, M.J. van, M.H.P. Otten, M.D. Oosthoek, E.R.G. van Dijkman, E.J.T. van den Berg; *Kluster*; 1999
- Langeveld, J.W.A.; Verhagen, A.; Asseldonk, M.A.P.M. van; Metselaar, K.; In: XIV.th Global Warming Conference, held in Boston (USA), May 2003 : XIV.th Global Warming Conference, held in Boston (USA), May 2003. - *World Resource Review* 15 (2003) 4. - p. 446 - 461. Boston, USA : 2003 - p. 446 - 461, 2003.
- Moraal, L.G., G. A. J.M . Jagers op Akkerhuis, H. Siepel, M.J. Schelhaas en G.F.P. Martakis; Verschuivingen van insectenplagen bij bomen sinds 1946 in relatie met klimaatverandering. Alterra, Alterra rapport nr 865, Wageningen, 2004.
- Olesen, J.E. and M. Bindig; Agricultural policy to develop a sustainable agriculture that also preserves environmental and social values in the rural society. *European Journal of Agronomy* 16, p239-262, 2002.
- RIZA; Droogtestudie Nederland, Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. RIZA, Lelystad (in concept), 2005.
- Roest, C.W.J, P.J.T. van Bakel en A.A.M.F.R. Smit; Actualisering van de zouttolerantie van land- en tuinbouwgewassen ten behoeve van de berekening van de zoutschade in Nederland met het RIZA-instrumentarium, Alterra, Wageningen, 2004.
- Rooijers F.J. et al., Klimaatverandering, Klimaatbeleid. Inzicht in keuzes voor de Tweede Kamer; hoofdrapport. CE / KNMI / Alterra / WUR, 2004.
- Roos, R., Woudenberg, S. (eds); Opgewarmd Nederland, Klimaatverandering, natuur, water, landbouw, effecten, aanpak, Uitgave Stichting NatuurMedia, i.s.m. Uitgeverij Jan van Arkel en Stichting Natuur en Milieu, 2004.
- Schapendonk, A.H.C.M., W. Stol, J.H.M. Wijnants, F. Bunte, M.W. Hoogeveen, en S.C. van de Geijn; Effecten van klimaatverandering op fysieke en economische opbrengst van een aantal landbouwgewassen in Nederland, AB-DLO en LEI-DLO, rapport no. 410200016, 1998.
- Wingelaar, J. P. Jellema en H. Boesveld; Monitoring ziekten, plagen en onkruiden, rapportage van de ontwikkelingen 1998-2004, PD, Wageningen, 2005

Literatuur bij hoofdstuk 6

- Abegg, B.; Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Projektbericht NFP 31 Hochschulverlag AG ETH: Zürich, 1996.
- Amelung, B.; Klimaat en Toerisme: Tijdige Voorbereiding of Last-minute Aanpassing? De Gevolgen van Klimaatverandering voor Toerisme & Recreatie in een Nederlandse Context. *Vrijtijdstudies*, 20(2): 5-20, 2002.
- Amelung, B. and Viner, D. (forthcoming); The Sustainability of Tourism in the Mediterranean: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index. *Journal of Sustainable Tourism*, 2005.
- Brabson, B., Amelung, B. and Viner, D.; Notes on tourism, climate change, and spells. Research note Norwich, East Anglia, 2004.
- Bürki, R., Elsasser, H. and Abegg, B. Climate Change and Winter Sports: Environmental and Economic Threats. Paper gepresenteerd op de 5th World Conference on Sport and Environment, gehouden in Turijn op 2 en 3 december 2003.
- Mather, S., Viner, D. and Todd, G.; Climate and Policy Changes: Their Implications for international Tourism Flows. In: Hall, M. and Higham, J. (eds.) *Tourism, Recreation and Climate Change*, Channel View Publications: Clevedon, UK, 63-85, 2005.
- Mooij, W.M., Hülsmann, S., De Senerpont Domis, L.N., Nolet, B.A., Bodelier, P.L.E., Boers, P.C.M., Dionisio Pires, L.M., Gons, H.J., Ibelings, B.W., Noordhuis, R., Portielje, R., Wolfstein, K. & Lammens, E.H.R.R. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. *Aquatic Ecology*, in press, 2005.
- Moss B., Mckee D., Atkinson D., Collings S.E., Eaton J.W., Gill A.B., Harvey I., Hatton K., Heyes T. and Wilson D.; How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *J. Appl. Ecol.* 40: 782-792, 2003
- Reeders H.H., Boers P.C.M., Van der Molen D.T. and Helmerhorst T.H.; Cyanobacterial dominance in the lakes Veluwemeer and Wolderwijd, The Netherlands. *Wat. Sc. Tech.* 37: 85-92, 1998.
- Van de Bund W.J., Romo S., Villena M.J., Valentin M., Van Donk E., Vicente E., Vakkilainen K., Svensson M., Stephen D., Stahl-Delbanco A., Rueda J., Moss B., Miracle M.R., Kairesalo T., Hansson L.A., Hietala J., Gyllstrom M., Goma J., Garcia P., Fernandez-Alaez M., Fernandez-Alaez C., Ferriol C., Collings S.E., Becares E., Balayla D.M. and

Alfonso T.; Responses of phytoplankton to fish predation and nutrient loading in shallow lakes: a pan-European mesocosm experiment. *Freshwat. Biol.* 49: 1608-1618, 2004

- Van De Bund, W.J. and E. Van Donk, Effects of fish and nutrient additions on food-web stability in a charophyte-dominated lake. *Freshwater Biology* 49(12): 1565-1573, 2004.

Literatuur bij hoofdstuk 7:

- Aerts, J. (ed.). *Adaptation strategies for water for food and water for the environment*. CAB International, Wallingford, UK, 288pp, 2004
- Asseldonk, M.A.P.M van., M.P.M. Meuwissen & R.B.M. Huirne. *Risicofinanciering van oogstschade door extreme weersomstandigheden*. IRMA, Wageningen, The Netherlands, 2000.
- Baan, P.J.A., H. van der Most, G.B.M. Pedroli en H.J. van Zuijlen. *Systeemverkenning gevolgen van klimaatverandering*. Waterloopkundig Laboratorium | WL, 1993
- Bouwer, L.M. & P. Vellinga. *Changing climate and increasing costs – Implications for liability and insurance*. In Beniston, M. (ed.) *Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management*. *Advances in Global Change Research* 10. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston, 429-444. 2002
- Dril, A.W.N. van, en H. E. Elzinga. *Referentieramingen energie en emissies 2005 – 2020*. ECN, MNP. Petten / Bilthoven. ECN-C-05-018 / RIVM-MNP M/773001031, 2005
- Kok, M. *Mogelijkheden voor het Verzekeren van Water-risico's*. HKV-lijn in water, Lelystad, The Netherlands, 2000
- RIVM-MNP, *Risico's in Bedijkte Termen*. Bilthoven, oktober 2004
- RIZA, *Droogtestudie Nederland, Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland, concept-eindrapport*, juli 2005
- VEWIN, *Waterleidingstatistiek 2003*. Rijswijk, 2004

Literatuur bij hoofdstuk 8

- Beer de J, Harmsen C. Ruim duizend doden extra door warme zomer. CBS webmagazine, 2003
- Boon den S, Pelt van W. Verdubbeling consulten voor tekenbeten en ziekte van Lyme. *Infectieziekten Bulletin*, 14: 162-163, 2003.
- Fischer PH, Brunekreef B., and Lebrat E. Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands. *Atmos. Environ.* 38, 1083-1085, 2004.

- Huynen MMTE, Martens P, Schram D, Weijenberg MP et al. The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environmental Health Perspectives*, 109: 463-470, 2001.
- Huynen MMTE, Menne B. Phenology and human health: allergic disorders (Report of a meeting, 16-17 January, Rome, Italy). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2003.
- Kovats et al. Climate variability and campylobacter infection: an international study. *Int. J. Biometeorol.* 49: 207-214 (2005).
- Langford IH, Bentham G. The potential effects of climate change on winter mortality in England and Wales. *International Journal of Biometeorology*, 38: 141-147, 1995.
- Martens P, Huynen M. Will Global Climate Change Reduce Thermal Stress in The Netherlands? *Epidemiology*, 12: 753-754, 2001.
- McMichael AJ, Campbell-Lendrum D, Kovats RS, Edwards S et al. Global climate change. In: *Comparative quantification of health risks*. Edited by Ezatti M, Lopez A, Rodgers A, Murray C. Geneva: World Health Organization; 2004.
- McMichael A.J., Githeko A. (eds). Human Health. In: *Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by McCarthy J, Canziani O, Leary N, Dokken D, White K. Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
- McMichael AJ, Kovats S. Assessment of the impact on mortality in England and Wales of the heatwave and associated air pollution episode of 1976. Report to the Department of Health. London: London School of Hygiene and Tropical Medicine; 1998.
- RIVM. Environmental Balance 2001. Bilthoven: National Institute of Public Health and the Environment; 2001.
- RIVM. Zomersmog 2004. Report 20041223. Bilthoven: RIVM; 2004.
- Rooney C, McMichael A.J., Kovats R.S., Coleman M.P. Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 53: 482-486, 1998.
- Sartor F, Snacken R, Demuth, Walckiers D. Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium. *Environ Res*, 70: 105-113, 1995.
- Schijven J.F. en de Roda Husman A.M. Effect of climate changes on waterborne disease in the Netherlands. *Water Sci Technol*;51(5):79-87, 2005

