

PROVINCIE



Klimaat-effectschetsboek Noord-Holland

Alterra
DHV B.V.
KNMI
VU

Provincie Noord-Holland
augustus 2008

dossier : B1661.01.001
registratienummer :
versie : definitief

Provincie: Noord-Holland
agustus 2008

Dit klimaateffetschetsboek is een co-productie van het KNMI, Alterra, Wageningen UR, DHV en de Vrije Universiteit Amsterdam in opdracht van de provincie Noord-Holland

Het project is mede mogelijk gemaakt door financiering uit het programma Klimaat voor Ruimte (www.klimaatvoorruimte.nl), waar het valt onder projectnummer COM21.

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

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	Het Klimaateffetschetsboek	7
1.2	Het klimaateffetschetsboek binnen de provincie Noord-Holland	7
1.3	Het klimaat verandert	8
1.3.1	Klimaatverandering en het broeikaseffect	8
1.3.2	Klimaatscenario's	9
1.3.3	Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?	12
1.4	Fysische-geografische kenmerken Noord-Holland	14
2	PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN	19
2.1	Welke informatie geven de kaarten?	19
2.2	Temperatuur	21
2.2.1	Gemiddelde temperaturen	21
2.2.2	Temperatuur extremen	23
2.3	Neerslag	31
2.3.1	Gemiddelde neerslag	31
2.3.2	Extreme neerslag	35
2.4	Neerslagtekort	39
2.5	Zonneschijn	42
2.6	Wind	43
2.7	Zeespiegel	43
3	Secundaire klimaateffecten	47
3.1	Watersysteem	47
3.1.1	Veiligheid/overstromingsrisico's	47
3.1.2	Effecten van klimaatverandering op de Waddenzee	51
3.1.3	Prioritering bij lage rivierafvoer	53
3.1.4	Waterkwaliteit	53
3.2	Stedelijk gebied	54
3.2.1	Wateroverlast in stedelijk gebied	54
3.2.2	Watertekort in de stad	55
3.2.3	Hittestress in de stad	55
3.2.4	Luchtkwaliteit	57
3.3	Landelijk gebied	58
3.3.1	Wateroverlast Landelijk gebied	58
3.3.2	Watertekort in het landelijk gebied	59
3.3.3	Toename interne verzilting in het landelijk gebied	59
3.4	Landbouw	61
3.4.1	Vernatting: winter	61
3.4.2	Droogteschade grondgebonden landbouw	62
3.4.3	Verzilting in de landbouw	63
3.4.4	Ziekten en plagen in de landbouw	63
3.4.5	Aquacultuur	65
3.5	Natuur	66
3.5.1	Effecten op natuur - algemeen	66
3.5.3	Adaptatie mogelijkheden	75
3.6	Infrastructuur	76
3.6.2	Wateroverlast verkeers-infrastructuur.	76
3.6.3	Temperatuur en infrastructuur	76
3.7	Recreatie	77
	Geraadpleegde bronnen	78
BIJLAGE 1	KNMI'06 klimaatscenario's	81
BIJLAGE 2	Interpretatie van de kaarten	85
BIJLAGE 3	Het stadseffect	86
BIJLAGE 4	Waargenomen veranderingen in Nederland	87
BIJLAGE 5	Primaire effecten: kaarten en additionele informatie	91
BIJLAGE 6	Methodieken klimatologische kaarten	100

1 INLEIDING

Het klimaat verandert, dat is inmiddels wel duidelijk. Dit heeft ook maatschappelijke en ruimtelijke gevolgen voor Nederland. De eerste tekenen geven al aan dat er veranderingen gaan optreden voor neerslagpatronen en temperatuur, ook al is de precieze impact nog niet bekend. Deze klimaatverandering is voor de provincie Noord-Holland aanleiding om een klimaateffectschetsboek op te stellen, waarin de mogelijke gevolgen voor ruimtelijke functies in kaart zijn gebracht. Nederland kan als gevolg van de klimaatverandering namelijk te maken krijgen met wateroverlast, watertekorten, zeespiegelstijging en verzilting. Verschillende functies kunnen bedreigd worden, maar de klimaatverandering kan natuurlijk ook kansen met zich mee brengen. In deze versie van het schetsboek zijn de primaire effecten (bijvoorbeeld neerslag en temperatuur) van klimaatverandering in de provincie Noord-Holland in kaart gebracht. Zover mogelijk is dit ook voor secundaire effecten (bijvoorbeeld wateroverschot en watertekort) gebeurd. Kwalitatief is aangegeven wat de gevolgen van deze effecten voor de verschillende functies zijn.

1.1 Het Klimaateffectschetsboek

In deze versie van het klimaateffectschetsboek worden voor een aantal provincies op basis van beschikbare gegevens de primaire en secundaire effecten van klimaatverandering op kaart gezet. In de praktijk betekent dit dat de primaire effecten door het KNMI naar het provinciale schaalniveau geïnterpoleerd zijn, en dat veel van de secundaire effecten alleen beschreven worden. Daar waar relevant worden deze effecten in 2050 gerelateerd aan de ruimtelijke functies van dit moment.

De primaire effecten zijn gebaseerd op de KNMI 2006 scenario's (zie voor toelichting paragraaf 1.3.2). Bij de uitwerking van dit schetsboek is er voor gekozen om de klimaatvariabelen in kaarten te presenteren voor het huidige klimaat en het toekomstige klimaat in 2050 voor de scenario's W en W+. Hiermee wordt het grootste gedeelte van de in de toekomst te verwachten klimaatverandering in beeld gebracht. Het G- en G+-scenario is ten opzichte van de huidige situatie voor de meeste klimaatvariabelen de helft van de veranderingen in respectievelijk het W- en W+-scenario.

Hiermee bieden de schetsboeken inzicht in de basisgegevens over klimaatverandering in de komende vier decennia in de provincie Noord-Holland. Het doel van de schetsboeken is om een feitelijke basis te bieden voor de discussie over een klimaatbestendige adaptatie strategie.

De belangrijkste doelgroep zijn de provinciale beleidsambtenaren. Het schetsboek brengt klimaatinformatie over verschillende beleidsvelden bij elkaar en biedt een uniforme basis voor integrale afweging.

Dit schetsboek is samengesteld door een consortium van het KNMI, Alterra, DHV en de VU. Tekst en informatie over primaire klimaateffecten komen van het KNMI (paragraaf 1.3 en hoofdstuk 2 met bijbehorende bijlagen). Teksten over secundaire klimaateffecten en gevolgen voor verschillende ruimtelijke functies komen van Alterra en DHV (hoofdstuk 3). DHV is verantwoordelijk voor de uiteindelijke redactie van het schetsboek.

Met de schetsboeken wordt er ook een nationale geodatabase ontwikkeld, zodat er door provincies op basis van consistente, vergelijkbare en gemakkelijk te actualiseren gegevens van adaptatie kan worden gewerkt.

1.2 Het klimaateffectschetsboek binnen de provincie Noord-Holland

De provincie Noord-Holland wil werk maken van de klimaataanpak. Daarom is klimaat als apart onderwerp opgenomen in het collegeprogramma "Krachtig, in balans", dat op 12 april 2007 door Provinciale Staten van Noord-Holland is vastgesteld. De provinciale klimaataanpak is uitgewerkt in een Actieprogramma Klimaat 2007-2011 dat op 17 december 2007 door Provinciale Staten van Noord-Holland is vastgesteld. De klimaat ambities daarin zijn:

1. Leveren van een bijdrage aan het voorkómen van klimaatverandering door het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen;
2. Beschermen tegen en benutten van de gevolgen van klimaatverandering door op tijd aan te passen en op kansen in te spelen;
3. Bevorderen van breed gevoelde verantwoordelijkheid en samenwerken met anderen.

Met de tweede ambitie wil de provincie een klimaatbestendige inrichting van Noord-Holland bereiken. Dat

betekent dat er goed wordt omgegaan met de risico's die ontstaan door klimaatverandering, maar ook dat de kansen worden benut. Allereerst wordt hiervoor de huidige situatie goed in kaart gebracht door een nulmeting. Het ontwikkelen van een klimaatatlas voor de provincie Noord-Holland is opgenomen in het Actieprogramma Klimaat als onderdeel van deze nulmeting. Met de klimaatatlas beoogt de provincie de huidige bescherming tegen gevolgen van klimaatverandering in kaart te brengen, mede in relatie tot toekomstscenario's. Dit moet inzicht geven in de risico's en kansen ten gevolge van klimaatveranderingen. De provinciale nulmeting bestaat naast een klimaatatlas gericht op het aanpassen aan klimaatverandering (tweede ambitie) uit een klimaatscan waarmee de huidige situatie wat betreft de uitstoot van broeikasgassen in kaart wordt gebracht (eerste ambitie).

Het ontwikkelen van een klimaateffetschetsboek is een eerste stap in het proces om te komen tot een klimaatatlas. Het klimaateffetschetsboek brengt de effecten van klimaatverandering voor het huidige en het toekomstig klimaat (2050) in kaart voor de provincie Noord-Holland. Dit moet een goed onderbouwde basis geven voor de discussies om klimaat een meer expliciete plaats te geven in het ruimtelijke en overig beleid van de provincie. Niet alleen gericht op het huidige ruimtegebruik, maar ook in de discussie over toekomstige ruimteclaims. Wat zijn de belangrijkste punten voor adaptatie in de provincie Noord-Holland om over 5 jaar tot een meer klimaatbestendige inrichting van de provincie te komen? Een klimaatatlas kan tevens gebruikt worden ter onderbouwing van no-regret beleidsbeslissingen om te komen tot klimaatbestendige ruimtelijke plannen, zoals op gebied van de ruimtelijke ordening (structuurvisie), water (waterplan), natuur (Ecologische Hoofdstructuur), recreatie, landbouw en verkeersinfrastructuur.

Naast de primaire klimaateffecten van temperatuur, neerslag, wind, zonneschijn en zeespiegelstijging zijn voor de provincie Noord-Holland diverse secundaire klimaateffecten van belang, zoals o.a. overstromingsrisico's, verdroging en verzilting, wateroverlast en hittestress. Wat betekenen deze klimaateffecten voor de verschillende functies van landgebruik in Noord-Holland en belangrijke beleidsthema's of grote knelpunten? Voor de provincie belangrijke onderwerpen zijn hierbij o.a.: kustverdediging voor de Noordzeekust, het IJsselmeer en de Waddenkust, landbouw (glastuinbouw, bollenteelt, veehouderij en veenweide gebieden), natuur (EHS en biodiversiteit), bereikbaarheid in brede zin (van schiphol, havens, bevaarbaarheid vaarwegen, wegen, en evacuatie routes), grootschalige verstedelijking in het gebied van de IJmond tot Hilversum en het IJmeer, potentie voor duurzame energie (wind en getijde energie) en recreatie aan de kust. Door de koppeling van de klimaatdata met de binnen de provincie Noord-Holland beschikbare ruimtelijke data wordt een belangrijke meerwaarde verkregen. Omdat de kaarten uit deze eerste fases (schetsboek) nog niet nauwkeurig genoeg zijn om te dienen als basis voor ruimtelijke planvorming is een vervolgtraject voorzien om te komen van een schetsboek tot een atlas (IPO PRISMA 2008 project).

1.3 Het klimaat verandert

1.3.1 Klimaatverandering en het broeikas effect

Wat is klimaat?

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

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

Klimaatverandering is van alle tijden

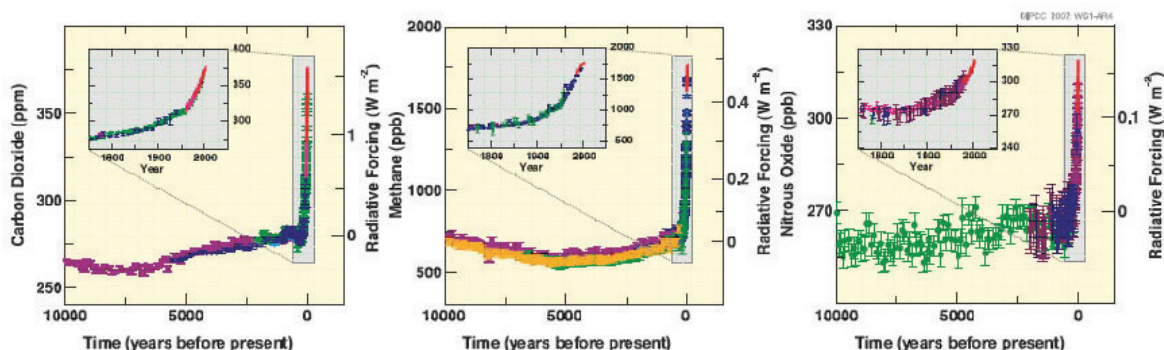
Het klimaat op aarde is dynamisch en is sinds het ontstaan van de aarde continu veranderd. De oorzaken van klimaatverandering kunnen in twee groepen worden ingedeeld:

- Natuurlijke oorzaken (bijvoorbeeld verschillen in zonneactiviteit, ijstijden, vulkaanuitbarstingen). Deze zorgen op korte of langere tijdschalen, en op regionale of mondiale schaal voor tijdelijke veranderingen van temperatuur, neerslag, etc. Ze veroorzaken natuurlijke variatie;

- Menselijk handelen (bijvoorbeeld door veranderingen in landgebruik en door de uitstoot van broeikasgassen). Door veranderingen in landgebruik kan het klimaat, meestal op regionale schaal, veranderen. De grootschalige uitstoot van broeikasgassen zorgt voor mondiale klimaatverandering. Sinds het preïndustriële tijdperk (ong. 1860) is de CO₂ concentratie bijvoorbeeld van 280 ppm (parts per million) toegenomen tot ongeveer 380 ppm nu.

Wat is het broeikaseffect?

Zonnestraling warmt de aarde op en de aarde straalt weer warmte uit. Hoe sterk de zonnestraling de aarde opwarmt, hangt af van de balans tussen inkomende zonnestraling en uitgestraalde warmte. Deze balans wordt beïnvloed door de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Van nature zitten er verschillende broeikasgassen in onze atmosfeer, o.a. CO₂ en waterdamp. Door de natuurlijke hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer is de aarde ongeveer 33 °C warmer dan zonder deze broeikasgassen, gebaseerd op de concentraties rond 1860. Daardoor ligt de gemiddelde temperatuur op aarde rond de 15 °C en niet rond de -18 °C. Door de toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer wordt het natuurlijke broeikas effect versterkt. Sinds het preïndustriële tijdperk (ong. 1860) is de concentratie van CO₂, CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 1.1; IPCC, 2007).



Figuur 1.1 Verandering van de concentraties CO₂ (links), methaan (CH₄, midden), en N₂O (rechts) in de afgelopen 10.000 jaar (IPCC, 2007).

1.3.2 Klimaatscenario's

Wat zijn klimaatscenario's?

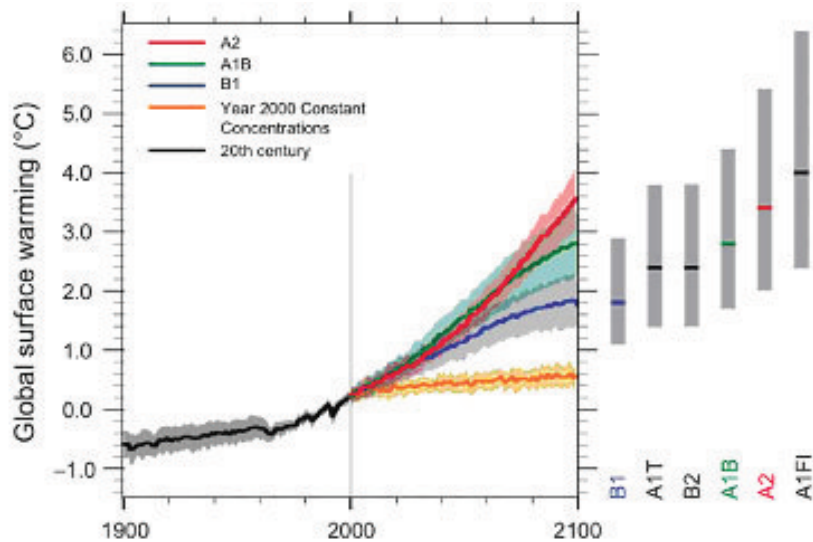
Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. Ze geven aan in welke mate temperatuur, neerslag, wind, etc. kunnen veranderen, bij een bepaalde mondiale klimaatverandering. Klimaatscenario's zijn geen lange-termijn weersverwachtingen: ze doen geen uitspraken over het weer op een bepaalde datum, maar alleen over het gemiddelde weer en de kans op extreem weer in de toekomst.

Mondiale en regionale klimaatscenario's

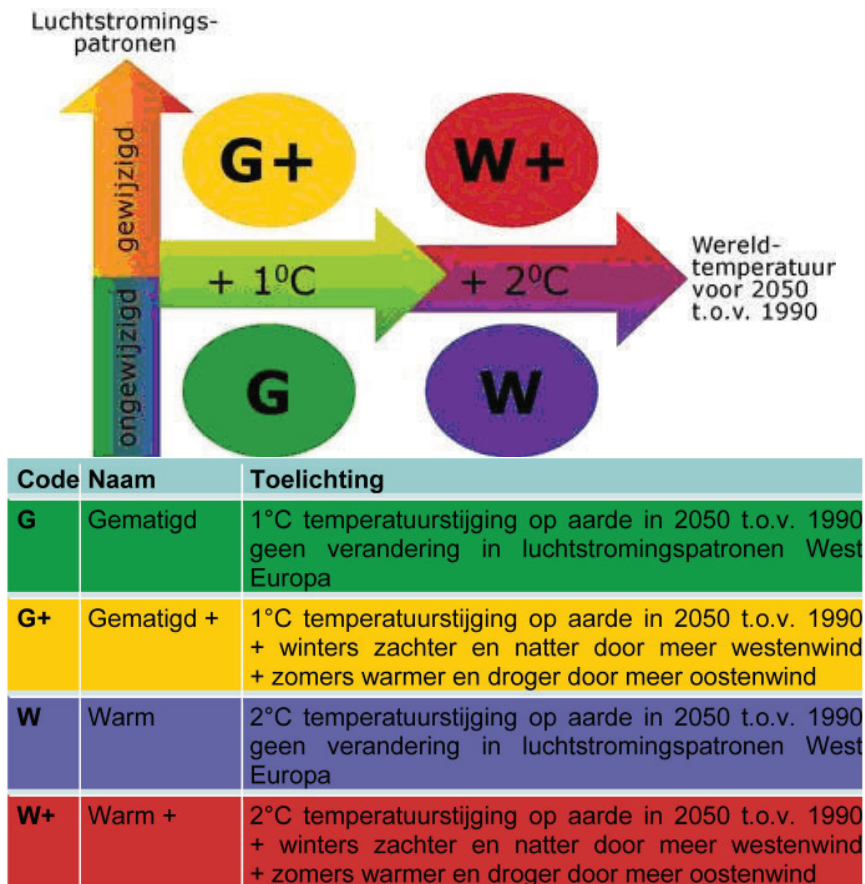
Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)¹ produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatscenario's voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's, dat wil zeggen aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze emissiescenario's zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over hoe de wereldbevolking zich ontwikkelt, maar ook de economie, technologie, etc. (sociaal-economische en technologische scenario's).

De mondiale klimaatscenario's (Figuur 1.2) van het IPCC geven vaak niet voldoende informatie om de effecten van klimaatverandering in een kleiner gebied te bepalen. Het KNMI produceert daarom regionale klimaatscenario's voor Nederland en omgeving. In 2000 is in het kader van 'WaterBeheer 21ste Eeuw' (WB21) een formele set van klimaatscenario's voor Nederland gemaakt (Kors et al, 2000; Können, 2001). Aan deze scenario's wordt vaak gerefereerd als de WB21-klimaatscenario's. In mei 2006 is een nieuwe generatie algemene KNMI-klimaatscenario's gepubliceerd, de KNMI'06 klimaatscenario's.

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



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



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

Vergelijking van de WB21 en KNMI'06 klimaatscenario's

Onderstaande tabel geeft een beknopt overzicht van de verschillen en overeenkomsten tussen de oude WB21 klimaatscenario's uit 2000 en de nieuwe KNMI'06 klimaatscenario's uit 2006. Het oude "midden" scenario wordt veel gebruikt als uitgangspunt voor adaptatie aan klimaatverandering in de watersector. In de tabel is te zien dat dit scenario het meeste lijkt op het nieuwe G-scenario (zie ook bijlage 1 voor meer informatie over de verschillen de tussen WB21 en de hier gebruikte KNMI-scenario's), maar het is niet precies hetzelfde! De extremen in de zomer zijn wat naar boven bijgesteld in de KNMI'06 scenario's t.o.v. de WB21 scenario's. Voor de winterextremen geldt het omgekeerde.

*Tabel 1.1 Beknopte vergelijking van de WB21 en KNMI'06 scenario's voor 2050. * Data voor het "Hoog en droog scenario" zijn de data gebruikt in de "Droogtestudie".*

Variabele	laag WB21	midden WB21	G '06	hoog WB21	W '06	hoog droog WB21*	G+ '06	W+ '06
Neerslag zomer (%)								
Gemiddeld (halfjaar)	+0,5	+1		+2				
Gemiddeld (JJA)			+3		+6	-20	-10	-19
Intensiteit in buien	+5	+10		+20				
dagsom, eens in 10 jaar overschreden (JJA)			+13		+27		+5	+10
Neerslag winter (%)								
Gemiddeld (halfjaar)	+3	+6		+12				
Gemiddeld (DJF)			+4		+7	+13	+7	+14
10-daagse som (halfjaar)	+5	+10		+20				
10-daagse som, eens in 10 jaar overschreden (DJF)			+4		+8		+6	+12

De KNMI'06 klimaatscenario's

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

Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatscenario's zijn:

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

Samen geven deze klimaatscenario's een groot deel van de range voor het mogelijke toekomstige klimaat in Nederland weer, op basis van onze huidige kennis. het zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig kimaat zich zal ontwikkelen: op basis van onze huidige kennis verwachten we dat de kans groter is dat ons toekomstige klimaat zich zal ontwikkelen binnen deze vier hoekpunten, dan daarbuiten.

Uitgangspunt bij het maken van de KNMI'06 scenario's was dat per klimaatvariabele ongeveer de laagste

² Voor een uitgebreidere beschrijving van deze klimaatscenario's wordt verwezen naar de brochure 'Klimaat in de 21e eeuw: vier scenario's voor Nederland' (KNMI, 2006) het bijgehorende wetenschappelijke achtergrondrapport (van den Hurk et al, 2006) en de website www.knmi.nl/klimaatscenarios/.

en de hoogste tien procent van de range in klimaatmodellen buiten de klimaatscenario's werd gelaten. De KNMI'06 scenario's zijn combinaties van meerdere klimaatvariabelen. Daarom kan ook niet worden gezegd dat de KNMI'06 scenario's 80% van de mogelijke toekomst opspannen. Ruwweg valt 60-80 % van de uitkomst van de mondiale modellen, die gebruikt zijn voor het vierde Assessment Report van het IPCC (2007) binnen de pluim van de 4 KNMI'06 scenario's (zie bijvoorbeeld figuur 14 in Lenderink et al. 2007³). Dit percentage hangt echter af van de variabele, en is niet altijd objectief vast te stellen (bijvoorbeeld voor kleinschalig eneerslagextremen die niet door de globale modellen worden gesimuleerd). Daarnaast moet men zich realiseren dat het niet bekend is of de gebruikte simulatie van de huidige klimaatmodellen wel de hele mogelijk range aan klimaatverandering opspannen.

1.3.3 Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?

Doel van dit klimaateffetschetsboek is om een overzicht te geven van de range aan mogelijke klimaatverandering en de effecten daarvan tot 2050 (en evt. 2100). De mogelijke range aan onzekerheden wordt bepaald door onzekerheden over de sociaal-economische ontwikkelingen en over het klimaatsysteem zelf. De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen: het zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100. De KNMI'06 scenario's zijn zo gekozen dat ze ongeveer 80% van de range voor mondiale klimaatverandering omspannen. De KNMI'06 scenario's dienen daarom als basis voor dit klimaateffetschetsboek.

Welke onzekerheden zijn er?

We weten zeker dat er een broeikaseffect is en dat door menselijk toedoen de concentraties van broeikasgassen zijn toegenomen (IPCC, 2007). We weten echter niet hoe sterk ons klimaatsysteem hierop zal reageren. Vandaar dat de uitkomsten van de modelberekeningen van de toekomstige temperatuurstijging op aarde onderling aanzienlijk verschillen. Dit hangt samen met twee typen onzekerheden:

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

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

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

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

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

Temperatuur > Zeespiegel > Neerslag > Wind

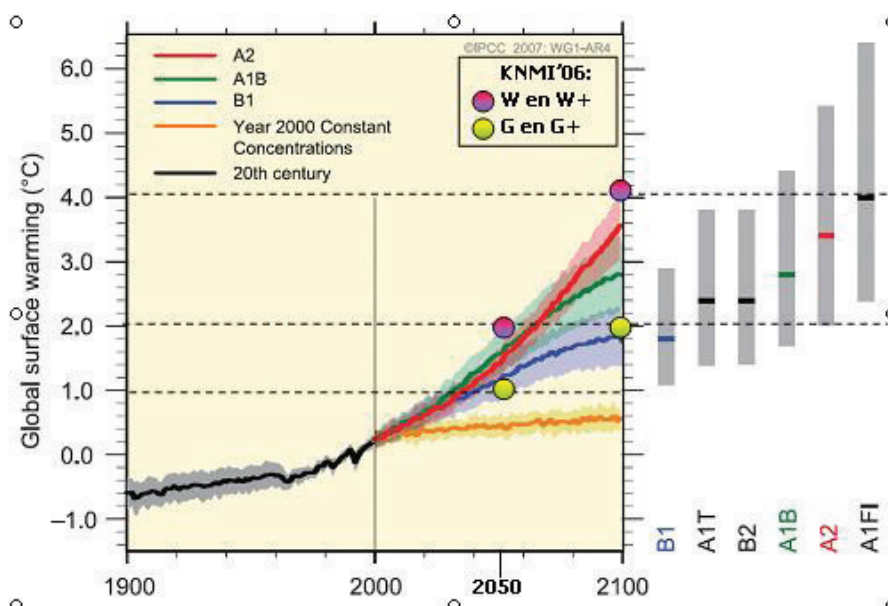
Neerslag winter > Neerslag zomer

Gemiddelden > Eens per 10 jaar extremen

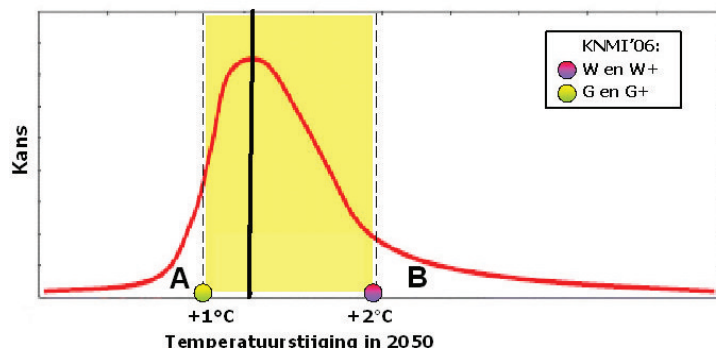
3 Lenderink, G., A. Van Ulden, B. Van den Hurk & F. Keller, 2007. A study on combining global and regional climate model results for generating climate scenarios of temperature and precipitation for the Netherlands. *Clim. Dyn.*, 2007, doi:10.1007/s00382-007-0227-z

Omgaan met onzekerheden

Een manier om met onzekerheden om te gaan, is gebruik maken van scenario's. De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen (zie figuren 1.4 en 1.5). Onzekerheden als gevolg van sociaal-economische en technologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door bij het ontwikkelen van de scenario's verschillende emissiescenario's (A1 (A1T, A1B, A1F) , A2, B1, B2 in figuur 1.4) mee te nemen. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatscenario's voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's (<http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/> : zie figuur a t/m c), dat wil zeggen aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze emissiescenario's zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over hoe de wereldbevolking zich ontwikkelt, maar ook de economie, technologie, etc. De onzekerheden m.b.t. het klimaatsysteem zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van een zo groot mogelijk aantal mondiale en regionale klimaatmodellen (de grijze balken aan de rechterkant in figuur 1.4). De KNMI'06 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk. Met de huidige kennis is echter niet aan te geven welk scenario het meest waarschijnlijk is.



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



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

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

De mondiale temperatuurstijging in de scenario's W en W+ is tweemaal de mondiale temperatuurstijging in de scenario's G en G+. De mondiale temperatuurstijging in 2100 in de scenario's G en G+ is gelijk aan de mondiale temperatuurstijging in 2050 in de scenario's W en W+ (dit geldt ook voor de andere klimaatvariabelen, behalve voor zeespiegelstijging). De scenario's W en W+ zijn de bovengrens binnen de KNMI'06-scenario's, echter niet van wat mogelijk wordt geacht.

De W en W+ scenario's geven dus de bovengrens van de klimaatverandering in de KNMI'06 scenario's. De temperatuurstijging in het W en W+ scenario voor 2050 is de temperatuurstijging in het G en G+ scenario in 2100. Dit betekent dat beleid dat gericht is op het W en W+ scenario zich in snelheid zal onderscheiden van beleid gericht op het G en G+ scenario. Met andere woorden, als het adaptatiebeleid is gebaseerd op de W en W+ scenario, en de klimaatverandering gaat minder snel dan geeft dit meer tijd voor het uitvoeren van het beleid. De noodzaak van aanpassing wordt echter niet minder belangrijk.

1.4 Fysische-geografische kenmerken Noord-Holland

De provincie Noord-Holland kent veel verschillende typen landschap. Van de ongerepte Waddenzee en de duinen tot de cultuurhistorisch waardevolle droogmakerijen en heidevelden in het Gooi. Vier van de twintig nationale landschappen zijn te vinden in Noord-Holland: Laag Holland, de Stelling van Amsterdam, de Hollandse Waterlinie en het Groene Hart. De provincie telt ruim 2,5 miljoen inwoners, verdeeld over 61 gemeenten. De grootste verstedelijking is te vinden in de regio om Amsterdam. De provincie wordt grotendeels omsloten door water van de Noordzee, de Waddenzee, en het IJsselmeer en Markermeer wat zorgt voor een totale lengte van de kustlijn 260 km. En dat terwijl een grootste deel van Noord-Holland meer dan 3 meter onder zeeniveau ligt. Kaart hoogteligging

Voor de verschillende landschapseenheden (te zien in figuur 1.6) zijn de belangrijkste kenmerken en gebruiksmogelijkheden aangegeven.

Duinen en strandwallen (hoogte tussen ca +0.5m - 5m)

Kustlijn en duinen met de binnenduintrand en aangrenzende strandwallen en strandvlakten. De hogere en bosrijke kustzone vormt een markante scheiding tussen de Noordzee en het polderland. De noord-zuidgerichtheid is een belangrijk kenmerk.

Gebruiksmogelijkheden: Zeekering, natuurgebied, recreatie/toerisme, bollenteelt, drinkwater voorziening.

Pleistocene gebieden (hoogte ca +5m)

Keileemgebieden

Opduikingen van de gestuwde pleistocene ondergrond. Langs de zeedijk kan brakke kwel optreden. Ondiep liggen slecht doorlatende keileemlagen, waarop regenwater kan stagneren. Vanaf de hogere gronden zijn opgeslibde platen ingedijkt (aandijkingen).

Gebruiksmogelijkheden: Landbouw, multifunctioneel.

Stuwwallen

De Gooise pleistocene stuwwal vormt de oostelijke hoge rand van de provincie. Landschapstype bestaat uit de hogere zandgronden met uitgestrekte bossen en heidevelden en gedifferentieerde overgangszones naar de aangrenzende veengebieden en het Gooimeer. Vormt een landschappelijke eenheid met de Utrechtse Heuvelrug.

Gebruiksmogelijkheden: Natuur, hoogwaardig woonmilieu, recreatie.

Zeekleigebied (hoogte tussen ca -3m tot 0m)

Aandijkingen

Aandijkingen zijn aangeslibde zand- en slibplaten langs de oorspronkelijke kustlijn, die vanaf de hogere gronden zijn ingedijkt en zo toegevoegd aan het land. De bodem van de aandijkingen varieert van zand tot klei. Gebruiksmogelijkheden: Landbouw, multifunctioneel.

Kleipolderlandschap

De oude zeekeleigebieden zijn al vroeg ontgonnen. De Westfriese Omringdijk vormt een duidelijke begrenzing. Het open polderlandschap bestaat uit relatief hoog gelegen stroomruggonden en lage gelegen kommen. Binnen het gebied ligt ook een grotere droogmakerij (polder Heerhugowaard) en een uitloper van het Waterlandse veengebied.

Gebruiksmogelijkheden: Landbouw, goede verkaveling, multifunctioneel.

Droogmakerijen (hoogte tussen ca -4m en -3m)***Oer-IJ en jonge droogmakerijen***

De bodem bestaat uit zavel, klei en veenrestanten. Door de lage ligging is er sprake van (plaatselijk brakke) kwel en zijn de droogmakerijen afhankelijk van bemaling. De droogmakerijen liggen binnen de stedelijke invloedssfeer van Amsterdam.

Gebruiksmogelijkheden: Deels verstedelijkt, hoge stedelijke druk.

Oude droogmakerijen

Als voormalige meren liggen de oude droogmakerijen ingebed in het veenlandschap. De bodem bestaat uit veen- en kleirestanten. Door de lage ligging is sprake van (plaatselijk) brakke kwel en zijn droogmakerijen afhankelijk van bemaling. Droogmakerijen hebben een open en grootschalig karakter.

Gebruiksmogelijkheden: Landbouw, multifunctioneel.

Laagveengebied (hoogte tussen ca -2m en -1m)

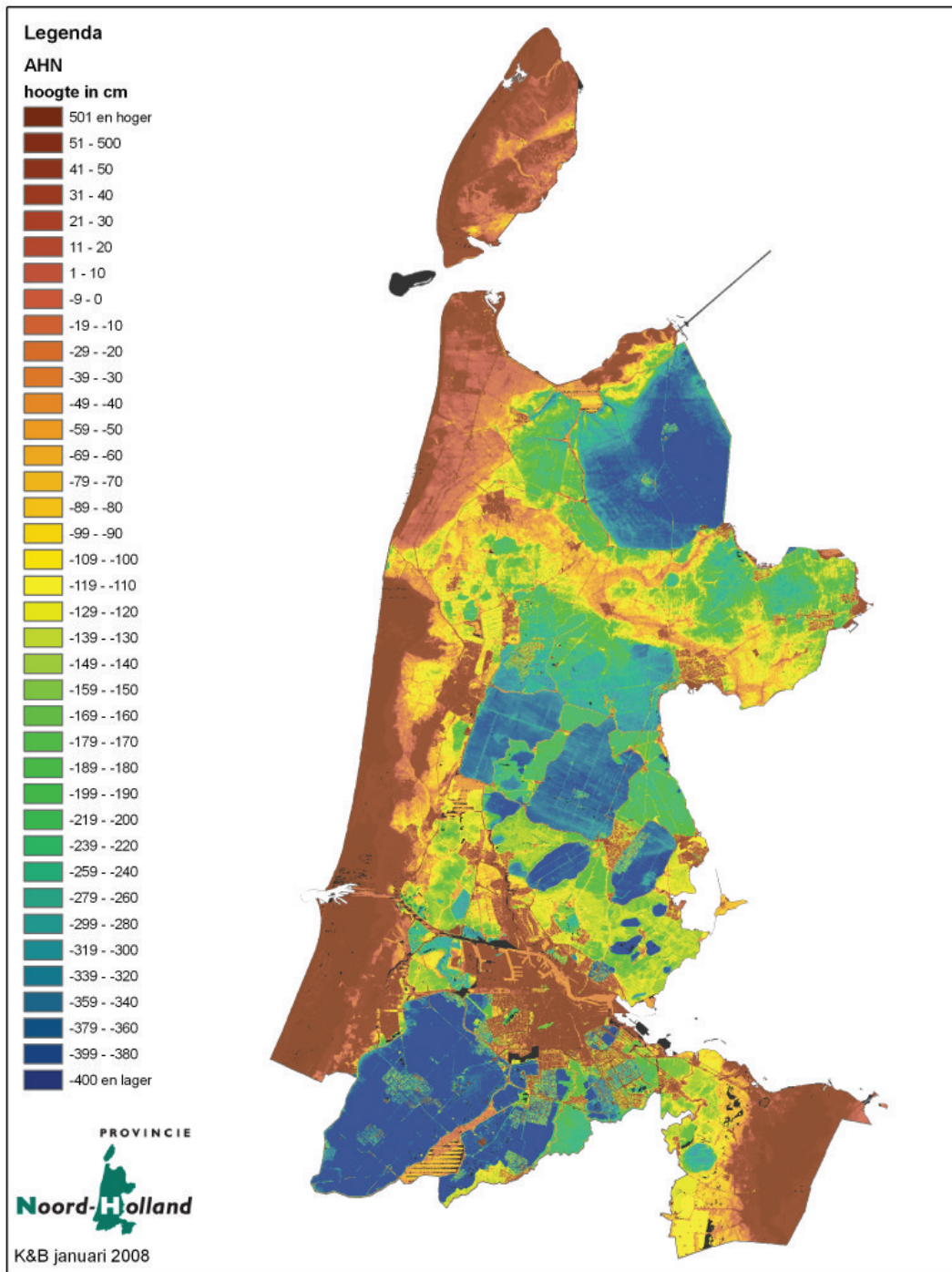
In deze gebieden is de bodem een zeer bepalende factor. Er is verschil tussen gebieden met een dik veenpakket zonder kleidek (vaarpolders) en gebieden met een dunner veenpakket en/of een kleidek (rijpolders). Door de ontwatering gaat de maaiveldval in de gebieden met een dik veenpakket nog steeds door. Dichter langs de kust is de bodem steviger door de afzetting van klei.

Gebruiksmogelijkheden: Hoge natuurwaarde, veenweidelandbouw, recreatie.

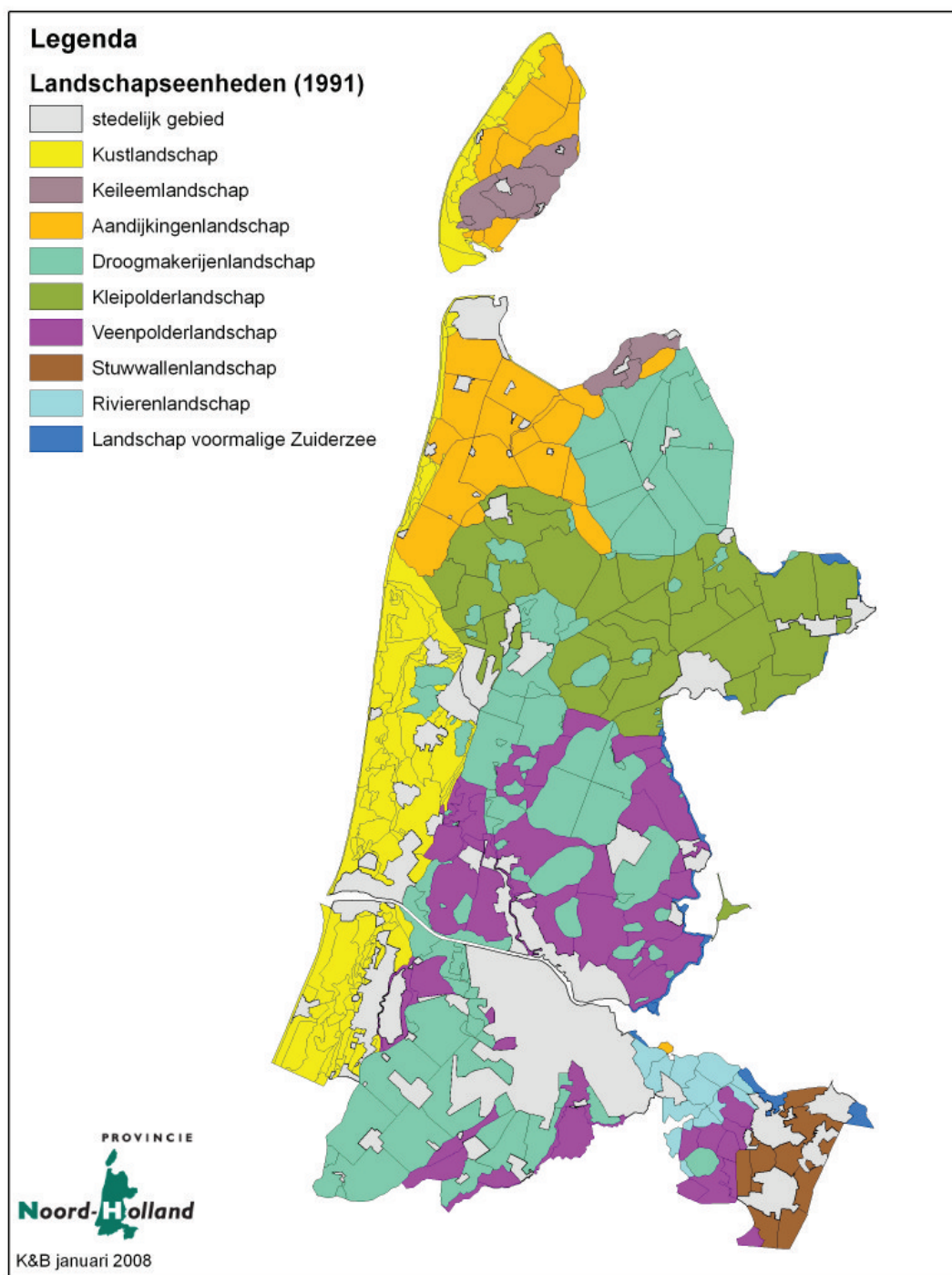
Rivierengebied

Vechtlandschap: Langs de Vecht zijn oeverwallen afgezet. Aangrenzend liggen kommen met klei- en veengronden. Door de bebouwing en beplanting op de oeverwallen is de Vecht een belangrijke landschappelijke structuurlijn.

Gebruiksmogelijkheden: Redelijke draagkracht van de oeverwallen voor nieuwe functies, vanwege de stevige bodem en het besloten karakter.


















Figuur 1.6 Hoogtekaart van Noord-Holland



Figuur 1.7 Landschapseenheden in Noord-Holland

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

Klimaatvariabele		Trend tot 2050/2100	Kaarten/ Grafieken	Toelichting
Temperatuur: par. 2.3				
Gemiddelde temperatuur Gem. max. temperatuur Gem. min. temperatuur	jaar			geringste toename in G, grootste toename in W+
	winter			
	lente			
	zomer			
	herfst			
aantal ijsdagen		figuur 2.1	geringste afname in G, grootste afname in W+	
aantal vorstdagen		figuur 2.2		
aantal warme dagen		figuur 2.3	geringste toename in G, grootste toename in W+	
aantal zomerse dagen		figuur 2.4		
aantal tropische dagen		figuur 2.5..		
Neerslag: par. 2.4				
Gemiddelde neerslag	jaar	 	figuur 2.6	grootste toename in W, grootste afname in W+
	winter- halfjaar		figuur 2.7	geringste toename in G, grootste toename in W+
	zomer- halfjaar	 	figuur 2.8	grootste toename in W, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 1 mm			figuur 2.9	geringste afname in G, grootste afname in W+
Aantal dagen met min. 15 mm			figuur 2.10	geringe toename in G+ en W+, grootste toename in W
Neerslagtekort: par. 2.5				
Neerslagtekort	zomer- halfjaar		figuur 2.12	Nauwelijks verandering in gemiddelde en extremen in G en W Duidelijke toename in G+ en W+
Zonneschijn/Straling: par. 2.6				
Gemiddelde straling				Nauwelijks verandering in G en W Toename in zomer in G+ en W+
Wind: par. 2.7				
maximale daggemiddelde wind die eens per jaar voorkomt		 		In alle scenario's geringe verandering ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie
Zeespiegel: par. 2.8				
Zeespiegelstijging				geringste toename in G/G+, grootste toename in W/W+

2 PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN

Tabel 2.1 geeft een schematisch overzicht van de trends in alle klimaatvariabelen die in dit hoofdstuk worden behandeld: temperatuur, neerslag, neerslagtekort, zonneschijn, wind en zeespiegelstijging. Dit zijn de primaire klimaateffecten (extra achtergrond informatie over huidig klimaat en klimaatscenario's staat in de bijlage).

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

2.1 Welke informatie geven de kaarten?

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

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

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

Meer in detail is het belangrijk dat er bij het interpreteren en gebruik van de klimaatkaarten in het rapport rekening gehouden wordt met de volgende aspecten (zie bijlage 2):

- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations vanwege de beperkte tijd zonder additionele klimatologische kennis. In de klimaatatlas: normaalperiode 1971-2000 (KNMI, 2002) is wel extra klimatologische kennis gebruikt om kaarten te maken;
- Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's;
- Voor temperatuur kunnen alleen grootschalige patronen (zoals land-zee overgangen) worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KNMI-stations (er zijn twee stations waar de temperatuur wordt gemeten in Noord-Holland). Op kleinere schaal speelt ook de aanwezigheid van meren, steden en infrastructuur;
- Kleinschalige ruimtelijke verschillen in neerslag kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden;
- Contourlijnen moeten niet als exacte, stringente scheidingen tussen klassen worden geïnterpreteerd;
- De KNMI'06 scenario's onderscheiden geen regionale verschillen in klimaatverandering. De ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst zijn daarom in principe hetzelfde. Er wordt niet verwacht dat de verandering van de luchtstromingspatronen in de G+ en W+ scenario's zal leiden tot duidelijke andere ruimtelijke patronen (voor toelichting op de scenario's zie bijlage 1 en bijlage 6);
- De ruimtelijke verschillen geven niet aan waar de gevolgen van klimaatverandering het grootst zijn.

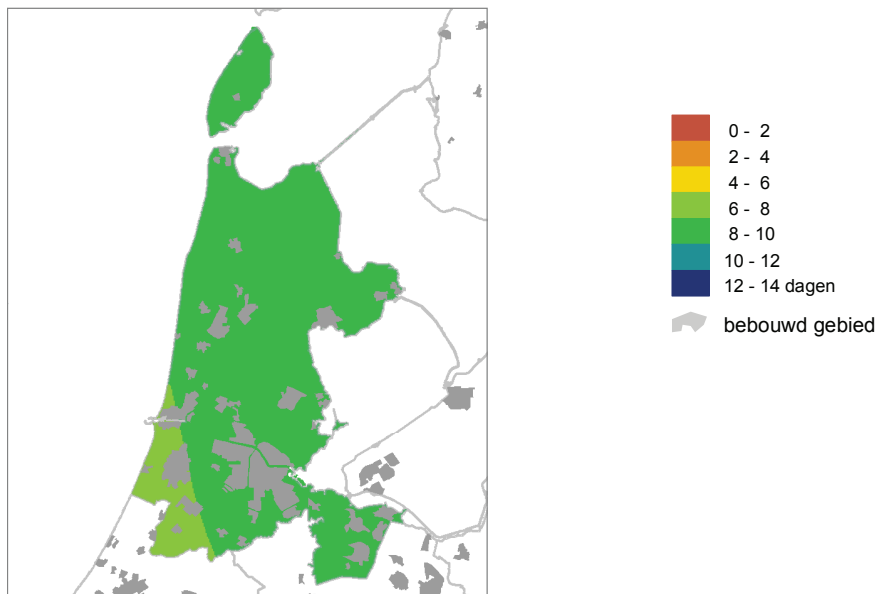
Het bovenstaande betekent dat:

- De kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- De kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen wat de effecten van klimaatverandering zijn en waar de grootste effecten optreden (bijv. een "overlay" van een wegenkaart met een kaart met het aantal dagen met hevige neerslag, geeft niet aan waar de meeste problemen met wateroverlast op de weg voorkomen). Er is meestal een extra vertaalslag nodig, deze vertaalslag wordt gemaakt in hoofdstuk 3.

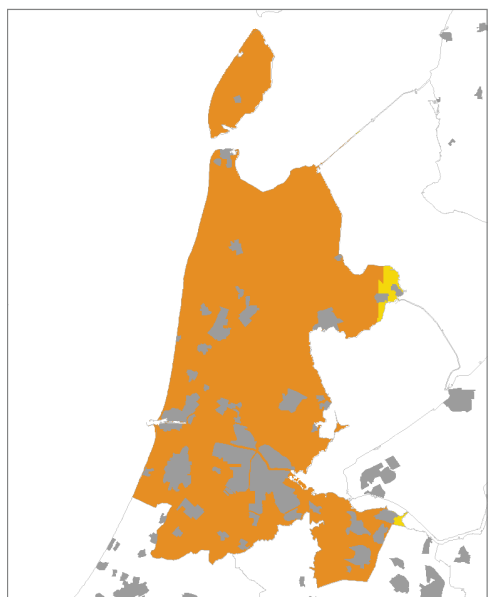
De ondergrond van de kaarten geeft een globale indicatie van de ligging van het bebouwd gebied in 2006. Dit ter oriëntatie. Alleen de grote bebouwde gebieden zijn meegenomen.

Aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C)

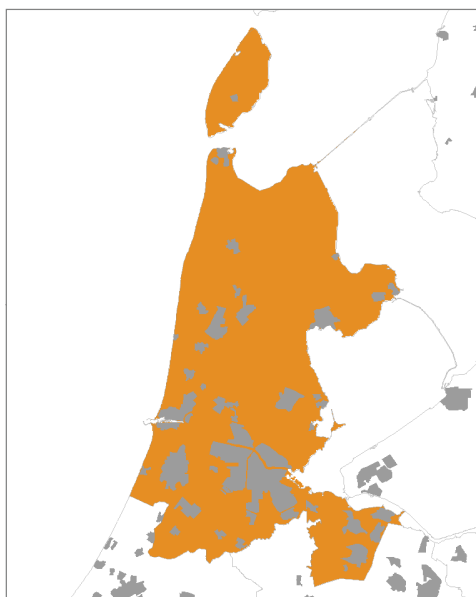
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.1 Kaarten met het gemiddeld aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

2.2 Temperatuur

Klimaatverandering heeft voor temperatuur de volgende gevolgen:

- De opwarming zet door in alle vier de KNMI'06 scenario's;
- De temperatuurstijging in 2100 is in de KNMI'06 scenario's tweemaal zo groot als in 2050;
- Temperatuurextremen kunnen sneller stijgen dan de gemiddelde temperatuur, dit gebeurt vooral in de scenario's G+ en W+;
- Toename van het aantal warme, zomerse en tropische dagen;
- Afname van het aantal ijsdagen en vorstdagen.

2.2.1 Gemiddelde temperaturen

Toekomstige trends

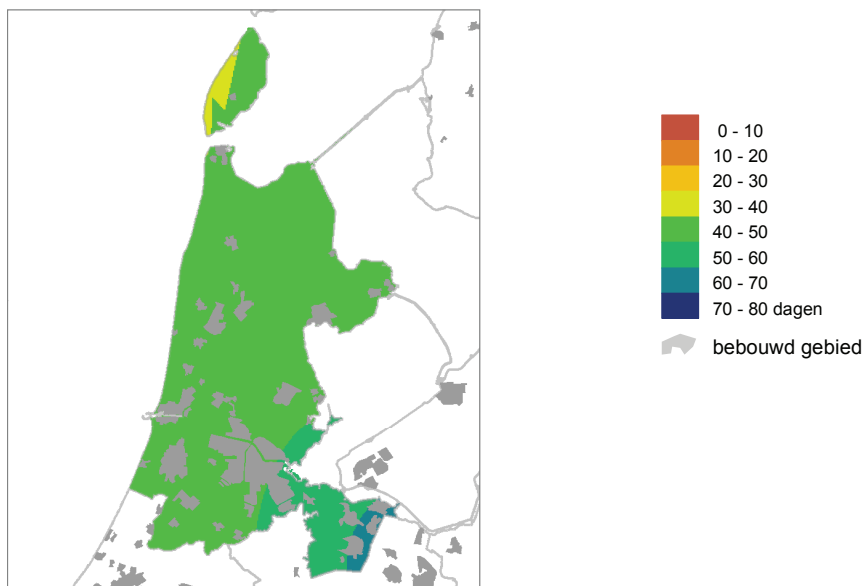
De vier KNMI'06 scenario's laten een opwarming rond 2050 zien variërend van 0,9 °C tot 2,3 °C in de winter (december, januari en februari) en van 0,9 °C tot 2,8 °C in de zomer (juni, juli en augustus) ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde over de periode 1976-2005). Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur is in alle scenario's voorsnog gelijk gehouden aan de huidige situatie (zie Bijlage 4). Voor het klimaat rond 2100 zijn de temperatuurstijgingen tweemaal zo groot als voor 2050 en voor 2020 zijn de veranderingen tweemaal zo klein als voor 2050. Door natuurlijke schommelingen zal de temperatuurstijging niet in elk decennium even sterk zijn en is het goed mogelijk dat er in de toekomst tijdelijk een periode van relatief koel weer is (KNMI, 2006). In de winter treden in de '+' scenario's (G+ en W+) frequenter westenwinden op en in de zomer treden in deze scenario's frequenter oostenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuurtoename zorgt dit voor een relatief sterkere toename van de gemiddelde en extreme maximum- en minimumtemperaturen in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

Ruimtelijke patronen

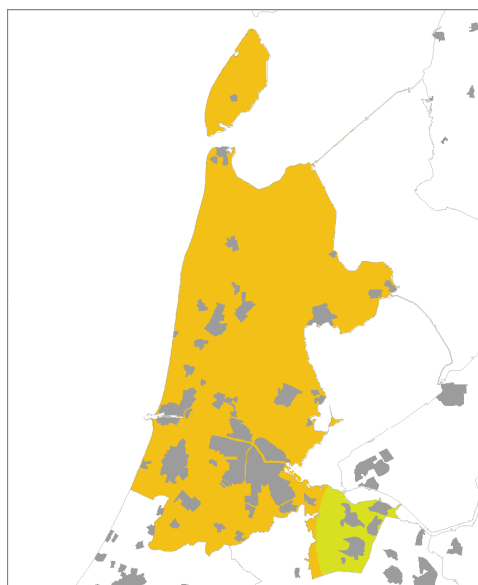
In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur in de zomer aan de kust lager dan meer landinwaarts. In de winter is het omgekeerde het geval. Dit effect is veel duidelijker aan de Noordzeekust dan aan de IJsselmeerkust. In steden is het gemiddeld wat warmer dan op het omringende platteland, dit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

Aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C)

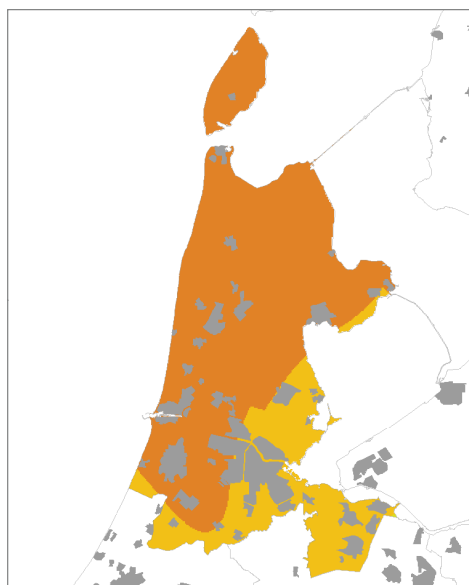
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.2 Kaarten met het gemiddeld aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

2.2.2 *Temperatuur extremen*

Toekomstige trends

De vier KNMI'06 scenario's laten een sterkere stijging van de temperatuurextremen zien dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0°C tot 2,9°C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0°C tot 3,8°C ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Vooral in de scenario's G+ en W+ stijgen de extremere temperaturen sterker. In de winter treden in de '+' scenario's (G+ en W+) frequenter westenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuuroename zorgt dit voor een relatief sterkere afname van het aantal vorstdagen (minimumtemperatuur <0 °C; figuur 2.2) en ijsdagen (maximumtemperatuur <0 °C; figuur 2.1) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W). In de zomer treden in de '+' scenario's (G+ en W+) juist frequenter oostenwinden op. In combinatie met de mondiale temperatuuroename zorgt dit voor een relatief sterkere toename van het aantal tropische dagen (maximumtemperatuur >= 30 °C; figuur 2.5), zomerse dagen (maximumtemperatuur >= 25 °C; figuur 2.4) en warme dagen (maximumtemperatuur >= 20 °C; figuur 2.3) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

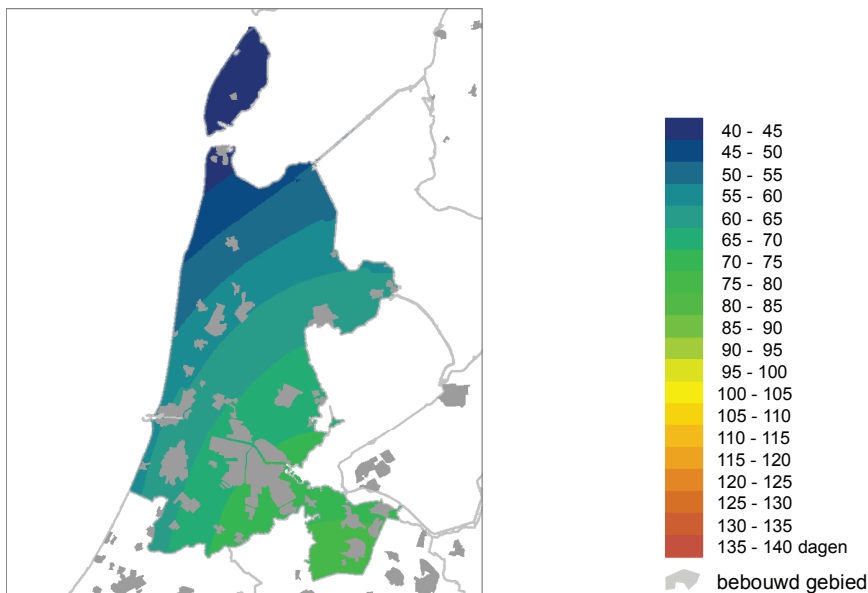
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

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

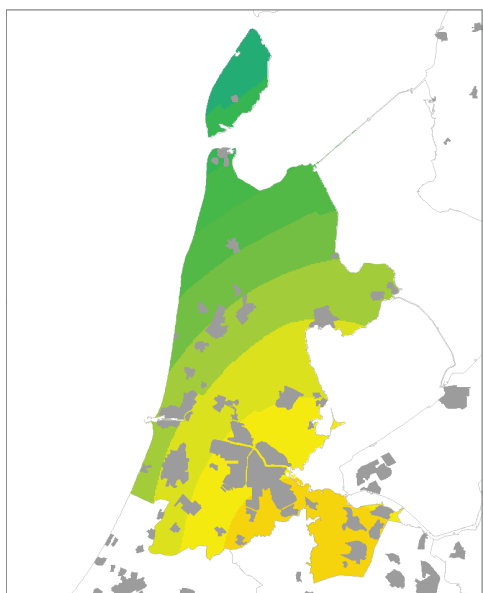
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Aantal warme dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$)

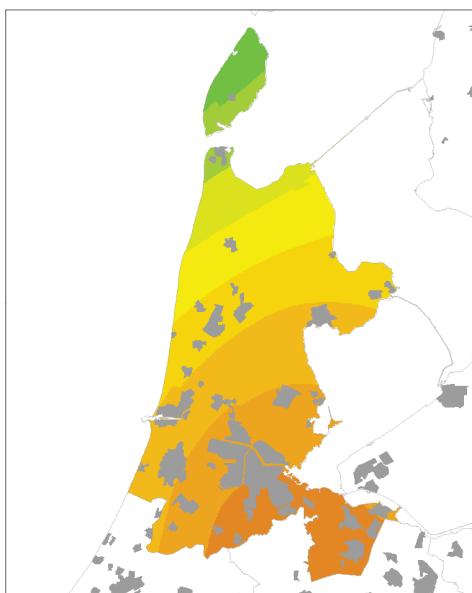
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.3 Kaarten met het gemiddeld aantal warme dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is het aantal ijsdagen (figuur 2.1) en vorstdagen (figuur 2.2) aan de kust minder dan meer in het binnenland. Hetzelfde geldt voor het aantal warme dagen (figuur 2.3), zomerse dagen (figuur 2.4) en tropische dagen (figuur 2.5). Als gevolg van de overheersende zuid-westenwind in Nederland (ook in de toekomst) is de temperatuur langs de kust in de winter wat hoger dan meer landinwaarts, en in de zomer wat lager dan landinwaarts. Dit effect is veel sterker aan de Noordzeekust dan aan de IJsselmeerkust. Het aantal warme, zomerse en tropische dagen aan de Noordzeekust van Noord-Holland is lager dan verder landinwaarts, en het aantal vorstdagen is daardoor eveneens aan de Noordzeekust van Noord-Holland lager dan verder landinwaarts. Ijsdagen, waarbij het de hele dag vriest, treden vooral op bij noorden- tot oostenwinden, waardoor het land-zee-effect minder duidelijk is. Deze ruimtelijke patronen zullen in de toekomst blijven bestaan.

Winterkou

De KNMI'06 scenario's geven aan dat zowel de gemiddelde wintertemperatuur als de extreme lage wintertemperaturen gaan stijgen. De G+ en W+ scenario's geven zelfs een sterkere stijging van de extreem lage wintertemperaturen. Dit vinden we terug in een afname van het aantal ijsdagen (aantal dagen waarop het de hele dag vriest). In de huidige situatie heeft station De Bilt per jaar gemiddeld 9 ijsdagen. Voor 2050 varieert dit aantal van 6 (G) tot 2 dagen (W+).

De kans op een winterse periode die koud genoeg is dat er geschaatst kan worden gaat eveneens afnemen. Een gangbare vuistregel is dat er geschaatst kan worden als het ijs minimaal 7 cm dik is. Een indicatie hiervoor kan gegeven worden met behulp van de volgende definitie voor schaatsdag:

Zolang de daggemiddelde temperaturen lager dan 0°C zijn, en de som van de negatieve daggemiddelde temperaturen groter dan 16 is, kan er geschaatst worden. De dag waarop 16 overschreden wordt, telt als (eerste) schaatsdag. Zodra de daggemiddelde temperatuur boven nul komt, wordt de som van de daggemiddelde temperaturen op nul gezet.

Waren er in de 20^e eeuw nog 15 elfstedentochten, een eenvoudige schatting voor de 21^e eeuw levert 4 (W+) tot 10 (G) elfstedentochten op [Bron: http://www.knmi.nl/kenniscentrum/hoeveel_elfstedentochten.html].

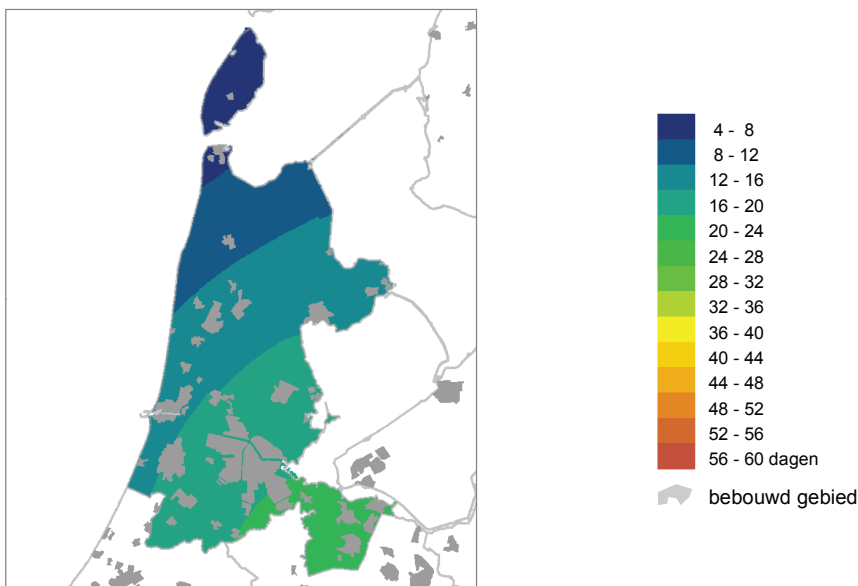
Extreme hitte

De klimaatscenario's geven aan dat zowel de gemiddelde zomertemperatuur als de warmste zomerdag per jaar warmer worden. Voor de G en W scenario's zijn deze veranderingen ongeveer even groot als de wereldwijde temperatuurstijging. Maar met name in de G+ en W+ scenario's zal de warmste zomerdag een stuk meer opwarmen dan het wereldwijde gemiddelde.

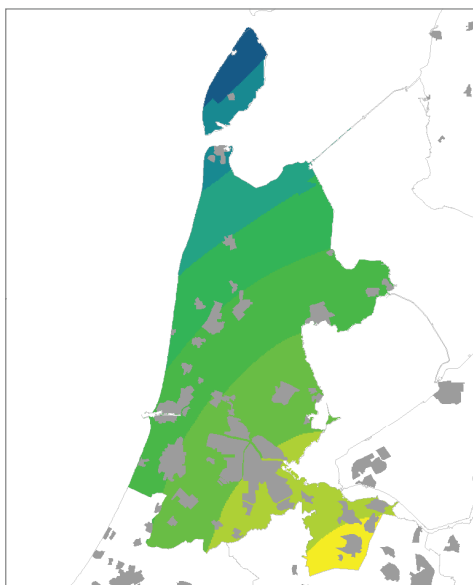
Ondanks dat augustus 2006 te koel was, is de gemiddelde zomertemperatuur (juni-augustus) in 2006 uitgekomen op 18,5 °C. Dit is 2,9 °C warmer dan normaal over de periode 1971-2000. Onder de KNMI'06 scenario's stijgt de gemiddelde zomertemperatuur met 0,9 (G) tot 2,8 °C (W+) rond 2050. Een gemiddelde zomertemperatuur zoals in 2006 zal dus onder het W+ scenario rond 2050 een vrijwel gemiddelde zomertemperatuur worden.

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

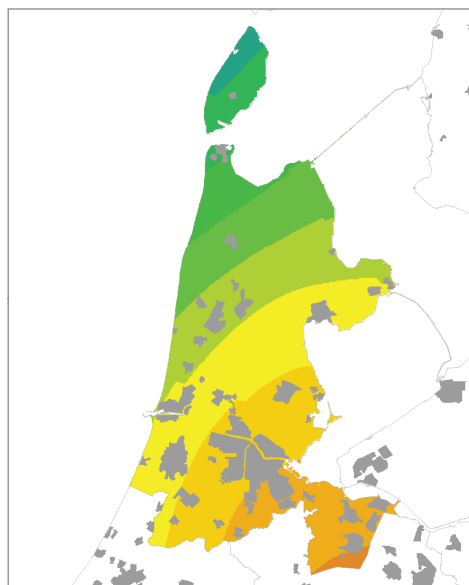
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.4 Kaarten met het gemiddeld aantal zomerse dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de zomer van 2003 normaal rond 2050?

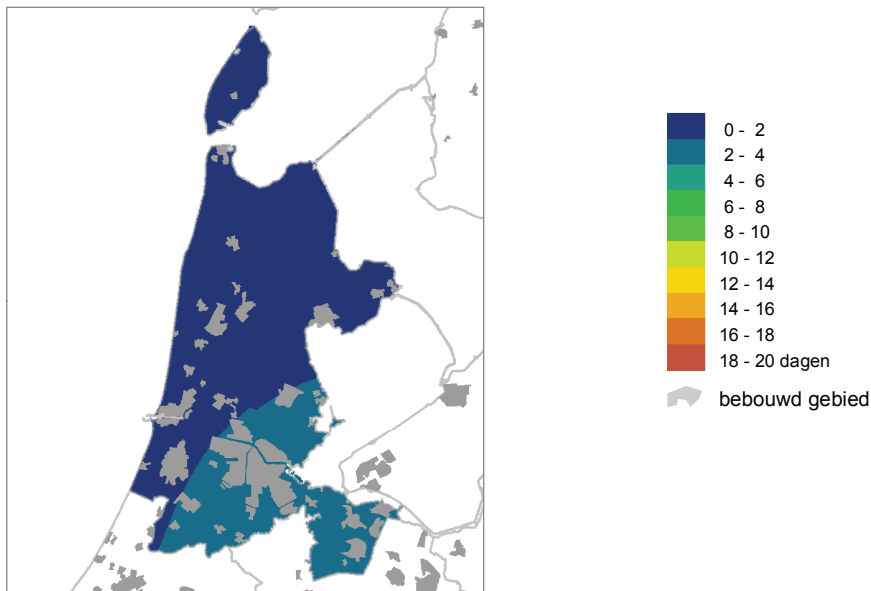
Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Gemiddeld is de temperatuur in de zomermaanden juni t/m augustus rond Amsterdam 16,6 °C (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 15,0 en 18,4 °C). In 2003 was de gemiddelde temperatuur rond Amsterdam 18,5 °C, bijna 2 °C hoger dan normaal. Rond 2050 verwachten we dat in de W en W+ scenario's de zomertemperatuur 1,7 tot 2,8 °C hoger ligt. Met andere woorden de zomer van 2003 zou rond 2050 vrij normaal kunnen zijn. De zomer van 2006 was gemiddeld ongeveer even warm met een temperatuur van 18,5 °C rond Amsterdam. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.



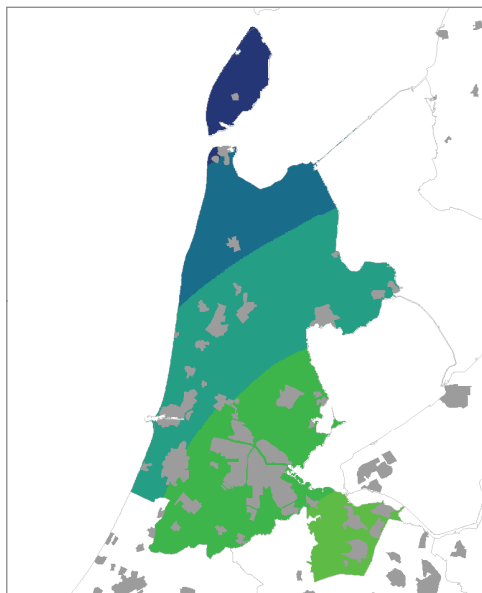
Veel dagen met strandweer bij Scheveningen in de zomer van 2003 en in de maanden juni en juli in 2006

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

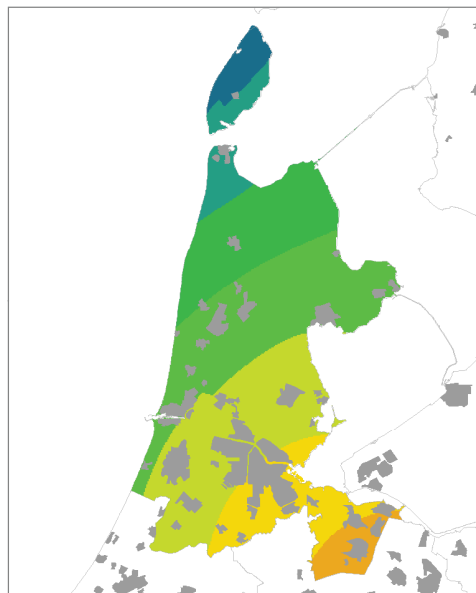
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.5 Kaarten met het gemiddeld aantal tropische dagen per jaar (maximumtemperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/ kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.

Wordt de herfst/winter van 2006/2007 normaal rond 2050?

De herfst van 2006 en de winter van 2006/2007 waren erg warm. Waarschijnlijk herinnert u zich nog wel dat de bomen lang groen bleven en dat u nog tot laat in het najaar zonder jas op een terras kon zitten.

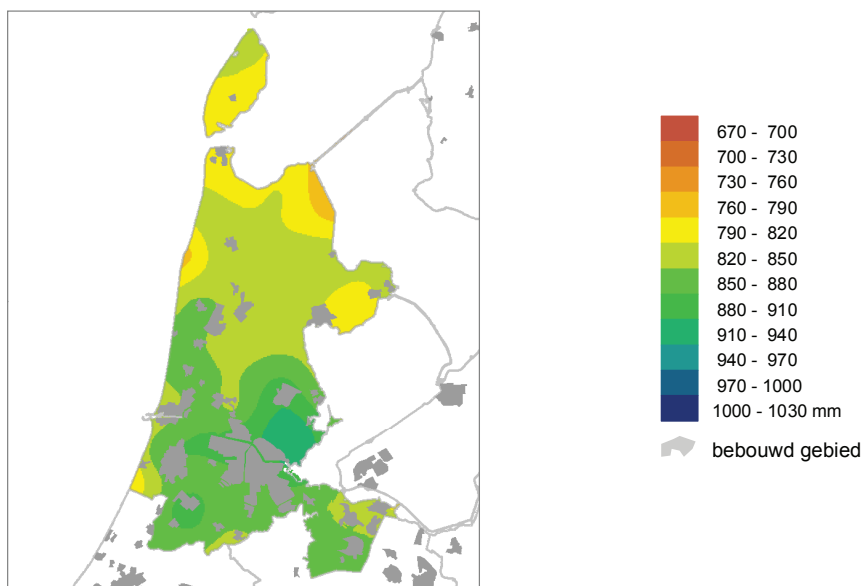
Rond Amsterdam was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 13,8 °C, tegen 10,8 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 8,5 en 12,4 °C), en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 6,8 °C, tegen 3,5 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de -0,5 en 6,1 °C). Dit verschil is meer dan we in het hoogste KNMI'06 scenario (W+) voor 2050 verwachten. Rond 2050 zou de herfst/winter van 2006/2007 nog steeds aan de warme kant zijn.



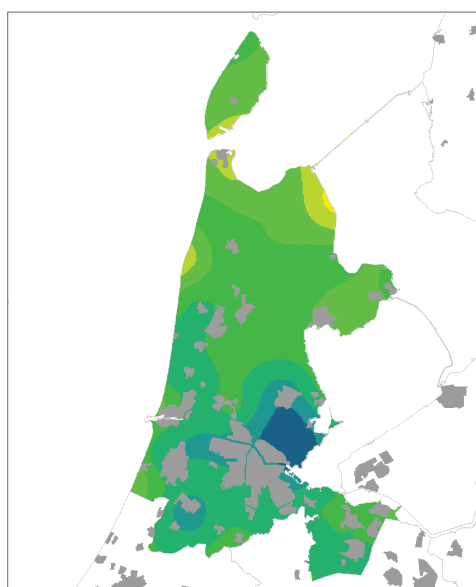
Hoe groen is de herfst? Verschil 1 november 2004/ 1 november 2006 (foto: Jacob Kuiper, WPI, KNMI)

Gemiddelde Neerslag (jaar)

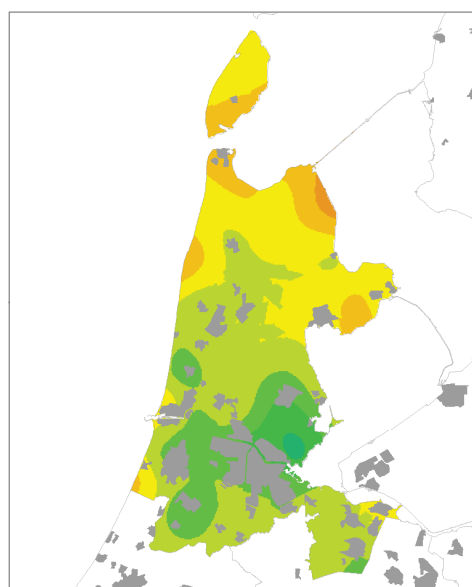
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.6 Kaarten met de gemiddelde neerslag per jaar (in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

2.3 Neerslag

Klimaatverandering heeft voor neerslag de volgende gevolgen:

- Toename van de gemiddelde neerslag in de winter;
- Gemiddelde neerslag in de zomer kan licht toenemen maar ook sterk afnemen;
- Veranderingen in 2100 2x zo groot als in 2050;
- In alle KNMI'06 scenario's neemt de extreme neerslag toe;
- Afname van het aantal dagen met minimaal 1 mm (voldoende neerslag om nat van te worden)
- Toename van het aantal dagen met minimaal 15 mm neerslag (hevige neerslag).

2.3.1 Gemiddelde neerslag

Toekomstige trends

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

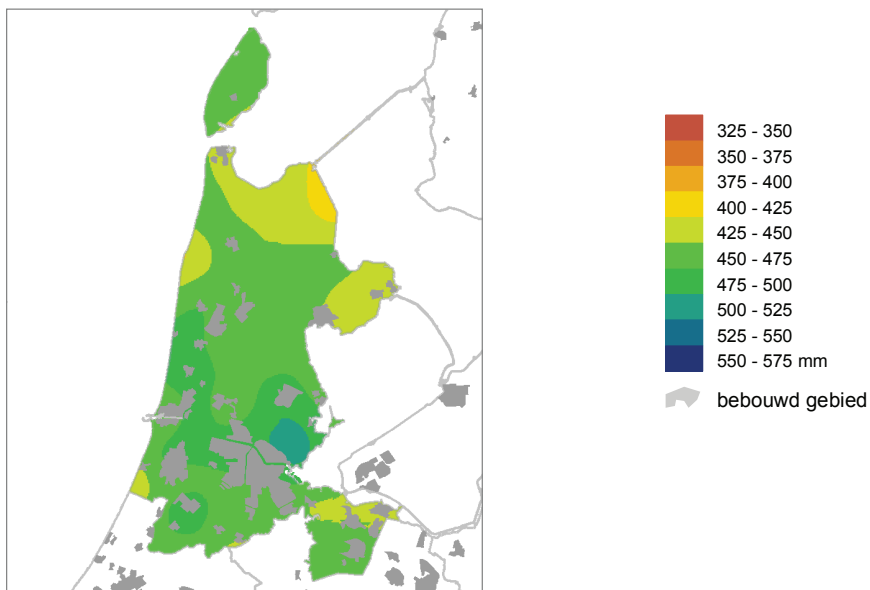
Dit komt tot uiting in de KNMI'06 scenario's. In de G en W scenario's (waarbij ervan uit wordt gegaan dat de stromingspatronen niet veranderen) neemt de neerslag in Nederland zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging. In de G+ en W+ scenario's (met verandering in stromingspatronen) neemt de neerslag extra toe in de winter (circa +7% per graad) en juist af in de zomer (circa -10% per graad). Figuren 2.7 en 2.8 geven kaarten voor de gemiddelde neerslag in het zomer- en winterhalfjaar in het huidige klimaat (1976-2005), en rond 2050 voor het W en W+ scenario. In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag in het winterhalfjaar toe, het sterkst in het W+ scenario (figuur 2.7). Dit geldt nog sterker voor de wintermaanden december, januari en februari. In het zomerhalfjaar neemt de gemiddelde neerslag in de G en W scenario's toe, en in de G+ en W+ scenario's af (figuur 2.8). Dit geldt nog sterker voor de zomermaanden juni, juli en augustus. De afname in de zomer onder G+ en W+ komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. De herfstmaanden september, oktober en november en de lentemaanden maart, april en mei laten een minder duidelijke verandering zien (ligt tussen de veranderingen in de winter en de zomer). In alle scenario's neemt het gemiddeld aantal dagen per jaar met minimaal 1 mm neerslag iets af (figuur 2.9). In de '+'-scenario's (G+ en W+) is de afname het grootst, en wordt deze vooral veroorzaakt door het geringere aantal regendagen in de zomermaanden.

Ruimtelijke patronen

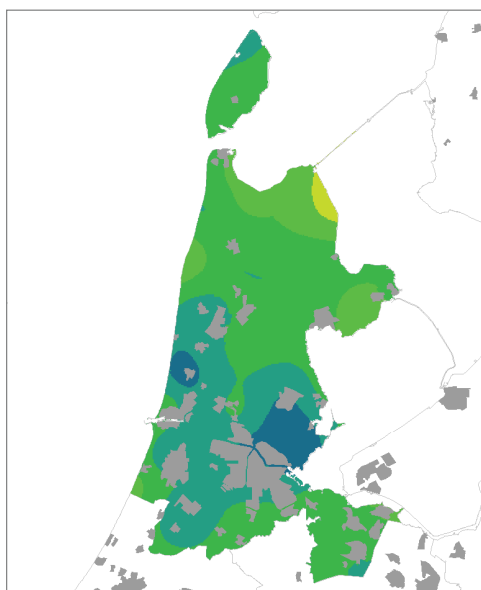
In Figuur 2.6 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen de provincie Noord-Holland. Ten noordoosten van Amsterdam treedt bijvoorbeeld een lokaal maximum op. Dit maximum wordt onder andere veroorzaakt door het stadseffect (bijlage 3) in combinatie met de overheersende zuid-westlijke wind. Vergelijkbare patronen zijn terug te vinden in de gemiddelde neerslag in het winter- en zomerhalfjaar (figuren 2.7 en 2.8; zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002)). Het aantal dagen met ≥ 1 mm (voldoende regen om nat te worden) verschilt ook enigszins binnen Noord-Holland. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag, maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag lijken wel iets meer dagen met ≥ 1 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

Gemiddelde Neerslag per winterhalfjaar

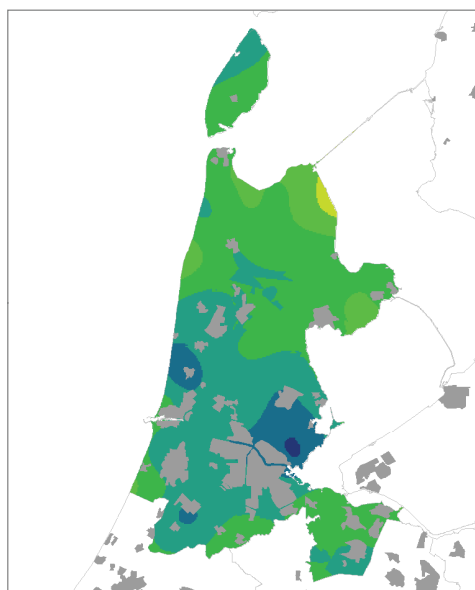
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

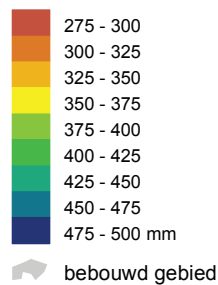
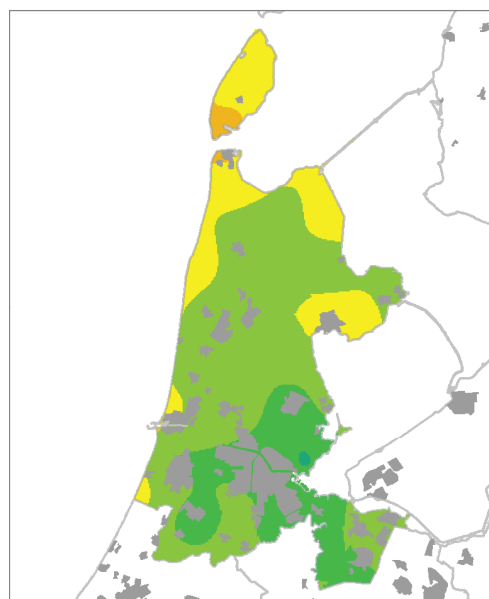


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

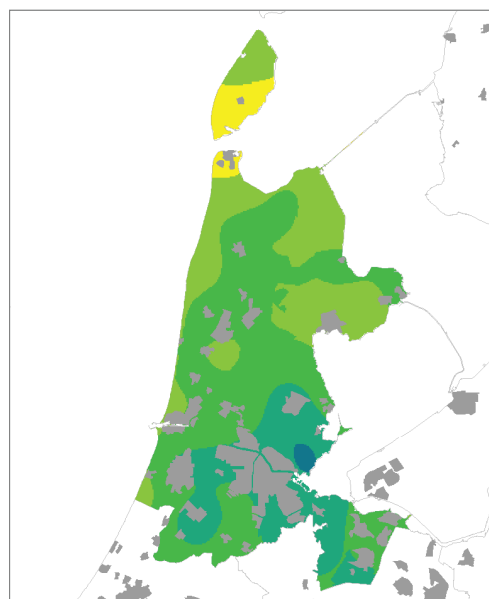
Figuur 2.7. Kaarten met de gemiddelde winterneerslag per jaar (oktober-maart; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/,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

Gemiddelde Neerslag per zomerhalfjaar

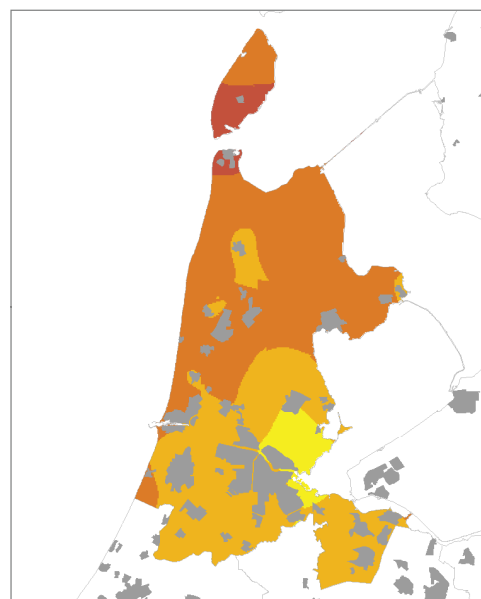
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

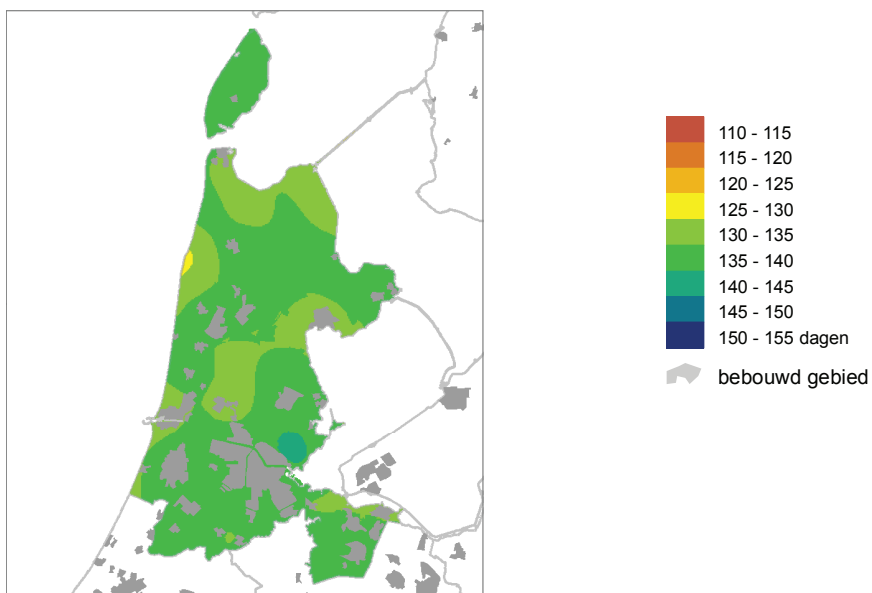


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations zonder additionele klimatologische kennis. De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

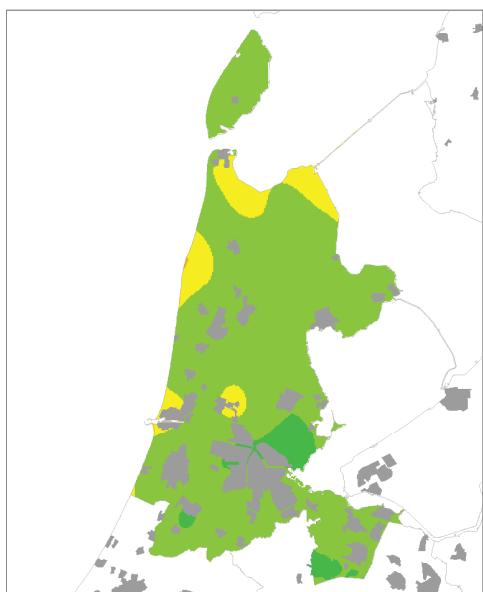
Figuur 2.8. Kaarten met de gemiddelde zomerneerslag per jaar (april-september; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/,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

Aantal dagen met ≥ 1 mm neerslag (jaar)

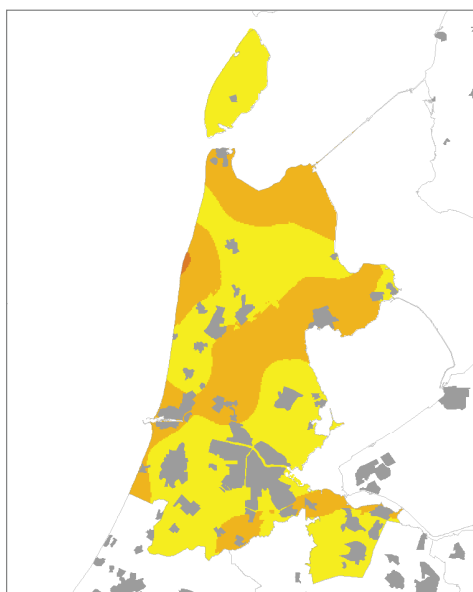
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

Figuur 2.9 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per jaar met 1 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/, kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen beschikbare KNMI-neerslagstations zonder additionele klimatologische kennis.

2.3.2 Extreme neerslag

Toekomstige trends

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

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

Ruimtelijke patronen

Het aantal dagen met ≥ 15 mm verschilt ook enigszins binnen Noord-Holland. Er is geen 1-op-1 relatie met de gemiddelde neerslag (figuur 2.6), maar die gebieden met een hogere gemiddelde neerslag lijken wel iets meer dagen met ≥ 15 mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan. De extreme neerslag in de zomer in de kustregio wordt mogelijk onderschat in het G+- en W+-scenario. Als bovengrens in die scenario's gelden dan respectievelijk de waarden in het G- en W-scenario¹.

Gegevens voor De Bilt over extreme neerslag worden vaak voor heel Nederland gebruikt. Zo valt er eens per 10 jaar in De Bilt meer dan 54 mm in 24 uur in het huidige klimaat (1906-2003; STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Er is vastgesteld dat er voor de hoeveelheid neerslag die binnen 24 uur valt en die eens per 10 jaar wordt overschreden significante verschillen tussen stations in Nederland bestaan (STOWA, 2004). Deze verschillen tussen De Bilt en de overige beschouwde stations bedragen maximaal 12%. In de toekomst zullen deze extreme neerslagsommen in alle klimaatscenario's toenemen, het meest in het W scenario. Meer informatie wordt gegeven in Bijlage 5.

Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. Op basis van een eerste schatting kan geconcludeerd worden dat de verschillen extreme 9-daagse sommen tussen de KNMI-neerslagstations in Noord-Holland (range 97-118 mm) relatief klein zijn, ook ten opzichte van station De Bilt. In de toekomst neemt deze extreme 9-daagse neerslagsom toe, maar een schatting van de toekomstige waarden is moeilijk te maken.

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

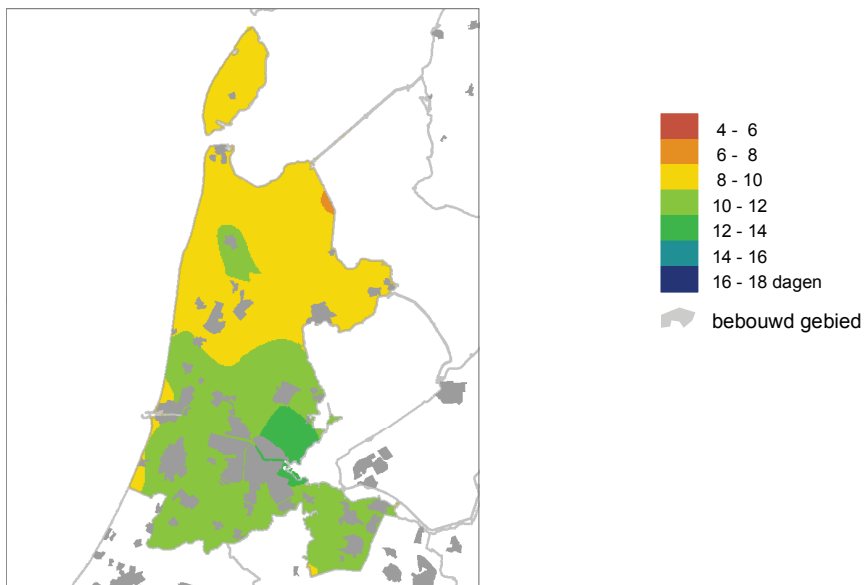
- Vaker water op straat als er geen maatregelen worden genomen (de extreme neerslag neemt in alle klimaatscenario's toe);
- In het geval van de scenario's G+ en W+ hoeft u in de zomer minder vaak een paraplu mee te nemen en is het risico dat een tuinfeest verregent minder groot (afname van het aantal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

In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

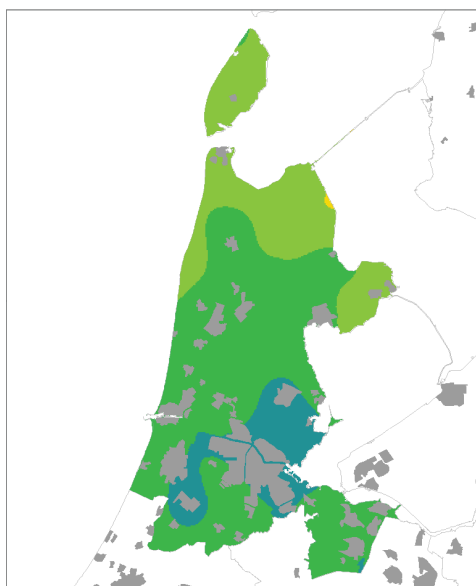
¹ Voor meer informatie zie: Lenderink, G., E. Van Meijgaard, & F. Selden, 2008. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. *Clim. Dyn.* doi: 10.1007/s00382-008-0366-x en http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/maatwerk/water/AVV_maart_2008.pdf

Aantal dagen met ≥ 15 mm neerslag (jaar)

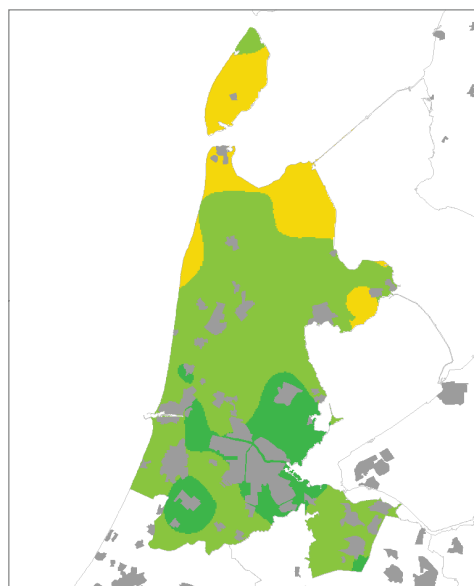
1976 - 2005



2050 W



2050 W+



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

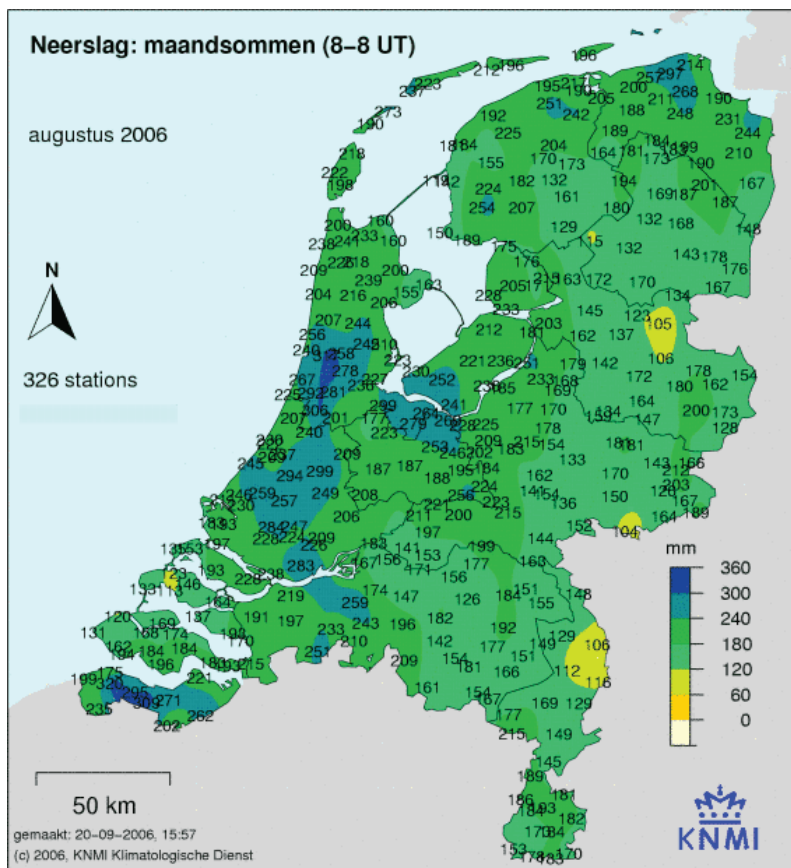
Figuur 2.10 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/,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

Wordt augustus 2006 normaal rond 2050?

Augustus 2006 was een erg natte maand na een erg warme maand juli. Misschien herinnert u zich nog dat er vooral in het westen van Nederland veel wateroverlast was: straten die onder waren gelopen, water in kelders, etc..

De gemiddelde neerslag in augustus in Noord-Holland in de periode 1971-2000 ligt rond de 65 mm. In augustus 2006 was de maandsom op een groot aantal stations in Noord-Holland hoger dan 200 mm (figuur 2.11). Er waren grote regionale verschillen in neerslag, maar dat is normaal voor de zomermaanden. Het aantal dagen met zware regen in augustus 2006 waarbij op tenminste één KNMI-station ≥ 50 mm werd afgetapt, bedroeg 11 tegen een langjarig gemiddelde van twee. Sinds 1951 is dit aantal dagen nog niet zo hoog geweest. In Maasland (Zuid-Holland) viel het meest, hier is is op 2 augustus zelfs 93 mm gevallen. Ook in andere provincies werden die maand hoge dagsommen bereikt.

De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de gemiddelde neerslag in de zomer, en twee scenario's laten zelfs een duidelijke afname zien. Dat betekent dat in de toekomst zo'n grote hoeveelheid neerslag als in augustus 2006 ook nog steeds uitzonderlijk zal zijn. Alle KNMI'06 scenario's laten wel een toename van de hevigheid van extreme buien zien. M.a.w. de hevigheid van de neerslag, zoals we die in augustus 2006 hebben gezien, zal in de toekomst minder uitzonderlijk worden, maar ook niet meteen heel gewoon!



Figuur 2.11 Maandneerslagsommen in augustus 2006. In Noord-Holland liggen 36 neerslagstations.



Augustus 2006, wateroverlast in Egmond

Augustus 2006 was met name in de kustgebieden (een strook van ca. 50 km breed langs de Noordzee- en IJsselmeerkust) erg nat. Daar viel gemiddeld ongeveer 210 mm, tegen 55 tot 65 mm normaal. Op enkele stations werd zelfs meer dan 300 mm afgetapt.

Enkele voorbeelden van overlast:

- In Den Helder stonden grote delen van de stad blank door een korte maar zeer hevige hoosbui. Woningen en winkels liepen vol. De schade is aanzienlijk.
- In het zeeaquarium in Bergen aan Zee stond het water tot kniehoogte.
- Een deel van Egmond aan Zee loopt twee keer in twee weken tijd onder water als gevolg van felle regenbuien. Ondernemers lijden schade van duizende euro's. Ook bewoners hebben veel ellende door de storbui door volgelopen kelders en schuren.
- Steden als Wijk aan Zee, IJmuiden en Zandvoort hebben last van overvloedige regen

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

Maar is augustus 2006 nu een voorproefje van wat we in de toekomst kunnen verwachten? De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de neerslag in de zomer, en twee scenario's laten zelfs een duidelijke afname zien. Dat betekent dat in de toekomst zo'n grote hoeveelheid neerslag als in augustus 2006 ook nog steeds uitzonderlijk zal zijn. Alle KNMI'06 scenario's laten wel een toename van de hevigheid van extreme buien zien. De 24-uurs neerslagsom die eens in de tien jaar wordt overschreden (54 mm) neemt rond 2050 toe met 5 tot 27%. M.a.w. de hevigheid van de neerslag, zoals we die in augustus 2006 hebben gezien, zal in de toekomst minder uitzonderlijk worden (maar ook niet meteen heel gewoon!).

2.4 Neerslagtekort

Klimaatverandering heeft voor neerslagtekort de volgende gevolgen:

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

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

Toekomstige trends

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

Figuur 2.12 laat zien dat het jaarlijkse verloop van het gemiddelde neerslagtekort in Nederland (de doorgetrokken lijnen) in het W-scenario rond 2050 slechts marginaal toeneemt ten opzichte van het klimaat in de periode 1906-2000. Hetzelfde geldt voor het G-scenario. Met andere woorden: in deze scenario's wordt het, gemiddeld gezien, nauwelijks droger rond 2050. Min of meer hetzelfde geldt voor de extremere jaren. Echter, in de G+ en W+ scenario's neemt het gemiddelde cumulatieve neerslagtekort duidelijk toe (door een afname van de zomerneerslag en een sterke toename van de verdamping). Rond 2050 komt het maximale neerslagtekort in een gemiddelde zomer onder het W+ scenario in de buurt van het maximale neerslagtekort in 2003.

Ruimtelijke patronen

De jaarlijkse potentiële verdamping (figuur 2.13) verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002 p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de maanden mei t/m juli is het neerslagtekort aan de kust van Noord-Holland wat groter dan meer landinwaarts, maar in de andere maanden van het zomerhalfjaar (april-september) is er minder ruimtelijk verschil binnen de provincie. Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald.

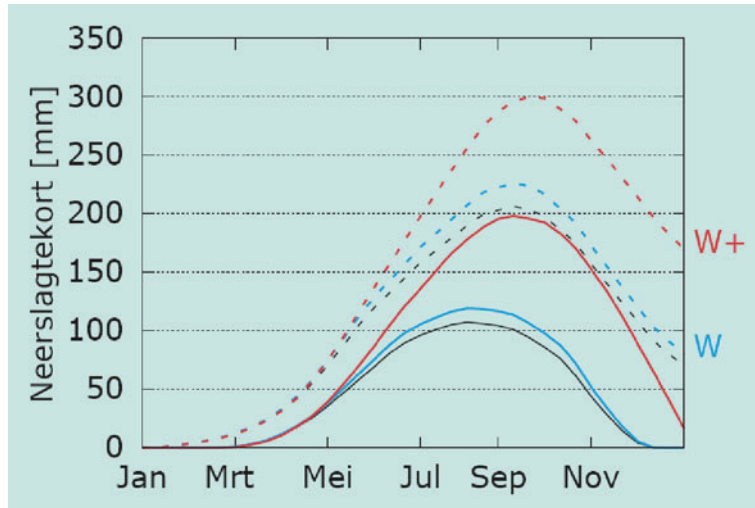
Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

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

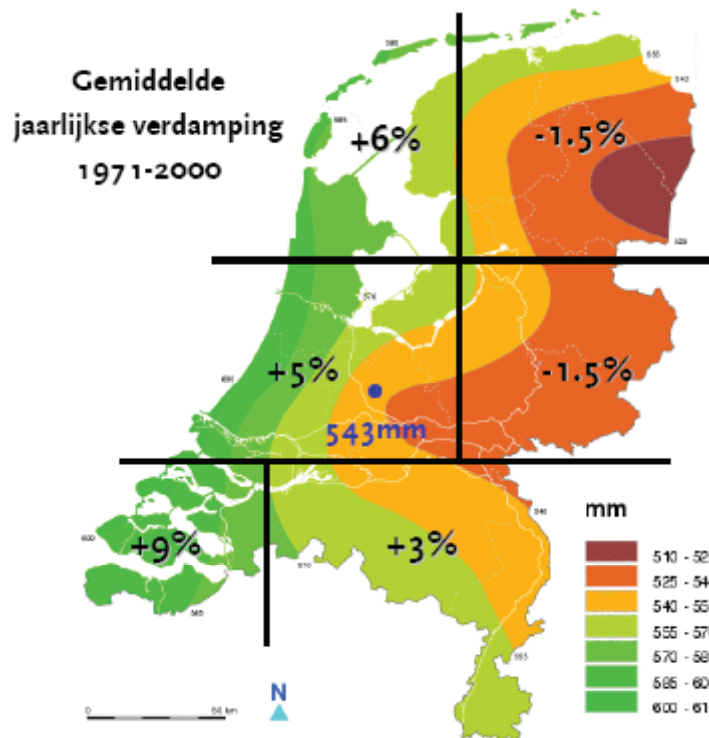
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

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

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



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



Figuur 2.13 Gemiddelde jaarlijkse referentie-gewasverdamping (=potentiële verdamping) volgens Makkink (Bron KNMI, 2002), inclusief schalingsfactoren voor 6 regio's ten opzichte van De Bilt (blauwe stip). De formule van Makkink maakt gebruik van informatie over temperatuur en straling om de potentiële verdamping te berekenen.

Tabel 2.2 Gemiddeld maximale neerslagtekort in de huidige situatie en in de vier KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (217 mm vanaf 1 april).

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

Droogte in Noord-Holland

- 2003 Nederland/ NUON: hittegolf zorgt voor code rood elektriciteit productie. Dagenlange dreiging van grootscheepse stroomstoringen houden de gemoeders flink verhit. Mensen en bedrijven worden opgeroepen om zo veel mogelijk stroom te besparen. Elektriciteitsproducenten zien zich gedwongen om de productie van energie terug te schroeven vanwege de aanhoudende hoge temperaturen. De productievermindering is noodzakelijk om het koelwater van centrales beneden de wettelijk vereiste maximumtemperatuur te houden. De watertemperatuur van de Rijn bij Lobith steeg boven de 23 graden waardoor het stappenplan koelwaterbeperking in werking trad.
- aug 2003: Amstel: Om de droogte in Rijnland te bestrijden werd de waterloop in de Amstel omgedraaid. voor het eerst in de geschiedenis krijgt het Groene Hart water uit het IJsselmeer toegevoerd. Zo wordt zoet water aangevoerd uit het IJmeer, een uithoek van het Markermeer dat zelf een deel van het IJsselmeer is Het gemaal Zeeburg in Amsterdam-Oost zal het water de juiste kant op pompen. De aanvoer van zoet water uit het Amsterdam-Rijnkanaal, waartoe al eerder was besloten, schoot tekort.
- apr/mei 2007: Kop van Noord-Holland: agrariërs kampen met gevolgen, boeren halen water uit de sloot voor het beregenen van velden door gebrek aan regenwater. De waterkanonnen maken overuren wat veel geld kost. In de grote akkerbouwgebieden in de Noordkop kampen boeren met droogte.

In de studie "Droog, droger, droogst" is tevens een regionale opsplitsing gemaakt. Daarbij vormen de stations Scheveningen, Hoofddorp en De Bilt de regio Middenwest Nederland en de stations Den Helder, Hoorn en Terschelling de regio Noordwest Nederland. De provincie Noord-Holland ligt in beide regio's

Het maximale neerslagtekort dat bereikt werd in 2003 voor de regio Middenwest Nederland was 259 mm en voor de regio Noordwest Nederland was dat 291 mm. Over heel Nederland varieerde het maximale neerslagtekort van 178 voor Noordoost Nederland tot 291 mm voor Noordwest Nederland.

De herhalingstijd die hoort bij een neerslagtekort zoals in 2003 is voor Middenwest Nederland 12 jaar, voor Noordwest Nederland 13 jaar. Dat betekent dat eens per respectievelijk 12 en 13 jaar een vergelijkbaar of groter neerslagtekort wordt bereikt. Over heel Nederland varieerde de herhalingstijd die hoort bij het neerslagtekort dat bereikt werd in 2003 van eens per 4 jaar voor het Maasgebied, tot eens per 13 jaar voor Noord-West Nederland.

De zomer van 2003 was wat betreft droogte dus helemaal niet zo extreem

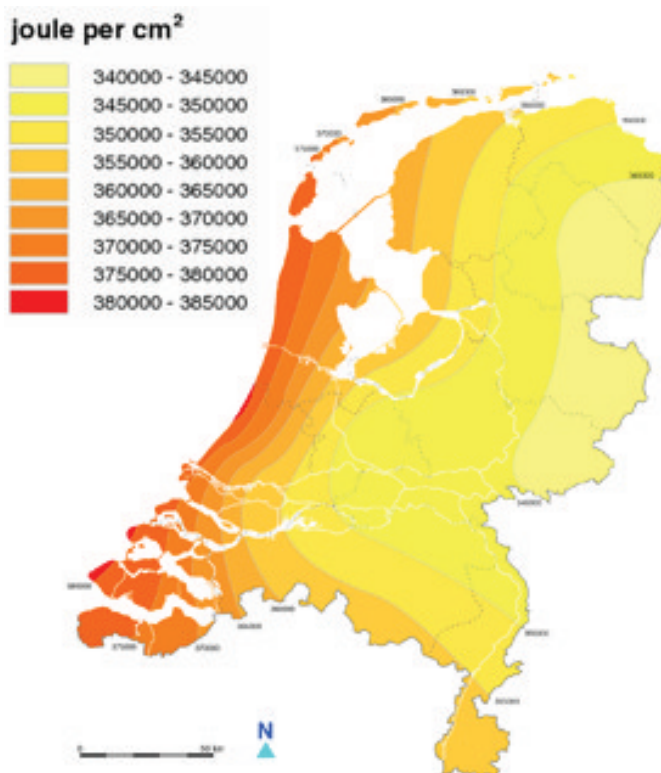
2.5 Zonneschijn

Klimaatverandering heeft voor zonneschijn de volgende gevolgen:

- In het winterhalfjaar geen grote veranderingen in uren zonneschijn verwacht;
- In het zomerhalfjaar kan het aantal uren zonneschijn toenemen of gelijk blijven;
- Veranderingen in uren zonneschijn in 2100 groter dan in 2050;
- De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts.

Toekomstige trends

De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Nederland in het overgangsgebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt (IPCC, 2007).



Figuur 2.14 Jaarlijkse globale straling in de huidige situatie

De KNMI'06 scenario's geven wel informatie over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneschijn en het aantal regendagen (of de neerslagduur), maar deze relatie is niet in elk seizoen of elke maand even duidelijk (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (2002) en vergelijk neerslagduur per seizoen en het aantal uren zonneschijn per maand). Voor de wintermaanden (december-februari) is de verandering in het aantal regendagen in alle gevallen klein (0% tot +2% tot 2050 t.o.v. het klimaat rond 1990). Voor de zomer (juni-augustus) is de verandering in het aantal regendagen in de G en W scenario's ook beperkt (-3% tot -2% tot 2050 t.o.v. het klimaat rond 1990). We verwachten daarom weinig verandering in het aantal zonneschijndagen. In de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer aanzienlijk af (-10% tot -19% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en verwachten we een toename van het aantal uren zonneschijn. Voor meer informatie wordt verwezen naar Bijlage 5.

Ruimtelijke patronen

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde jaarlijkse zonneschijnduur. Op maandbasis is het gemiddelde aantal zonneschijndagen

aan de kust meestal ook hoger dan landinwaarts, maar dit verschil is sterker in het zomerhalfjaar dan in het winterhalfjaar (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002)). Het ruimtelijke patroon over Nederland van de globale straling op jaarbasis is weergegeven in figuur 2.14. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen weinig veranderen.

2.6 Wind

Klimaatverandering heeft voor wind de volgende gevolgen:

- Veranderingen in het windklimaat zijn klein t.o.v. de natuurlijke jaar-op-jaar variatie;
- Veranderingen in 2100 2x zo groot als in 2050 in de KNMI'06 scenario's;
- De gemiddelde windsnelheid in de winter is hoger dan in de zomer;
- De gemiddelde windsnelheid is langs de kust groter dan landinwaarts.

Toekomstige trends

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

Volgens de KNMI'06 klimaat scenario's, die gebaseerd zijn op dezelfde modellen als gebruikt voor het 4e Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze tredt meestal in de winter op). Deze is echter niet meer dan 2% per graad temperatuurstijging. Dit is klein ten opzichte van de jaar-op-jaar variaties en de natuurlijke schommelingen op langere termijn. In de G en W scenario's verandert de hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar nauwelijks ($\leq 1\%$ tot 2050).

Stormvloed en aan de Nederlandse kust treden op bij stormen uit westelijke tot noordelijke richtingen. De wind zorgt dan voor extra wateropzet, dat wil zeggen de wind stuwt het water extra op tegen de kust. De modelberekeningen die voor de vier KNMI'06 scenario's zijn gebruikt geven aan dat de verandering van het aantal stormen uit deze richtingen gering is. Op basis hiervan wordt niet verwacht dat als gevolg van de mogelijke veranderingen in wind de stormvloed en uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloed wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging (zie 2.7).

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is de gemiddelde windsnelheid in alle seizoenen aan de kust het grootst en neemt landinwaarts af (zie ook 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002), en Bijlage 5). In de winter (december-februari) is de gemiddelde windsnelheid het hoogst, en in de zomer (juni-augustus) het laagst. Ditzelfde patroon zal in de toekomst blijven bestaan.

2.7 Zeespiegel

Klimaatverandering heeft voor de zeespiegel de volgende gevolgen:

- De zeespiegel stijgt in alle klimaatscenario's;
- Veranderingen in 2100 zijn minimaal 2x zo groot als in 2050 in de KNMI'06 scenario's;
- Door de trage reactie van oceanen en ijskappen zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten;
- De absolute zeespiegelstijging langs de Nederlandse kust is overal gelijk;
- Als gevolg van bodemdaling kan de relatieve zeespiegelstijging van plaats tot plaats verschillen.

Toekomstige trends

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

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

De Groenlandse ijskap zal in het warmere klimaat blijven slinken en dus bijdragen aan zeespiegelstijging. Modelstudies suggereren dat bij een gematigde stijging van de temperatuur de ijskap vrijwel geheel zal verdwijnen in enkele duizenden jaren. De Antarctische ijskap blijft zó koud dat het oppervlak nauwelijks zal gaan smelten. In modelstudies neemt de sneeuwval toe, waardoor de ijskap de komende eeuwen gaat groeien. Echter, de ijskap kan netto massa verliezen als blijkt dat de afkalving aan de randen dominant is.

Ruimtelijke patronen

De absolute zeespiegelstijging is overal langs de Nederlandse kust gelijk. De wateropzet als gevolg van wind en stormen (par. 2.6) kan wel langs de kust verschillen.

In de KNMI'06 scenario's wordt de absolute zeespiegelstijging gepresenteerd, wat ongeveer overeenkomt met de verandering in de stand ten opzichte van NAP (Figuur 2.15). Om de relatieve verandering van het zeeniveau ten opzichte van de Nederlandse bodem te verkrijgen, moet de bodembeweging nog worden opgeteld bij de scenario's.



Figuur 2.15 Schematische weergave van het verschil tussen absolute en relatieve zeespiegelstijging als gevolg van bodemdaling

Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- Stormvloedkeringen zullen vaker dichtgaan.;
 - Het zoute water van de zee zal verder landinwaarts de rivier indringen;
- In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Tabel 3.1 Schematisch overzicht van klimaatveranderingseffecten, gebiedstypen en functies, te vinden in dit hoofdstuk

Thema	Trend	Gevolg	Paragraaf
Watersysteem			
- Overstromingsrisico's Rijn	- Hogere rivierafvoer in de winter - Zeespiegelstijging	- Verandering piekafvoeren onbekend. Afhankelijk van meerdere factoren.	3.1.1
- Waddenzee	- Zeespiegelstijging - Temperatuurstijging	- Achteruitgang typisch waddenmilieu - Veranderingen in voedselketen - Schommeling zoutgehalte	3.1.2
- Prioritering rivierafvoer	- Lagere rivierafvoer in de zomer	- Concurrerende wateraanvoerbehoeften	3.13
- Waterkwaliteit	- Temperatuurstijging - Droogte in de zomer - Toename hevige buien	- Gunstigere omstandigheden voor blauwalg - Vaker riooloverstort - Drinkwatervoorziening onder druk	3.1.4
Stedelijk gebied			3.2
- Wateroverlast	- Toename hevige buien	- Vaker water op straat	3.2.1
- Watertekort	- Neerslagtekort in de zomer	- Paalrot in oude binnensteden - Fluctuatie grondwaterstanden	3.2.2
- Temperatuur	- Hogere temperaturen in binnensteden	- Toename hittestress - Toename gezondheidsproblemen/sterfte	3.2.3
- Luchtkwaliteit	- Toename tropische dagen - Winter: lucht uit westelijke richting	- Kans op zomersmog groter - Kans op wintersmog kleiner	3.2.4
Landelijk gebied			3.3
- Wateroverlast	- Toename neerslag in winter - Intensere buien zomer	- Meer wateroverlast - Overlast op recreatieterreinen	3.3.1
- Verdroging	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Verzilting	3.3.2
Landbouw			3.4
- Vernatting	- Toename neerslag in winter - Intensere buien	- Incidentele schade	3.4.1
- Droogteschade	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Nog onbekend	3.4.2
- Ziekten en plagen	- Temperatuurstijging - Toename neerslag	- Kansen en bedreigingen - Mogelijke nieuwe ziektes en plagen	3.4.3
Natuur			3.5
- Versterkte verdroging	- Neerslagtekort	- verzilting	3.5
- Periodieke vernatting	- Toename intense buien	- Verdrinking van soorten	3.5
- Biodiversiteit	- Temperatuurstijging - Verdroging - Meer extremen	- Verschuiving klimaatzones - Grotere aantalfuctuaties met mogelijk uitsterven.	3.5
Infrastructuur			3.6
- Wateroverlast droge infrastructuur	- Intensere buien	- Verkeersoverlast	3.6.1
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Meer spoorvorming - Meer berm- en bosbranden	3.6.2
Recreatie			3.7
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Kansen voor buitenrecreatie - Achteruitgang zwemwaterkwaliteit	3.7
- Wateroverlast	- Intensere buien zomer	- Overlast op recreatieterreinen	3.3.1

3 SECUNDAIRE KLIMAATEFFECTEN

Veranderingen in temperatuur, neerslag en zeespiegelstijging, zoals beschreven in hoofdstuk 2, hebben verschillende gevolgen. Deze gevolgen zijn ook afhankelijk van verschillende fysisch-geografische aspecten in een gebied, zoals hoogteligging, bodemtype, rivier- en bekenstelsels, en van de manier waarop een gebied is ingericht. In dit hoofdstuk worden klimaatveranderingseffecten zoals wateroverschot, watertekort, veranderingen in rivierafvoer en de gevolgen van temperatuurstijgingen voor verschillende gebiedstypes en functies beschreven.

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

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

3.1 Watersysteem

Klimaatverandering zal voor het watersysteem de volgende gevolgen hebben:

- De overstromingsrisico's kunnen veranderen. De omvang van het effect is echter nog niet bekend.
- Zeespiegelstijging kan leiden tot een achteruitgang van het typisch waddenmilieu.
- Door temperatuurstijging en stilstaand water worden de omstandigheden voor blauwalg gunstiger.
- Door meer intense buien kan het aantal riooloverstorten toenemen, dit is slecht voor de waterkwaliteit.
- De drinkwatervoorziening komt door temperatuurstijging en watertekort onder druk te staan.
- Door lagere rivierafvoeren in de zomer zal het waterverdelingsvraagstuk vaker optreden.

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.1.1 Veiligheid/overstromingsrisico's

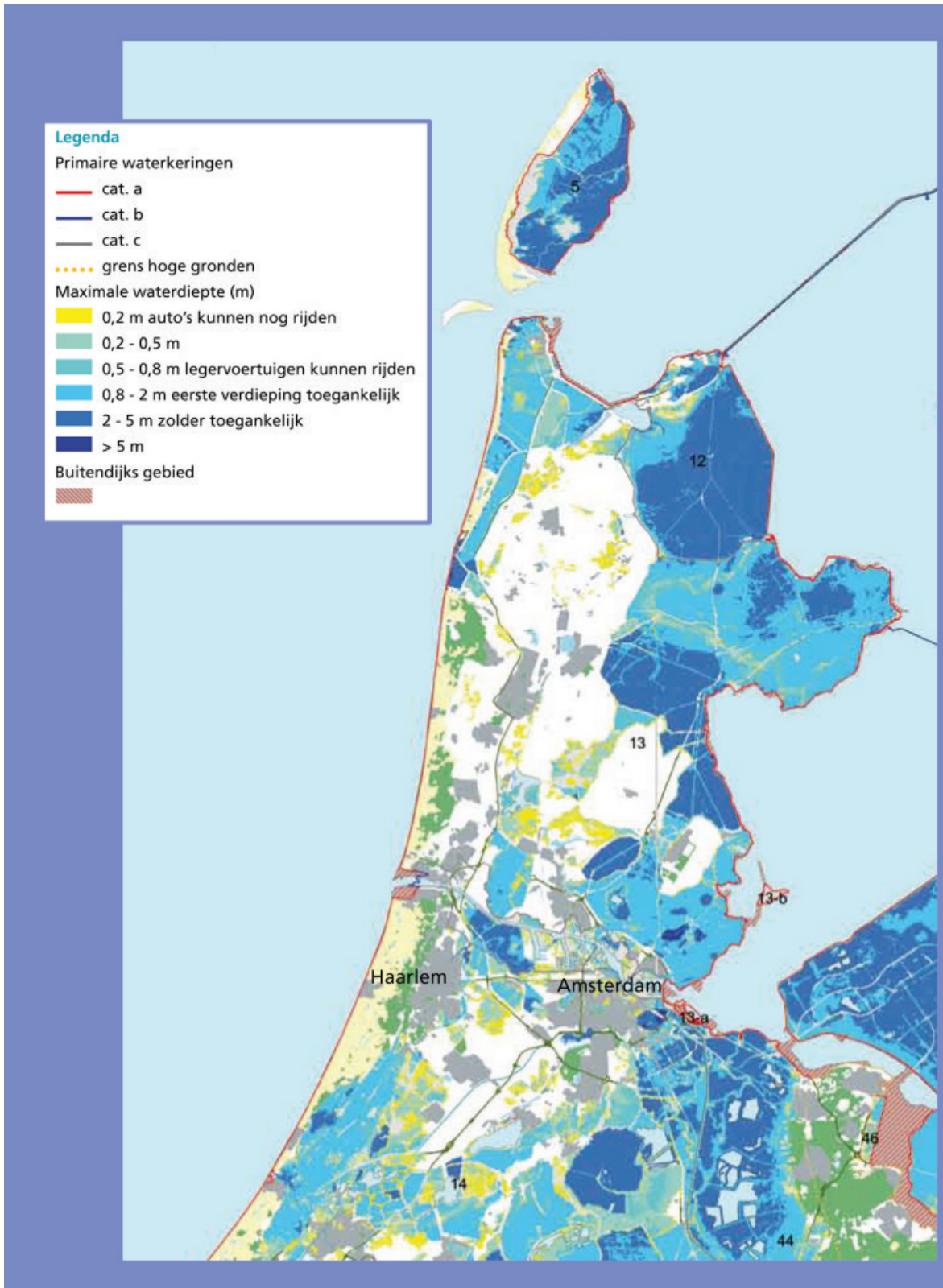
Gaan de overstromingsrisico's veranderen onder invloed van klimaatverandering? Om over die vraag iets te kunnen zeggen zijn een aantal begrippen van belang: maatgevende waterstanden, normen, kansen, gevolgen en risico's.

Noord Holland heeft te maken met overstromingskansen vanuit de Noordzee, de Waddenzee, het Markermeer en het IJsselmeer en het Noordzeekanaal.

De maatgevende waterstanden in deze verschillende wateren kunnen veranderen onder invloed van Klimaatverandering. In de Noordzee en de Waddenzee kan het waterpeil door de zeespiegelstijging hoger worden. Paragraaf 2.7 geeft aan dat de huidige KNMI'06 scenario's uitgaan van een zeespiegelstijging tussen de 15 cm en 35 cm in 2050 (35 cm en 85 cm in 2100).

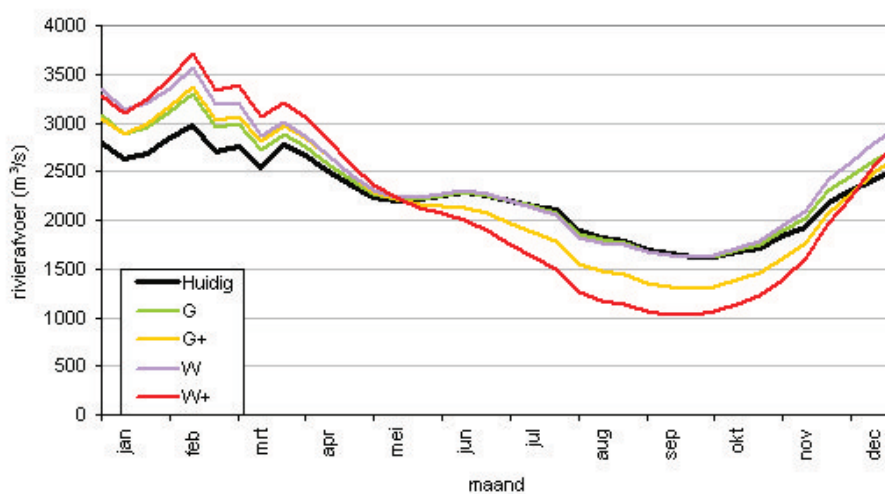
Het waterpeil van het IJsselmeer is afhankelijk van de aanvoer van water door het IJsselmeer, wat weer voor een groot deel afhankelijk is van wat via de Rijn Nederland binnenstroomt. Voor het overstromingsrisico van de Rijntakken is de rivieraanvoer bij Lobith een belangrijk gegeven. In figuur 3.2 staan de huidige gemiddelde rivieraanvoer bij Lobith en die bij verschillende KNMI'06 scenario's in 2050. Zoals de grafiek laat zien zal de fluctuatie in rivieraanvoeren in alle scenario's in de winter gemiddeld toenemen en in de zomer gemiddeld afnemen, vanwege een verandering in neerslag in het stroomgebied.

De watersctand in het IJssel- en Markermeer zal stijgen als het door zeespiegelstijging moeilijker wordt om tijdens eb water te spuien op de Waddenzee. Als de zeespiegel fors stijgt moet er zelfs gedacht worden aan het bouwen van gemalen op de Afsluitdijk. Bij het vergroten van de huidige spuicapaciteit van de spuisluisen in de Afsluitdijk wordt rekening gehouden met het midden klimaatscenario. Als de zeespiegel dus meer stijgt hebben we een serieus probleem om het water af te voeren naar de Waddenzee.



Figuur 3.1 Overstromingsdieptekaart Noord-Holland

Voor het bepalen van de afvoercapaciteit van de rivier wordt echter niet uitgegaan van gemiddelde rivieraanvoeren, maar van de 'maatgevende afvoer'. De maatgevende afvoer heeft een overschrijdingskans van 1/1.250 per jaar en is bepalend voor de maatgevende hoogwaterstanden in het bovenrivierengebied. Door de hoge rivierafvoeren van 1993 en 1995 is de maatgevende afvoer verhoogd van 15.000 naar 16.000 m³/s. In het Programma Ruimte voor de Rivier worden maatregelen genomen om deze verhoogde afvoer veilig naar zee te leiden. Dit zijn vooral ruimtelijke maatregelen. Hierbij kan worden opgemerkt dat de daarmee gemoeide taakstelling op enkele plaatsen maar met moeite gehaald kan worden door een aanzienlijke ombouw van het winterbed. Net als dat de gemiddelde rivierafvoer onder invloed van klimaatverandering zal veranderen, veranderen ook de maatgevende afvoeren onder invloed van klimaatverandering. Zo wordt er voor de Rijn vaak gesproken over een toekomstige maatgevende afvoer van 18.000 m³/s. Klimaatverandering is echter maar één van de invloedsfactoren op de maatgevende afvoer. Voor een belangrijk deel zal de piekafvoer af hangen van de maatregelen die in het gehele stroomgebied van de Rijn worden genomen en vooral in Duitsland. Vergroot Duitsland de afvoercapaciteit dan zal de afvoer ook bij Lobith toenemen. Dit betekent dat ook de verandering in de maatgevende waterstand van het IJsselmeer in de toekomst niet duidelijk is.



Figuur 3.2 Gemiddelde Rijnaanvoer bij KNMI'06 scenario's (m³/s) Bron: 'Investeringsruimte voor toekomstige droogte' (2007 Royal Haskoning in opdracht van RIZA)

Voor het ontwerp van de dijken, die het land moeten beschermen tegen het water, worden behalve deze maatgevende waterpeilen nog een aantal factoren mee genomen. Afhankelijk van de economische waarde in het 'achterland' zijn normen voor 'overschrijdingskansen' voor de dijken afgesproken. In Noord-Holland variëren die van 1/1.250 via 1/4.000 tot 1/10.000 per jaar. Een norm van 1/10.000 wil zeggen dat de dijk een waterstand met een overschrijdingskans van 1/10.000 per jaar veilig moet kunnen keren. Bij het dijkontwerp wordt dan niet alleen rekening gehouden met de maatgevende waterstand maar o.a. ook met de golfaanval onder invloed van wind. Vooral bij de Noordzeekust en bij de Waddenzee kan de wind zorgen voor extra wateropzet. Veranderingen in wind en storm zouden dus belangrijke redenen zijn voor het aanpassen van de kustverdediging. Vooral nog verwacht het KNMI dat de veranderingen in wind en storm gering zullen zijn (zie paragraaf 2.6).

In het project Veiligheid Nederland in Kaart worden de huidige 'kansen' op dijkdoorbraken berekend (Zie www.helpdeskwater.nl/projectvkn/). Bij het berekenen van deze kansen is wel rekening gehouden met de meest waarschijnlijke combinatie van waterstanden en keringsituatie.

Het overstromingsrisico is de kans op de mogelijke overstromingen maal de schade van zo'n overstroming. Die schade wordt enerzijds bepaald door de hoeveelheid water, maar vooral door het gebruik van het land achter de dijk: aantal inwoners en de economische waarde. Naar de toekomst toe zal dat gebruik van land vooral beïnvloed worden door de sociaal-economische ontwikkelingen in Nederland en de beleidsmatige besluitvorming over ruimtelijke ontwikkelingen. De overstromingsrisico's kunnen dus toenemen, zelfs als de kansen op overstromingen niet toenemen.

De overstromingsdieptekaart (figuur 3.1) wordt gefaseerd opgebouwd. Deze kaart is het resultaat van de eerste fase. Bij deze eerste fase is alleen gekeken naar overstromingen vanuit buitenwater: zee, de grote

rivieren, het IJsselmeer en het Markermeer. In volgende fasen worden ook overstromingen in buitendijkse gebieden en vanuit binnenwater toegevoegd. In sommige gebieden kan een overstroming vanuit binnenwater ongunstiger zijn dan vanuit rivier en zee. Het is daarom mogelijk dat sommige gebieden in een latere fase in een hogere waterdiepteklasse komen te liggen of alsnog een waterdiepte krijgen terwijl ze in deze fase nog droog zijn gebleven.

De risicokaart voor burgers is bedoeld voor risicocommunicatie. Voor beleidsvraagstukken kunnen aan deze kaart geen rechten worden ontleend.

Overstroming

Een overstroming ontstaat als een onbeheersbare hoeveelheid water het land instroomt. Dat kan vanuit een rivier, een meer of de zee zijn. Bijvoorbeeld als er een gat in een waterkering ontstaat. Of als er over een grote lengte zoveel water over de dijken loopt dat zandzakken of andere noodmaatregelen de instroom niet stoppen. Een fors lekkende of overlopende sluisdeur, zonder dat een onbeheersbare situatie ontstaat, is dus géén overstroming. Ook water op het land door hevige regen noemen we geen overstroming, maar wateroverlast.

De term ‘inundatie’ is geen synoniem van overstroming. Bij inundatie wordt het land bewust onder water gezet

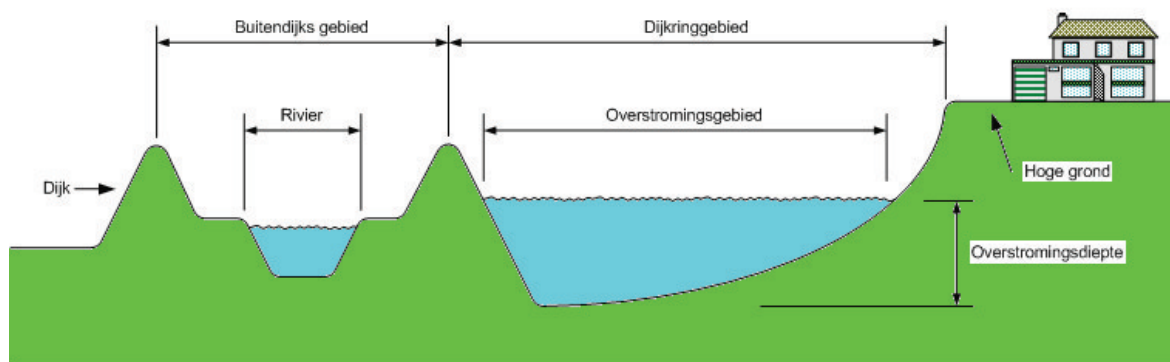
Dijkring

Een dijkring is een aaneengesloten ring van waterkeringen (dijken, duinen of kunstwerken), die een gebied beschermen tegen overstromingen.

Sommige dijkringen worden omringd door waterkeringen en hoge gronden, zoals het gebied tussen de Veluwe en de IJssel.

Het gebied binnen een dijkring is het dijkringgebied. Een dijkring is onderverdeeld in vakken, kunstwerken, dijkvakken en duinvakken, die min of meer even hoog zijn.

Het dijkringgebied en het vereiste beschermingsniveau van elke dijkring zijn wettelijk vastgelegd in de Wet op de Waterkering.



Figuur 3.3 Schematische weergave van een dijkring gebied en het overstromingsgebied

Overstromingsdiepte

Hoe een overstroming precies verloopt, hangt af van allerlei factoren. Voor veel gebieden zijn computerberekeningen gemaakt om te laten zien hoe een overstroming zou kunnen verlopen. Bij zo'n berekening worden aannamen gedaan over de plaats en grootte van een dijkdoorbraak en de waterstanden op de rivier of op zee. Men berekent vervolgens hoe het gebied kan onderlopen en welke overstromingsdiepte op elke locatie bereikt kan worden.

Door de uitkomsten van de berekeningen te combineren is voor elke locatie een maximale overstromingsdiepte bepaald. Overstromingsdieptekaarten (zoals die zijn ontwikkeld in het kader van het project “Veiligheid Nederland in kaart”) geven daarmee een beeld van de gebieden die kunnen overstromen en een indicatie van de waterdiepten .

Samenvattend

Onder invloed van klimaatveranderingen kunnen de overstromingsrisico's veranderen, maar die

klimaatverandering is maar één van de vele factoren die veranderingen in overstromingsrisico's de komende jaren zullen bepalen. Over de omvang van het (mogelijke) effect van klimaatverandering op de overstromingsrisico's zijn op dit moment geen studies beschikbaar.

3.1.2 Effecten van klimaatverandering op de Waddenzee¹

Zeespiegelstijging kan leiden tot achteruitgang van typisch waddenmilieu

Verwacht wordt dat de zeespiegelstijging toeneemt van de huidige 18 cm per eeuw naar 60 cm per eeuw, in het ongunstigste scenario naar 85 cm per eeuw (voor 2100 is de range 35-85 cm). Wanneer de zeespiegel te snel stijgt, is het niet zeker dat de opslibbing van wadplaten en kwelders de zeespiegelstijging kan bijhouden. De kritische grens ligt waarschijnlijk in de buurt van de door het KNMI voorspelde stijging van 3 tot 7 mm per jaar (tot 2050). Een hevige storm kan daarbij tot extra verhoging van waterstanden kan leiden. Hierdoor nemen erosie van de Noordzeekust en naar de Waddenzee gerichte sedimenttransporten toe. In dit verband is ook sedimenthonger als gevolg van bodemdaling en zandwinning van belang.

Voor de Waddenzee is een aantal effecten mogelijk:

- Achteruitgang wadplaten. In het scenario van 60 cm zeespiegelstijging kan het oppervlak zandplaten met enkele procenten afnemen, terwijl bij 85 cm stijging de aanvoer van zand vanuit de Noordzeekustzone wellicht niet langer voldoende is om de zandplaten op hoogte te houden.
- Achteruitgang kwelders. De wadplaten vóór de kwelder nemen waarschijnlijk minder snel in hoogte toe dan de kwelder zelf. Daardoor ontstaat een klifrand die onderhevig is aan erosie, waardoor de kwelder in oppervlak afneemt. Dit speelt vooral langs de vastelandkwelders (Groningen en Friesland). De opslibbingssnelheid is op eilandkwelders doorgaans lager dan langs het vasteland. De kans dat opslibbing de zeespiegelstijging niet kan bijhouden is daar dus hoger, en daardoor is het mogelijk dat regressie van de kweldertypen optreedt.
- De aan wadplaten en kwelders gebonden flora en fauna zal hierdoor achteruitgaan. Voor wadvogels worden voedseltekorten verwacht. Hierbij moet worden aangetekend dat de natuurlijke aantalsfluctuaties in de vogelstand nu al in de orde van 25% tot 30% liggen.

Temperatuurstijging van het zeewater leidt tot veranderingen in voedselketen

Tot 2100 wordt een stijging van de gemiddelde zeewatertemperatuur met 3°C verwacht. Hierdoor wordt het vrijkomen van voedingsstoffen mogelijk versneld. De voedselketen in de Waddenzee kan aan de basis, bij het plantaardig plankton, veranderen en het risico op (ongewenste) algenbloei neemt toe. De pieken van plantaardig en dierlijk plankton verschuiven in de tijd en ook de synchronisatie tussen planktonpieken en het larvale stadium van schelpdieren en vis kan ontregeld raken. De soortensamenstelling van de visfauna zal veranderen, maar de kennis hierover is vooralsnog beperkt.

Een toename van zachte winters heeft wellicht een negatief effect op schelpdierpopulaties. De biomassa daarvan wordt in belangrijke mate bepaald door de grootte van de broedval en de overleving daarvan. Goede broedvallen treden vaker op na strenge winters. De overleving wordt in belangrijke mate bepaald door predatie, stormen en visserij. Als bij zachtere winters toch goede broedvallen optreden, is het mogelijk door gericht beleid de overleving te maximaliseren, waardoor de schelpdierbiomassa toch op relatief hoog niveau blijft. Negatieve effecten op de schelpdier etende vogelfauna kunnen dan verminderd worden.

Indien de schelpdierpopulaties afnemen en de vogels minder voedsel ter beschikking hebben komt dit bovenop het nadelige effect van 'verdrinkende' wadplaten voor deze soortgroepen.

Toename schommelingen zoutgehalte door sterker wisselende zoetwateraanvoer

Naar verwachting wordt het klimaat natter, vooral in de winter. Hierdoor zal de afvoer van zoetwater naar de Waddenzee toenemen. Piekafoeren zullen vaker optreden. Door de stijgende zeespiegel zal de lozing via spuilsuizen echter steeds moeilijker worden. Verdubbeling van de spuicapaciteit vanuit het IJsselmeer is reeds in studie. In de zomer neemt het aantal extreem droge perioden waarschijnlijk toe, waardoor juist minder zoet water naar zee zal worden afgevoerd.

Door toenemende piekafoeren van zoet water zullen de zoet-zoutovergangen lokaal (tijdelijk) scherper worden. Mogelijk zijn enkele van de huidige soorten van de Waddenzee hier gevoelig voor.

Ten slotte: veranderingen in het ecosysteem van de Waddenzee verlopen niet altijd geleidelijk, maar kunnen soms sprongsgewijs plaatsvinden.

¹ Onderstaande tekst is grotendeels gebaseerd op twee recente rapporten (MNP, 2005 en RIKZ, zonder jaartal). Norbert Dankers (IMARES Texel) voorzag een eerdere versie van commentaar.



Figuur 3.4 Functies van het oppervlaktewater in de provincie Noord-Holland

Adaptatieopgaven

- Dijken: een verhoogd risico op sterke golfaanval maakt dijkversterking noodzakelijk. De kosten hiervoor kunnen bij het scenario van 60 cm zeespiegelstijging sterk oplopen.
- Duinen en strand: zandsuppleties zullen bij de verschillende klimaatveranderingsscenario's vaker nodig zijn om het strand en de duinen van de Waddeneilanden daar te houden waar ze nu zijn.

Een mogelijke strategie zou kunnen zijn de zogenaamde 'zachte kustverdediging'. Het gaat hierbij om ontwikkeling en versterking van de natuurlijke zeewering (bijvoorbeeld strand, wandelende duinen, washovers en sluffers). Bovenstaande punten gelden zowel voor de Waddenzee als de Noordzee.

3.1.3 Prioritering bij lage rivierafvoer

De hoeveelheid zoet water neemt in het zomerhalfjaar in de +-scenario's sterk af terwijl de vraag om water sterk toeneemt. De verdeling van het water wordt een steeds belangrijker vraagstuk. Het optreden van lage rivierafvoeren zal dit vraagstuk versterken. De vraag is of de huidige verdringingsreeks hierin voldoende voorziet of dat een verfijndere afweging moet worden ontwikkeld.

Bij lage rivierafvoeren wordt het water verdeeld over de IJssel (1/9^{de} deel), de Nederrijn (2/9^{de} deel) en de Waal (2/3^{de} deel). Actief ingrijpen op de waterverdeling over deze takken van de Rijn zal vaker voorkomen (referentie zomer 2003). De huidige landelijke verdringingsreeks heeft de volgende prioritering:

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

Adaptatieopgave

Incidentele tekorten kunnen een structureel karakter krijgen. Wellicht is de verdeling van rivierwater in droge periodes niet meer passend in de toekomstige situatie. De verdringingsreeks zal vaker toegepast worden. Dit kan leiden tot een herverdeling van water over gebruikersgroepen.

Mogelijk blijken in de toekomst andere zaken prioriteit te hebben. De huidige verdringingsreeks zal dan ter discussie moeten komen te staan. Nu al wordt irreversibele schade aan natuur, als die te droog komt te staan, een stap hoger geplaatst op de ladder van de verdringingsreeks.

3.1.4 Waterkwaliteit**Blauwalg**

In alle scenario's neemt de temperatuur toe, waarmee ook de watertemperatuur toeneemt. Hierdoor zijn de omstandigheden voor blauwalgen beter. De toenemende droogte in de +-scenario's zorgt voor meer droogte, waardoor de blauwalgen nog beter zullen gedijen. De intense buien die in alle scenario's zullen vallen kunnen de blauwalg mogelijk uitspoelen, maar door daaropvolgende droge periodes zullen blauwalgen weer toenemen. Bovendien zorgt afspoeling van nutriënten weer voor betere omstandigheden.

Gevolg van deze blauwalgtoename is dat zwemwaterlocaties vaker gesloten zullen worden. Daarnaast zorgt blauwalg voor stankoverlast in stadswateren en jachthavens.

Doordat de temperatuur over het gehele jaar hoger zal worden, zal blauwalg mogelijk ook eerder in het jaar voorkomen.

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

De zwemwaterlocaties in de provincie Noord-Holland zijn weergegeven in figuur 3.4

Riooloverstort

Bij intense buien stroomt in korte tijd een grote hoeveelheid water in het riool. Door een toename aan intense buien en daarbij een toename van de intensiteit van de buien zal het vaker voorkomen dat het riool deze hevige neerslag niet aan kan. Via het riooloverstort wordt dit overtollige water dan geloosd op sloten of vijvers. Bij gemengde rioolstelsels (die in verharde gebieden, gebouwd voor 1970, worden gebruikt) is dit water vermengd met afvalwater. Hierdoor zal bijvoorbeeld de e.coli bacterie meer voorkomen. De waterkwaliteit zal

dan afnemen.

Drinkwatervoorziening

Er bestaat een verband tussen temperatuur en drinkwatergebruik. Droge zomers leiden dus tot hoge watervraag. Er zullen zich door droogte en opwarming meer pieken voordoen in de watervraag. Tegelijkertijd is de beschikbaarheid van voldoende water van voldoende kwaliteit voor de bereiding van drinkwater in gevaar. Droogte levert een bedreiging op voor de beschikbaarheid van water voor de bereiding van drinkwater, in kwantitatieve, maar met name in kwalitatieve zin. Een geringere aanvoer van water uit bovenstrooms gebied en uit hemelwater zorgt in de zomer voor een verslechtering van de waterkwaliteit. Door 'indikking' van het beschikbare water wordt de concentratie van schadelijke stoffen hoger. Er moet daardoor meer moeite gedaan worden om via zuiveringsprocessen aan de kwaliteitseisen voor drinkwater te voldoen. Opwarming van het water, gecombineerd met concentratie van voedingsstoffen in het water, verhoogt ook de kans op microbiële verontreiniging (o.a. legionella). Water als grondstof voor drinkwater mag daarom niet warmer dan 25° C zijn in het pompstation (zie DHV, 2007, "water als grondstof, innovatieagenda voor omgaan met water in perioden van droogte" A6200-01-001).

Adaptatieopgave

Waterwingebieden in de duinen worden bedreigd door verzilting uit de zee en uit de ondergrond. Het duinsysteem met zoet, brak en zout (grond) water is een dynamisch en kwetsbaar systeem, zowel natuurlijk gezien als qua menselijk ingrijpen. Grondwaterwinningen en waterhuishouding aan de binnenduinrand geven extra stresses, maar ook de fluctuaties in grondwaterpeil door de dynamiek van het klimaat en de zeespiegelrijzing zullen grote invloed uitoefenen. De waterbalans van de duinen gaat structureel veranderen onder invloed van het klimaat. Hoe dit precies uitpakt op de kwel in de binnenduinrand is nog onzeker. Dit is een urgent probleem om snel op te pakken.

De waterkwaliteit van het Lekkanaal en het IJsselmeer komt onder druk te staan en door klimaatverandering wordt dit verergerd (chloride, temperatuur, eutrofiëring). Het Markermeer zou een goede optie zijn voor drinkwaterproductie, hier spelen echter ook twee grote bedreigingen: slibbelasting en zout (chloride, sulfaat).

3.2 Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben:

- De intensiteit van extreme buien zal toenemen. Dit leidt in het stedelijk gebied mogelijk tot water op straat.
- Onder het G+ en W+ scenario kunnen grondwaterstanden dalen, dit kan in de historische binnensteden tot verdergaand paalrot leiden.
- Hittestress zal toenemen als gevolg van de stijgende temperaturen.
- De kans op zomersmog zal door het vaker voorkomen van hittegolven toenemen, indien de emissies gelijkblijven. In de winter zal de kans op wintersmog afnemen in het G+- en W+-scenario.
- In toenemende mate zal (giftige) blauwalg in stedelijk water voorkomen (zie paragraaf 3.1.4).

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.2.1 Wateroverlast in stedelijk gebied

In alle scenario's neemt de intensiteit van de hevigste buien toe. Het aantal dagen met meer dan 15 mm neerslag neemt in alle scenario's toe, met name in het W-scenario (zie figuur 2.10). De stedelijke gebieden zijn niet ingericht op hevige buien.

De klimaatveranderingseffecten versterken de door de commissie WB21 geformuleerde opgaven voor het omgaan met water in het stedelijk gebied.

Bij hevige buien kan het huidige watersysteem (riolering + oppervlaktewater) in bebouwd gebied het water niet aan. Gevolg is het ontstaan van water op straat met als gevolg overlast of zelfs schade aan woningen en winkels. Deze hevige buien zullen vaker voorkomen (De bui die nu met een herhalingsdij van eens in de 10 jaar valt zal straks eens in de vijf jaar kunnen voorkomen). De afvoercapaciteit van het transportsysteem (riolering + watergangen) kan niet eenvoudig vergroot worden. Waterberging creëren buiten de stad is daarom vaak geen afdoende oplossing voor de problemen in de stad. Daarnaast zal de vuilemissie uit gemengde

rioolstelsels toenemen als de neerslagintensiteit toeneemt.

De wateroverlast die we op dit moment ervaren wordt vergroot door de toename van verhard oppervlak. Zoals uit de Welvaart en Leefomgeving en Nederland Later studies (CPB et al., 2006; MNP, 2007) blijkt zal dat aandeel verhard oppervlak in de toekomst alleen maar verder toenemen.

In de gemeente Bergen (Egmond aan Zee) en Beverwijk (Wijk aan Zee), zijn nu al problemen met wateroverlast omdat de gemeenten in een kom liggen en er geen oppervlaktewater in de buurt is. Dit wordt in de toekomst mogelijk erger.

Daarnaast is er een overstort op het strand, deze wordt uiterlijk 2015 gesloten (de provincie levert een financiële bijdrage) en men is nu bezig om het rioolsysteem aan te passen.

Adaptatieopgave

De afvoercapaciteit van de transportsystemen is niet eenvoudig te vergroten, daarom is meer ruimte nodig in de 'haarvaten' van het stedelijke watersysteem. Volgens de tris vasthouden, bergen, afvoeren moet het water opgevangen kunnen worden daar waar het valt. Dat kan door lokale berging van water of infiltratie in de bodem. De opgave ligt dus in de openbare en particuliere ruimte.

Om te voorkomen dat de wateroverlast verder wordt versterkt moet bij het herstructureren van wijken en bij de planning van nieuwe wijken rekening worden gehouden met de stedelijke wateropgave. Inpassing van water in de leefomgeving biedt daarbij kansen voor vergroting van de omgevingskwaliteit in de stad.

3.2.2 *Watertekort in de stad*

Paalrot in historische binnensteden op klei

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

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

Waterbeheer in Nederland is meestal oppervlaktewaterbeheer; het grondwater kan worden aangevuld door het in polders in te laten via kanalen, kleinere waterlopen en perceelsslotsen, desnoods geholpen door ondergrondse irrigatie door middel van drainbuizen. Er moet natuurlijk wel voldoende water aangevoerd kunnen worden via oppervlaktewatersystemen. In Noord-Holland wordt het grondwater op de meeste locaties aangevuld door kwel. De mogelijkheden tot voorraadvorming in grond- en oppervlaktewater worden door waterschappen onderzocht, zo ook door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. De problemen hebben niet zo zeer te maken met het aanleggen van een reservevoorraad water (want die is altijd in de buurt: IJssel- en Marker meer), maar met distributieproblemen.

Fluctuatie grondwaterstand

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

Adaptatieopgave

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

3.2.3 *Hittestress in de stad*

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

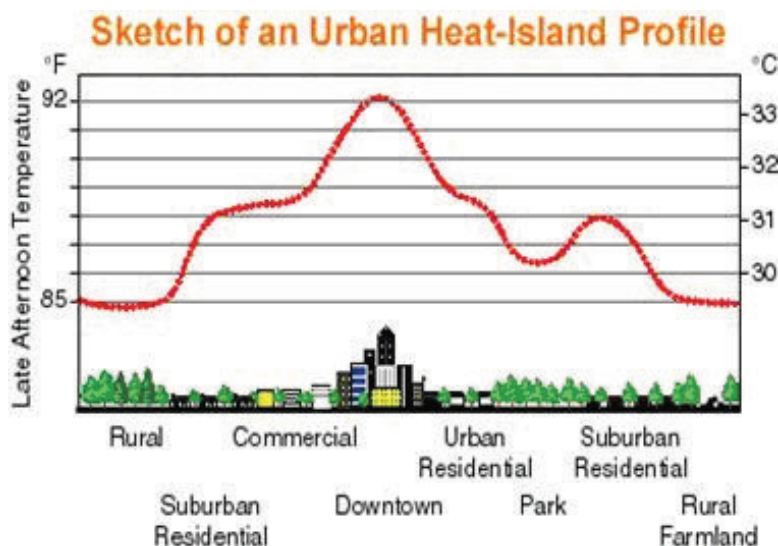
Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter geen metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om

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

Warmte eiland

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



Figuur 3.5 Schematische weergave van het temperatuur profiel van een 'Urban Heat Island'.

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

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

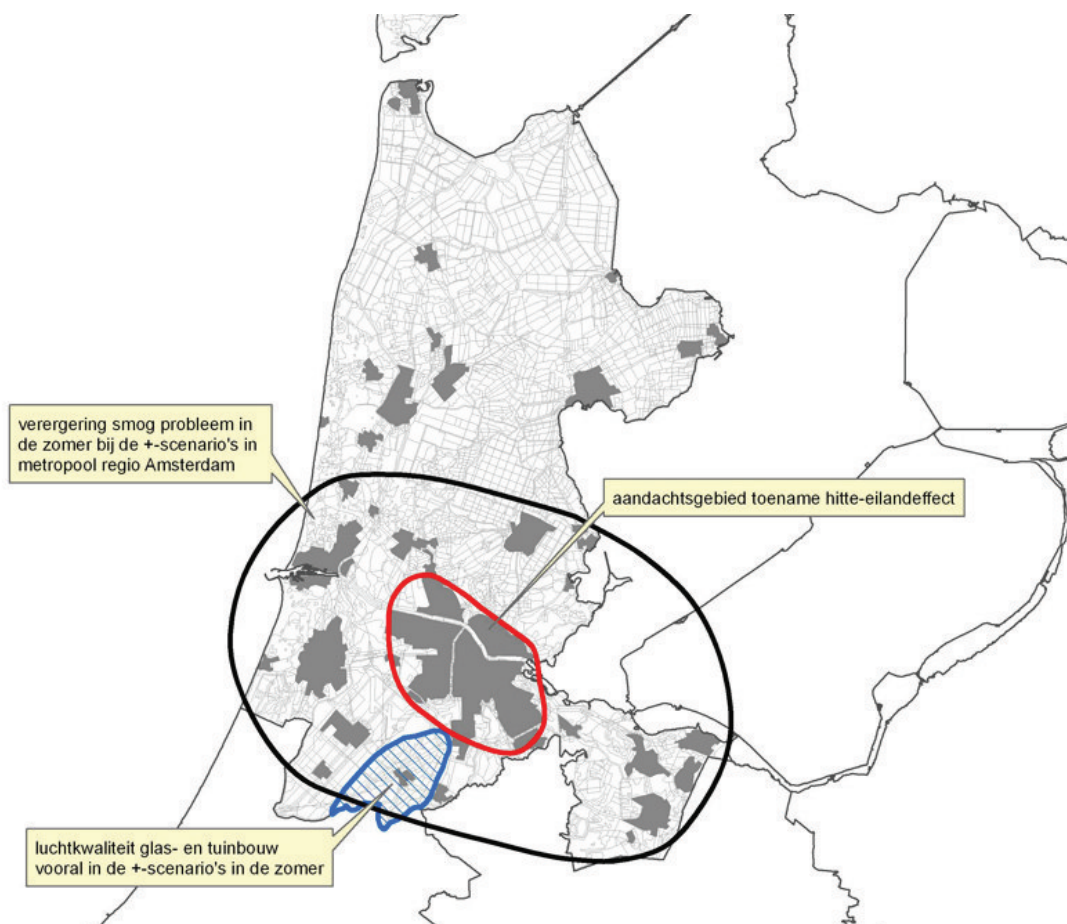
- In kleine dorpen zal er gemiddeld gezien nauwelijks een hogere temperatuur zijn t.o.v. het platteland. Echter op individuele dagen kan het verschil wel aanzienlijk zijn (hete dag met weinig wind)
- Hoe groter een plaats, hoe groter het hitte-eiland effect.
- In het proefschrift van L.A. Conrads, 1975 (Observations of meteorological urban effects. The heat island of Utrecht) staat een figuur over de relatie tussen de grootte van een stad en het maximale temperatuurverschil (op individuele dagen, dus niet gemiddeld over het jaar) met het platteland voor Europese steden (inclusief Amsterdam). Het is een logaritmisches verband. Enkele getallen ter indicatie: bij 100.000 inwoners is het 5,5 °C; bij 1.000.000 inwoners 7,5 °C (met een range van +/- 1,5 °C). In Utrecht

is bij een bevolking van 276.000 een maximaal effect van 8,0 °C gemeten, en in Amsterdam bij 870.000 inwoners een maximaal verschil van 8,7 °C.

- Wanneer er veel hoogbouw bij elkaar staat is het hitte-eiland effect groter (dus ook als dit aan de rand van een stad staat; in binnensteden komt vaak meer hoogbouw voor, dat is dan ook een van de redenen dat het stadseffect over het algemeen het grootst is in de binnenstad)
- Steden met brede straten, zoals bijvoorbeeld de Wibautstraat of de Servatistraat in Amsterdam, hebben een minder sterk hitte-eilandeffect.
- Daar waar veel groen en water is is het hitte-eiland effect gematigder (een voldoende groot stadspark laat daarom een dip in het stadseffect zien).
- Hoe meer wind, hoe gematigder het stadseffect is (dit effect is overigens maar klein, omdat de wind in een stad meestal snel wordt afgeremd, en bij hittegolven staat er over het algemeen niet veel wind).

Adaptatieopgave

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



Figuur 3.6 Aandachtsgebieden voor hittestress en luchtkwaliteit in het stedelijk gebied

3.2.4 Luchtkwaliteit

Weersomstandigheden zoals windrichting en zonneschijn bepalen in belangrijke mate de luchtkwaliteit door hun invloed op de aanvoer en vorming van verontreinigende stoffen. Zo vallen periodes met zomersmog (hoge ozonconcentraties) vaak samen met hittegolven (veel zonneschijn). Bij een toename van het aantal tropische dagen (maximum temperatuur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) in Nederland zal vooral in het W+ scenario bij gelijkblijvende

emissies de kans op zomersmog groter worden. In de winter neemt de kans op wintersmog af in de G+ en W+ scenario's, doordat vaker relatief schone lucht wordt aangevoerd uit westelijke richting. (Bron: KNMI, 2006. Brochure klimaatscenario's)

3.3 Landelijk gebied

In deze paragraaf worden de effecten, die in het landelijk gebied in zijn geheel optreden, beschouwd. In het landelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

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

In paragraaf 3.4 en 3.5 worden respectievelijk landbouw en natuur apart behandeld.

3.3.1 Wateroverlast Landelijk gebied

Wateroverlast landelijk gebied: winter

De 10-daagse neerslagsom zal toenemen. Hierdoor kan het landelijk gebied, met name in de winter, meer wateroverlast krijgen. Daarnaast zullen extreme dagsommen ook toenemen. Dit kan voor lokale wateroverlast in het landelijk gebied zorgen. In veel gevallen wordt de berging echter in een gebied gerealiseerd door een peilstijging op het aanwezige oppervlaktewater. Er komt dan dus geen land onder water te staan en dus is er geen extra schade.

De toename van de 10-daagse som is in het G-scenario van 4% en het W+-scenario 12%. Het G-scenario komt ongeveer overeen met het Middenscenario 2050, waarmee is gerekend om de wateropgave t.b.v. het NBW vast te stellen. Dit betekent dat rekening moet worden gehouden met een verzwaring van de wateropgave omdat uitbreiding van de afvoercapaciteit niet is toegestaan. De voorkeur om dit te realiseren door vasthoudmaatregelen kan betekenen dat het percentage open water moet worden vergroot, bijv. door verbreding van de kleine sloten. Vasthouden van water op het land (kortstondig plassen op het land als gevolg van gestremde ontwatering) is ook een optie maar soms zowel bij akkerbouw en bollenteelt (kans op forse natschade) als beheersgrasland (problemen met broedende vogels) minder gewenst.

Veel waterschappen zijn bezig, vóór 2015, hun watersysteem WB21-proof te maken. In veel gevallen wordt hierbij overgedimensioneerd. De KNMI-scenario's geven aan dat er meer water te verwerken zal zijn ten opzichte van het midden-scenario van WB21. De adaptatiestrategie van WB21 moet versterkt ingezet worden. Bij overdimensionering zal deze extra hoeveelheid water voorlopig nog goed te verwerken zijn. De grootte van het overlast is mede afhankelijk van de hoeveelheid verhard oppervlak in het gebied, bijvoorbeeld in de glastuinbouwgebieden in het Westland. Bij aanwezigheid van veel verhard oppervlak zullen waterbergingsvoorzieningen vaker worden gebruikt. Dit met mogelijk extra schade aan de landbouw als gevolg (afhankelijk van gewas en duur en tijd van optreden).

Adaptatieopgave

De zoekgebieden voor waterberging handhaven; deze zijn bij het W en W+ scenario mogelijk voor 2050 ontoereikend. In gebieden met veel verhard oppervlak (kassen in Haaglanden, polders in binnensteden) zullen innovatieve oplossingen nodig zijn om meer tijdelijk bergen bij de bron versterkt door te voeren (denk aan extra berging in regenwaterbassins bij en onder kassen).

Wateroverlast landelijk gebied: zomer

Hevige buien in de zomer worden nog heviger. Hierdoor zal er meer wateroverlast zijn in het groeiseizoen

Er zullen intensere buien voorkomen, die vaker leiden tot water op het land of te veel water in de wortelzone (verzadiging van de bodem) omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem en/of de ontwateringcapaciteit onvoldoende is. Bij grasland leidt dit tot het verloren gaan van snedes en bij bouwland tot geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Ook recreatieterreinen (bijvoorbeeld campings of evenemententerreinen) zullen

mogelijk vaker te maken hebben met wateroverlast.

3.3.2 Watertekort in het landelijk gebied

Alle scenario's laten een opwarming zien in 2050. Deze opwarming varieert in de zomer van 0,9 °C tot 2,8 °C, ten opzichte van het klimaat in 1990. De opwarming heeft een verdampingstoename van 3% tot 15% als gevolg. Kanttekening is hierbij dat het CO₂ effect op de huidmondjes van vegetatie niet is meegenomen bij het inschatten van de verdampingstoename. In het W- en G-scenario neemt de gemiddelde neerslag per zomerhalfjaar toe. Dit geeft aanleiding tot aanpassingen die in het verlengde liggen van maatregelen die in de huidige situatie ook worden overwogen.

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

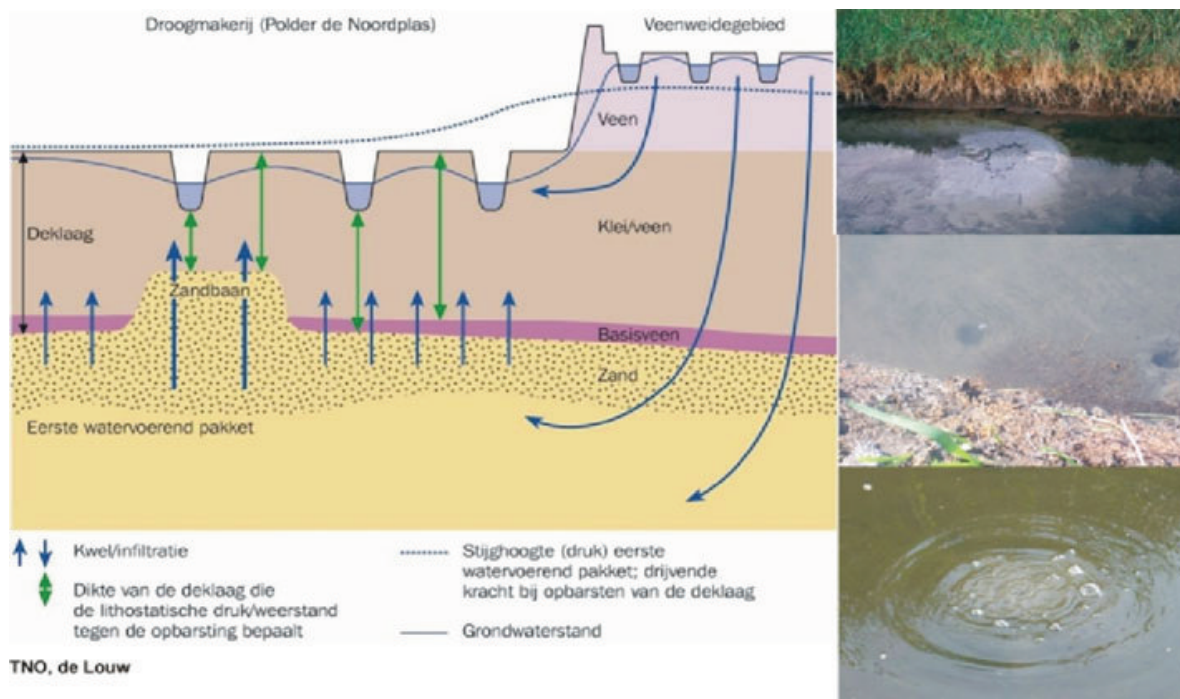
3.3.3 Toename interne verzilting in het landelijk gebied

Bij lage grondwaterstanden neemt de kweldruk toe. Het zoute water neemt als het ware de plaats in van het zoete water. Daarnaast stijgt de zeespiegel. Hierdoor reikt zoutindringing via de riviermond steeds verder landinwaarts én stijgt eveneens de kweldruk.

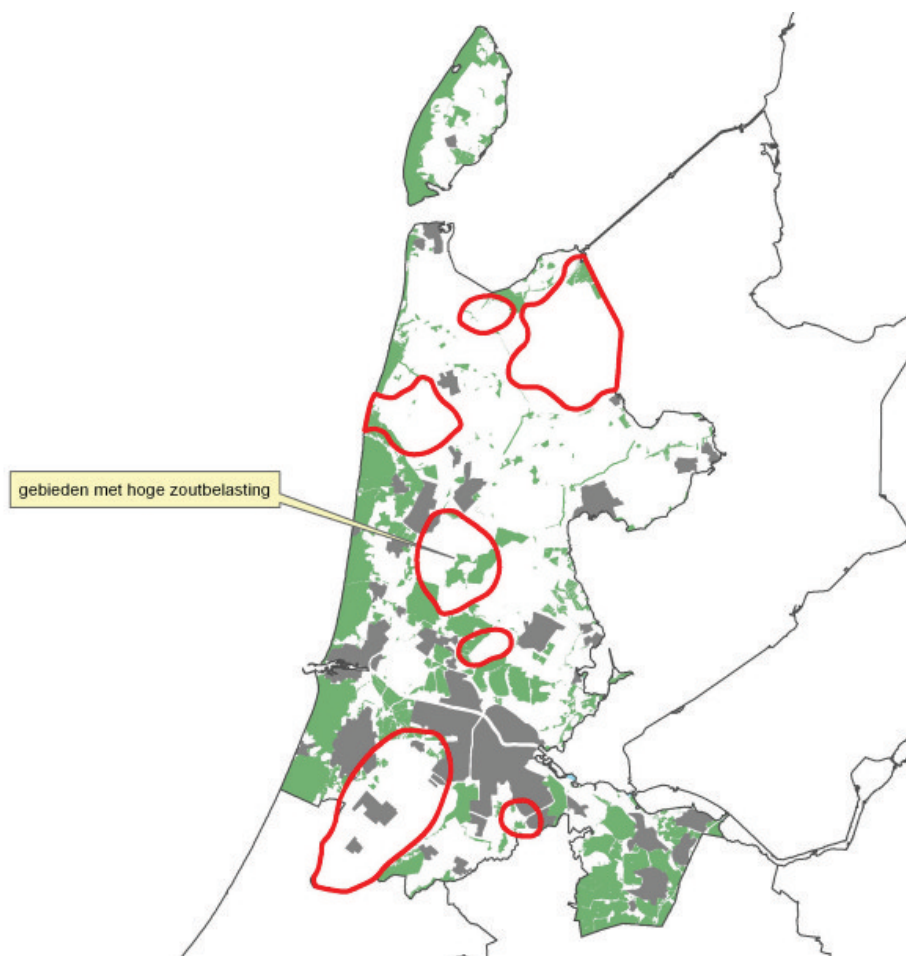
In veel polders in laag-Nederland treedt kwel op. De gevolgen van deze 'natuurlijke' verzilting worden tegengegaan door met zoet water 'door te spoelen'. Vanuit de rivieren en het IJsselmeer wordt op verschillende plaatsen zoet water ingelaten. Bij langdurige droogte is onvoldoende water beschikbaar om de verzilting tegen te gaan. De afvoer van de Rijn is laag en de vraag vanuit andere functies neemt toe.

Op dit moment moeten waterschappen al grote inspanningen doen, met name het Hoogheemraadschap van Rijnland, om verzilting tegen te gaan. Verzilting kan (grote) gevolgen hebben voor de landbouw, bomenbouw, glastuinbouw en natuurgebieden.

In de droogmakerijen komen wellen en opbarstingen van zoute kwel voor (zie figuur 3.7).



Figuur 3.7 Brakke kwel in een polder die geconcentreerd uittreedt via zogenoemde wellen; verticale doorsnede met schematische voorstelling van de grondwaterstroming (links) en drie voorbeelden uit de praktijk (rechts) (De Louw, 2007)



Figuur 3.8 Gebieden met een hoge zoutbelasting in de provincie Noord-Holland

Adaptatieopgave

Vermoedelijk zullen we in een dynamische zoet - licht verzilte omgeving blijven, waarbij in de zomer de verzilting ten opzichte van nu toeneemt. De vraag is of de natuurwaarden en de functies die we nu nastreven nog reëel zijn.

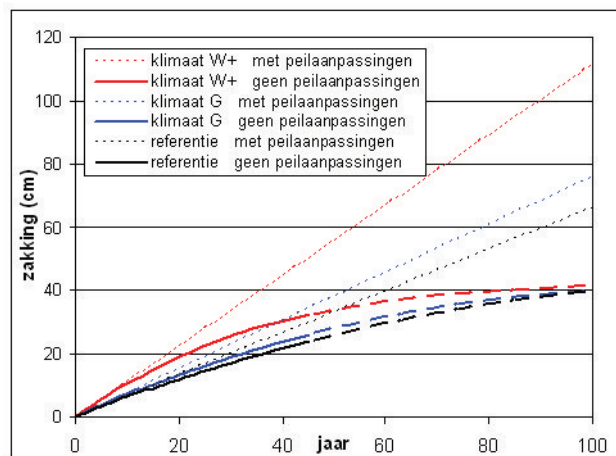
In toenemende mate ontstaat daarnaast de vraag of verzilting op bepaalde plaatsen moet worden toegelaten en de gevoelige functies zich moeten aanpassen. Het is hierbij van belang of permanente verzilting wordt nagestreefd. Dit is namelijk beter voor de ecologie dan incidentele verzilting. Permanente verzilting is echter moeilijker te realiseren.

Maaiveldaling

De daling van het maaiveld door veenafbraak wordt door de klimaatverandering versneld. Daarbij zijn 2 mechanismen betrokken:

- door het groter neerslagtekort in de zomer bij de +-scenario's droogt de bovengrond meer uit en dalen de grondwaterstanden in de loop van de zomer tot grotere diepte.
- door de temperatuurstijging van 1 à 2 graden neemt de afbraaksnelheid toe (tot 25%).

In figuur 3.9 (ontleend aan Jansen e.a., 2007) is te zien wat de mogelijke effecten zijn. Daarbij is onderscheid gemaakt in wel of niet aanpassen van de drooglegging aan de maaiveldsdaling. In het geval de drooglegging niet wordt aangepast zal de maaiveldsdaling in de loop van de tijd afnemen omdat de drooglegging steeds minder wordt.



Figuur 3.9 Maaiveld daling als gevolg van peil aanpassingen (Jansen e.a., 2007)

3.4 Landbouw

Klimaatverandering kan potentieel een grote invloed hebben op de fysieke landbouwopbrengsten in Nederland. Het uiteindelijke effect hangt af van verscheidene factoren

- stijging temperatuur: zorgt voor toename potentiële groeiseizoenen. Bij grasland zal het groeiseizoen (en daarmee de (potentiële) productie) toenemen. Bij gewassen zoals tarwe, maïs, aardappelen verloopt de ontwikkeling sneller bij hogere temperaturen. Bij gebruik van dezelfde cultivars zou daar de lengte van het groeiseizoen afnemen (en daarmee de potentiële productie.)
- neerslag: bij afname van de neerslag treedt er meer droogtestress op en daalt de productie (G+ en W+) als er niet geïrrigeerd wordt. In de G en W scenario's neemt de droogte stress niet of nauwelijks toe.

Het netto effect (opbrengstdaling of -stijging) van de bovenstaande factoren verschilt per scenario en per gewas en per productie situatie.

Veranderingen in extremen kunnen ook aanzienlijke effecten hebben op de fysieke opbrengsten. In alle scenario's neemt de extreme neerslag toe, met meer kans op wateroverlast of andere schade aan gewassen. Ook de kans op hittegolven neemt in alle scenario's toe. De kans op langdurige droge perioden neemt toe in het G+ en W+ scenario. Voor het G en W scenario is dat nog niet duidelijk. Hitte of langdurige droogte kunnen groeiachterstand of droogteschade aan gewassen veroorzaken. Zware regenval kan velden tijdelijk onberijdbaar maken voor (oogst)machines of gewassen tijdelijk onder water zetten waardoor schade optreedt. Schrikwekkende voorbeelden voor de aardappelteelt in het verleden zijn bijvoorbeeld de jaren 1989 en 2000. In 1989 leidde langdurige vernatting tot 40% opbrengstreductie van de consumptie- en zetmeelaardappelen door verrotting. In het jaar 2000 was er een opbrengstderving van 10%.

3.4.1 Vernatting: winter

Structurele natschade in de grondgebonden landbouw

In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag per winterhalfjaar toe; 4% in het G-scenario tot 14% in het W+ scenario. De effecten op de hoogste grondwaterstanden zullen daarom in het G-scenario beperkt, maar in het W+ scenario aanzienlijk zijn. Voor alle scenario's geldt echter dat door aanpassing in de drainageafstand (bij vervanging van drains) de effecten op gedraineerde gronden goed kunnen worden opgevangen

Incidentele natschade in de grondgebonden landbouw

Door toename van de hoge neerslagpieken zal er frequenter een situatie ontstaan dat water op het land komt te staan en oppervlakkig afstroomt. Buiten het groeiseizoen is dat voor de landbouw niet zo bezwaarlijk maar de kans op piekbelasting en daardoor het afspoelen van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen op het oppervlaktewater nemen wel toe, vooral bij het W-scenario. Dit leidt tot productieverlies.

3.4.2 Droogteschade grondgebonden landbouw

Vooraf in de de W+ en G+ scenario's neemt de droogteschade in de zomer toe. Dit heeft gevolgen voor de landbouw, bijvoorbeeld voor de gewassen die in Nederland economisch geteeld kunnen worden.

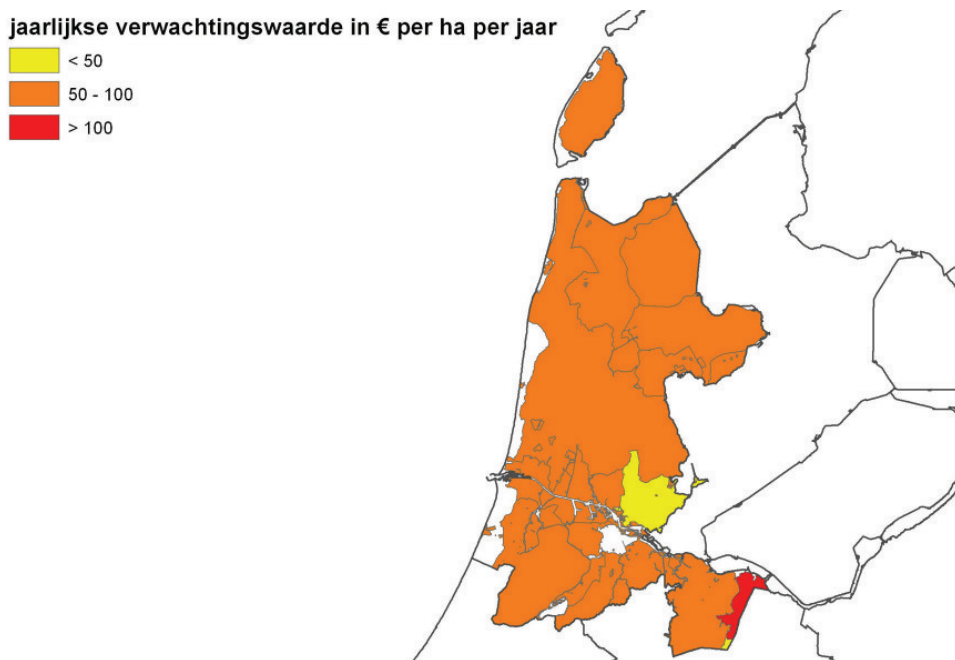
Kleigebieden in Noord-Holland: toename droogteschade

In peilbeheerste kleigebieden met laagsalderende gewassen (gras, granen) is beregening momenteel niet rendabel. De verwachting is dat dit zo blijft. Het gevolg is dat de droogteschade van die gewassen zal toenemen maar door de verhoging van het CO₂-gehalte neemt de watergebruiksefficiëntie van gewassen toe, waardoor de werkelijke productie wellicht op peil kan blijven. Hoogsalderende gewassen worden nu al beregend en de wateraanvoerbehoefte voor beregening zal bij alle klimaatscenario's, en vooral bij scenario W+, toenemen. Indien daaraan niet kan worden voldaan zullen bedrijven hun eigen watervoorziening gaan regelen via opvang van het winterneerslagoverschot. In regio's met brakke/zoute kwel (voornamelijk droogmakerijen) zal de doorspoelbehoefte, door vergroting van de kwel en frequenter opbarsten van de deklaag vanwege autonome groei, eveneens toenemen. Incidentele verzilting is funest voor de slootecologie. Het alternatief voor doorspoelen is het laten verbrakken van het oppervlaktewater in de loop van de zomer. Daardoor wordt beregening bemoeilijkt of wordt onmogelijk.

Door het groter neerslagtekort in het zomerhalfjaar bij de +-scenario's neemt, zoals gezegd, de droogteschade in de landbouw toe. Met het instrumentarium voor de zogenoemde Droogtestudie (www.droogtestudie.nl) zijn de effecten van der 4 klimaatscenario's op de jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW, zie figuur 3.9) van de droogteschade in 2050 bepaald. Vergelijking met de huidige situaties helaas niet mogelijk omdat is gerekend met arealen, fysieke opbrengsten en prijzen van landbouwproducten in 2050 maar aangenomen kan worden dat het G-scenario qua droogteschade ongeveer overeen komt met het huidige klimaat. Hieruit blijkt dat in de meeste districten de JVW van de droogteschade per ha landbouwgrond tussen 50 en 100 euro bedraagt. De oorzaak van deze relatief lage schadebedragen is dat is gerekend met de mogelijkheid van beregening.

Voor het Hollands Noorderkwartier zijn meer gedetailleerde berekeningen van de opbrengstderving door een tekort aan bodemvocht uitgevoerd (Nelen en Schuurmans, 2007). Hieruit blijkt dat bij het W+-scenario de droogteschade met zo'n 30% kan toenemen t.o.v. het G-scenario. Dit is niet-realistische schatting omdat er bij de berekeningen van is uitgegaan dat er niet wordt beregend.

Een realistische aanname is dat meer verdamping zal leiden tot meer beregening, bij vooral bollen. De infrastructuur kan deze grotere vraag wel aan (m.u.v. de kop van Noord-Holland) maar de beschikbaarheid van Rijnwater is een aandachtspunt (zie paragraaf 3.1.3) .



Figuur 3.10 Jaarlijkse verwachtingswaarde droogteschade landbouw. W+scenario minus G-scenario

Veenweidegebieden in Noord-Holland: toename droogteschade

In veenweidegebieden moet de grondwaterstand zo hoog mogelijk zijn om veenafbraak door oxidatie tegen te gaan. Bij een toename van het neerslagtekort in de zomer treedt meer droogteschade op en zal de grondwaterstand dieper uitzakken en het maaiveld verder dalen. Daardoor neemt de aanvoerbehoefte voor peilhandhaving toe maar ook verloopt het proces van veenafbraak sneller. Door de temperatuurstijging van 1 à 2 graden wordt dit proces nog eens aanzienlijk versterkt. Vasthouden aan peilhandhaving zal ten koste gaan van grotere watertekorten elders.

Wateraanvoer in het veen is erg lastig. In watergangen zit namelijk veel slib, waar het water moeilijk doorheen kan. Daarnaast is er in veen nauwelijks sprake van horizontaal watertransport.

Binnenduintrand

In deze gebieden worden veel bollen geteeld die voor hun aanvullende watervoorziening voor een belangrijk deel afhankelijk zijn van wateraanvoer en kwel vanuit de binnenduintrand. Door de verhoging van de verdamping neemt de watervoorzieningsbehoefte toe. De effecten op de grondwateraanvulling van de duinen zijn onvoorspelbaar waardoor ook de effecten op de kwel naar de binnenduintrand moeilijk te voorspellen zijn. De toegenomen wateraanvoerbehoefte zal daarom moeten worden gedekt uit vergroting van de wateraanvoercapaciteit. De beschikbaarheid van water vanuit de Rijn is minder een probleem omdat de behoefte aan water vroeger in het seizoen valt vergeleken met andere landbouwgewassen.

3.4.3 Verzilting in de landbouw

De komende decennia zal in laaggelegen delen van Nederland sprake zijn van verdere verzilting van grond- en oppervlaktewater. Agrariërs die afhankelijk zijn van zoetwater verwachten dat zij van verzilting in veel gevallen nadelige effecten zullen ondervinden. Lang niet alle verwachte verzilting is echter te relateren aan klimaatverandering: menselijk ingrijpen in de Delta (Kierbesluit, maatregelen rond het Volkerak-Zoommeer) is wellicht ingrijpender.

In sommige gevallen vormt verzilting echter een minder grote bedreiging dan vaak wordt gedacht. Door het waterbeheer op perceelsniveau aan te passen kan meer neerslagwater in de bouwvoor in 'zoetwaterlenzen' worden opgeslagen dan nu gebeurt. Ook wordt in Nederland een onderzoeksproject opgezet waarin veldexperimenten worden gedaan met innovatieve drainagesystemen waarmee de intensiteit van de ontwatering door de beheerder zelf (een boer) kan worden geregeld. Hierdoor kan (onder meer) de vorming van zoetwaterlenzen structureel worden bevorderd. Ook wordt gedacht aan het later omschakelen van winter- naar zomerpeil. Ook het afvoeren van zout kwelwater dat op geconcentreerde, specifieke locaties (bijvoorbeeld in slotbodems) aan de oppervlakte komt kan leiden tot vermindering van de verzilting, en daarmee verbeterde groeiomstandigheden voor veel grondgebonden gewassen. Dit soort maatregelen, die nog lang niet allemaal zijn uitontwikkeld, leiden ertoe dat zuiniger met zoetwater wordt omgesprongen dan tot nu toe wordt gedaan.

Een groter punt van zorg is het feit dat de mogelijkheden tot wateraanvoer in de zomer beperkt zullen zijn, terwijl het neerslagtekort in de zomer naar verwachting structureel zal toenemen, zeker in scenario's waarin de effecten van veranderende circulatie (G+, W+) zijn verdisconteerd.

De zouttolerantie van diverse gewassen is overigens groter dan vaak wordt aangenomen, zeker in een vergevorderd groeistadium.

3.4.4 Ziekten en plagen in de landbouw

Vernatting heeft ook een belangrijk effect op de toename van ziekten en plagen.

Het is echter moeilijk aan te geven hoe groot deze effecten zijn. De schade hangt sterk af van meerdere factoren, zoals het groeistadium van de plant, de omgevingstemperatuur, verspreidingsmogelijkheden, etc. Op zich hoeft een ziekte voor de plant of het gewas niet erg te zijn, mits ze goed overleven en de schade of productiederving binnen aanvaardbare grenzen blijft. Figuur 3.10 geeft de aandachtsgebieden voor ziekten en plagen weer.

Gras

Dit is redelijk bestand tegen vernatting. Wel kunnen in het najaar problemen optreden bij het maaien, als de velden langere tijd onder water staan. Dit zal voornamelijk op kleigronden (IJsselregio) een probleem vormen. Droogte is geen echt knelpunt. Wel neemt de kans op uitspoeling van mineralen op droge gronden toe. Klimaatverandering verhoogt wel de ziektedruk (nematoden, engerlingen) in graslanden.

Maïs

Dit gewas is gevoelig voor verdroging, waardoor productieverlies kan optreden. De ziekten die toenemen zijn: maïswortelboorder en nematoden (zoals Meloidogyne).

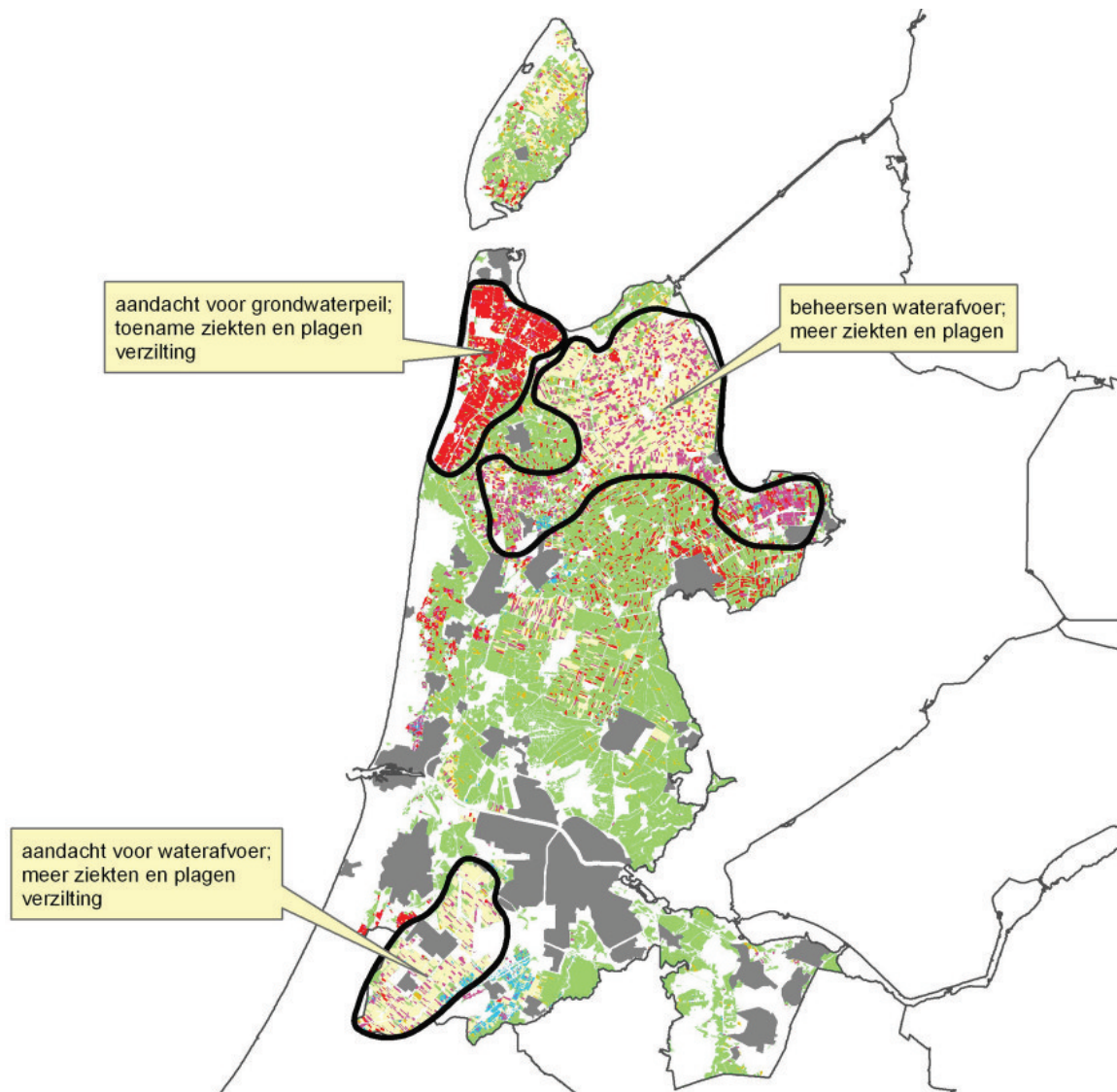
Aardappelen

Dit gewas is zeer gevoelig voor vernatting. Dit wordt een probleem wanneer de aardappels meer dan 24 uren onder water staan. Aardappelknollen gaan dood en verrotten. Op kleigronden is dit risico groter dan op zandgronden.

Ziekten waarvoor aardappelen zeer gevoelig zijn, zijn: schimmels (zoals Phytophthora), bacteriën (bruinrot), en aaltjes (waaronder stengelaaltjes) en de luisdruk.

Boomgaarden

Deze komen door de zachter wordende winters steeds vroeger in bloei. Daardoor neemt de gevoeligheid voor late vorst toe en kan asynchronisatie optreden met betrekking tot de aanwezigheid van insecten (verantwoordelijk voor de bestuiving van bloemen). Zware regenbuien en hagel kunnen vruchten beschadigen. Hierdoor neemt de kans op infecties toe. Vernatting verhoogt eveneens de gevoeligheid voor schimmelziekten (zoals schurft bij appel).



Figuur 3.11 Aandachtsgebieden landbouw (ziekten en plagen gerelateerd aan vernatting en verzilting)

Glastuinbouw

De glasteelt is gevoelig voor hagelschade. Daarnaast zal de ziektedruk toenemen. In de intensieve tuinbouw is over het algemeen sprake van monocultuur. Hierdoor neemt in de kas het risico op ziekten en plagen met de jaren toe. Het overstappen op wisselteelten en het werken met rotaties van gewassen is op dit moment lastig, omdat de teelten nogal specialistisch zijn (zowel wat betreft de vakkennis van de telers als de gebruikte technieken en oogstapparatuur). Switchen tussen twee verwante teelten (zoals paprika en tomaat) helpt echter niet voldoende om de ziektedruk te verminderen, omdat beide gewastypen 'gevoelig zijn voor dezelfde ziektes'.

Bieten

Verhoging van de temperatuur en droogte kunnen een positief hebben op suikerbieten, omdat het suikergehalte toeneemt en daarmee de kwaliteit. De ziektedruk neemt echter ook toe, met name door toename van de bietencysteaaltjes bij hogere waterstanden.

Granen

Dit gewas is gevoelig voor zware regen en hagelschade, met name aan het eind van het groeiseizoen. Dan kunnen de bijna afgerijpte aren makkelijk omknakken (legering). Klimaatverandering zal ook de ziektedruk verhogen. Voor granen zijn dat met name: schimmelziekten en nematoden (zoals Meloidogyne).

Bollen

Door vernatting zal de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen en nutriënten naar het oppervlaktewater en grondwater toenemen. Daarnaast heeft het een effect op de toename van schimmelziekten, met name Sclerotinia, Rhizoctonia, Pythium en Stromatinia. Door de temperatuurverhoging zal ook de ziektedruk door aaltjes toenemen.

Adaptatieopgave

De incidenten en extremen zijn dus voor de landbouw de grootste bedreiging van de klimaatverandering. De kernvraag voor het ontwikkelen van adaptatiestrategieën is daarom: hoe richt je de omgeving zó in, dat deze veerkrachtig en robuust genoeg is om de extremen van klimaatsverandering op te vangen?

3.4.5 Aquacultuur

De kansen van (zoute) aquacultuur, in Nederlandse kustregio's worden steeds meer onderkend, gegeven de verwachte toename van de invloed van brak en/of zout grond- en oppervlaktewater (Stuyt e.a., 2006). Deze toename is een mogelijk effect van het toelaten van Estuariene Dynamiek in de Deltawateren (Kierbesluit) en van klimaatverandering die leidt tot lagere zomerafvoeren van grote rivieren, en tot zeespiegelstijging. Welke mogelijkheden zijn er voor het ombuigen van een bedreiging (weren van brak/zout water) naar een kans (benutten van brak/zout water)? Aquacultuur kan worden beschouwd als katalysator voor de ontwikkeling van een breder ruimtelijk en maatschappelijk alternatief voor de teelt van traditionele grond-gebonden gewassen.

Aquacultuur is 'de watervariant' van landbouw: de kweek van planten en dieren in water: schaal- en schelpdieren, vissen en andere aquatische organismen als algen. Het gaat om culturen van vis, schaaldieren (krabben, garnalen, kreeftachtigen), schelpdieren (mosselen, oesters, kokkels), wormen en andere maar ook om minuscule tot macroscopische wieren en zelfs koralen. Door het stellen van randvoorwaarden en het wegnemen van onnodige belemmeringen wil zij verdere groei van de sector op een duurzame wijze mogelijk maken. Duurzame ontwikkeling waarbij gezocht wordt naar een goede balans tussen 'people, planet en profit' staat bij de ontwikkeling van het beleid centraal: aquacultuur moet een stabiele, duurzaam producerende bedrijfstak worden die bijdraagt aan de economische ontwikkeling, zowel op het land als in de kustgebieden.

Beleid met betrekking tot aquacultuur moet gericht zijn op het ontwikkelen van economisch gezonde bedrijfstakken met productiemethoden die de natuurwaarden respecteren en waar mogelijk versterken. Er wordt immers gestreefd naar een aquacultuursector die gebaseerd is op de principes van maatschappelijk verantwoord ondernemen, economisch rendabel is, ecologisch verantwoord opereert en kan rekenen op brede maatschappelijke acceptatie (People, Planet, Profit). De Nederlandse aquacultuursector moet duurzaam zijn, al dan niet grondgebonden en passen in de Nederlandse context (o.a. plattelandsontwikkeling). De 'scope' van het onderzoek was nationaal, maar met regionale invulling.

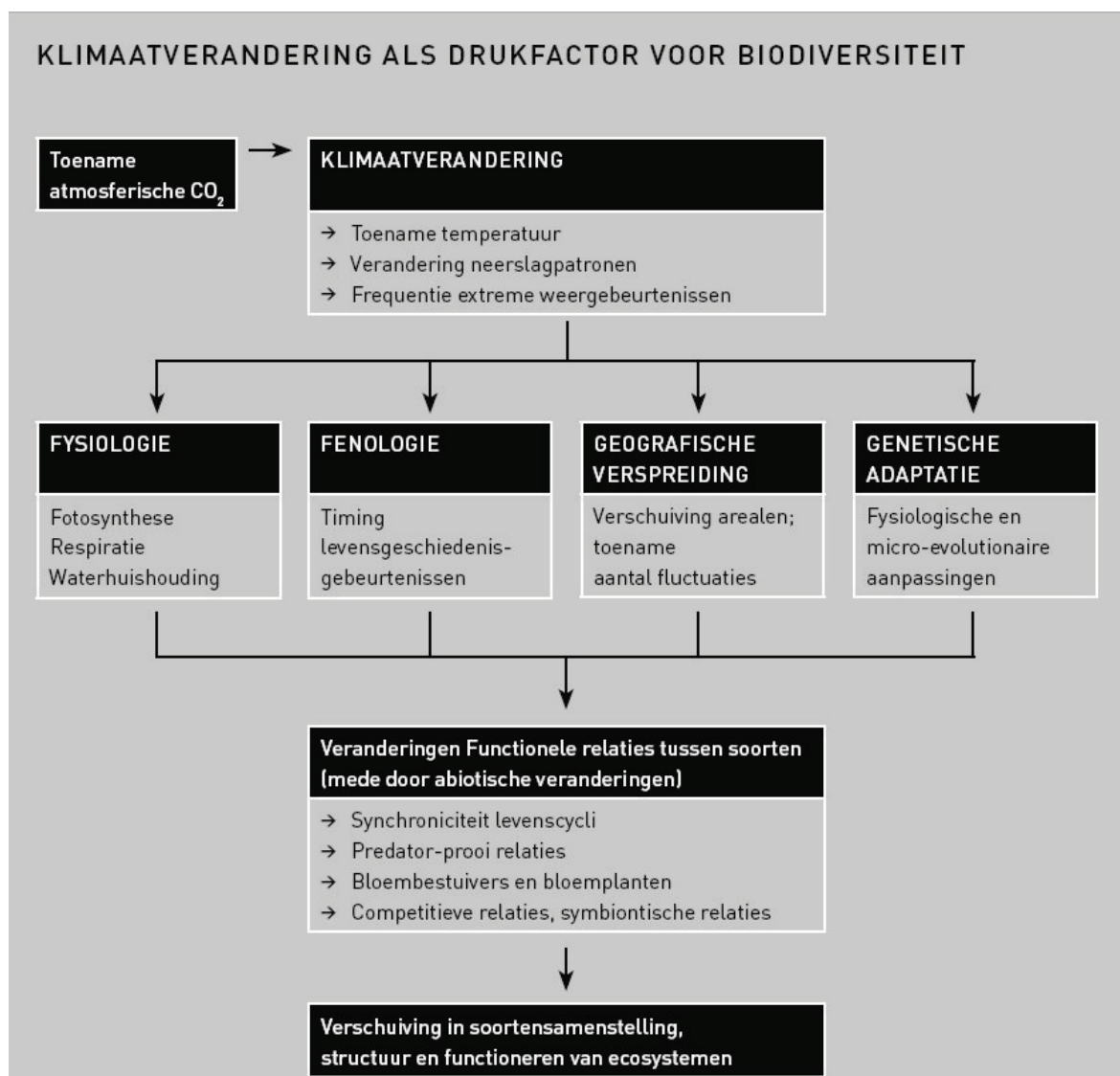
De kansen, belemmeringen en aandachtspunten van zilte aquacultuur ten gevolge van klimaatverandering

zijn door Alterra in een uitgebreide analyse op een rij gezet. Zij worden bepaald door economie, regelgeving, technologie en imago. De technologie is volop in ontwikkeling. Regelgeving, gebrekkige samenwerking in productieketens en het ontbreken van een eenduidige definitie van ‘aquacultuur’ werken echter belemmerend. Ontwikkeling en export van technologie biedt Nederland veel kansen; die van nicheproducten lijken gering. Bulkproductie biedt wegens gebrek aan ruimte en hoge arbeidskosten nauwelijks perspectief. Veel aanbevelingen bestaan al langer en worden inmiddels via diverse kanalen geregeld herhaald. Er is daarom behoefte aan regie om aanbevelingen in harmonie met betrokkenen in concrete projecten te vertalen en deze daadwerkelijk uit te voeren.

3.5 Natuur

3.5.1 Effecten op natuur - algemeen

Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie, de fenologie, de geografische verspreiding en de genetische adaptatie van soorten (zie figuur 3.12), maar ook op de abiotische omstandigheden in hun leefgebied. Al deze veranderingen zullen leiden tot veranderingen in functionele relaties tussen soorten. Het gevolg is dat de soortensamenstelling, de structuur en daarmee ook het functioneren van ecosystemen zal veranderen.



Figuur 3.12 Samenvatting process die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000; uit Vos et al., 2007)

Klimaatverandering zal voor de Nederlandse natuur naar verwachting een aantal belangrijke gevolgen hebben. Deze worden in onderstaande paragrafen nader toegelicht en gespecificeerd voor Noord Holland.

- **Versterkte verdroging:** verdroging speelt al decennia in Nederland en is gedefinieerd als een door menselijk handelen veroorzaakt structureel aanvullingstekort van het grondwater. De gevolgen van bestaande verdroging worden versterkt door klimaatverandering. Verwacht wordt dat frequentie, lengte en intensiteit van droogteperioden toenemen. Hierdoor zullen de negatieve effecten van verdroging op grondwaterafhankelijke natuur versterkt worden. Een afgeleid effect van verdroging in laag Nederland is verzilting. In droge perioden neemt brakke kwel in veel zeekleipolders toe. Wanneer dit onvoldoende gecompenseerd kan worden door de aanvoer van zoet water, treedt verzilting op. Te hoge zoutconcentraties kunnen problemen veroorzaken in zoetwaterafhankelijke natuur, zoals moerasheide en zwakgebufferde sloten (Paulissen et al., 2007).
 - **Periodieke vernatting:** De verwachting is dat er meer intense buien optreden, waardoor gebieden vaker en langer zullen inunderen dan nu het geval is. Overstroming met regenwater heeft naar verwachting beperkte effecten op de vegetatie, hoewel diepe inundatie tijdens het groeiseizoen negatief kan uitpakken. Voor fauna (m.n. insecten) kunnen inundaties tot verdrinking leiden. Inundatie met oppervlaktewater kan ingrijpende gevolgen hebben, bijvoorbeeld als gevolg van interne eutrofiëring (Lucassen, 2004).
 - **Biodiversiteit:** Een ander klimaat heeft tot gevolg dat de geschikte klimaatzone voor soorten naar het noorden of oosten verschuift. Dit wordt primair door temperatuurstijging veroorzaakt. Maar ook bijvoorbeeld de neerslag en verzilting kan gunstig of ongunstig zijn voor soorten, wat uiteindelijk kan bijdragen aan het verschuiven in areaal. Deze effecten worden nu al in het veld waargenomen. Dit betekent op Europese schaal dat voor veel soorten hun leefgebied in het zuiden van hun verspreidingsgebied ongeschikt zal worden, en ten noorden/oosten van hun huidige verspreidingsgebied nieuw habitat beschikbaar komt. Of soorten in staat zijn om dit habitat ook daadwerkelijk te koloniseren is afhankelijk van de versnippering van habitat en het dispersievermogen van de soort (de afstand die een soort af kan leggen, op zoek naar nieuw voortplantingshabitat; zie figuur 3.13). De mate waarin soorten zich kunnen aanpassen en verplaatsen hangt echter ook samen met de snelheid waarmee het klimaat zal veranderen. De algemene wetenschappelijke verwachting is afname van de biodiversiteit, er zullen meer soorten verdwijnen dan dat er zullen komen. Om dit effect zo klein mogelijk te houden en verschuiving van soorten optimaal mogelijk te maken is een goed werkende en complete EHS noodzakelijk.
- Een ander aspect van een ander klimaat met meer extremen, is dat soorten te maken zullen krijgen met grotere aantalsfluctuaties, en de kans op uitsterven van lokale populaties, met name in kleine natuurgebieden, groter wordt. Grote aaneengesloten natuurgebieden zijn belangrijk voor het overleven van soorten. De oppervlaktebehoefte van soorten voor duurzame populaties of sleutelgebieden zal voor soorten fors toenemen, ook in het geval van "neutrale" soorten (soorten in het groene gebied in figuur 3.13). Het behouden of creëren van goed verbonden natuurgebieden is ook om deze reden van belang. Het creëren van interne heterogeniteit binnen (grote) natuurgebieden (nat-droog, open-beschaduwde) kan soorten ook helpen om extreme weersomstandigheden beter te overleven, en de grote aantalsfluctuaties te dempen. Voor een compleet overzicht voor adaptatiestrategieën wordt verwezen naar het overzicht in paragraaf 3.5.3.

Gebruikt klimaatscenario en variabelen

Voor het aangeven van de effecten van klimaatverandering op natuur is gebruik gemaakt van de resultaten uit het BRANCH project. In dit project zijn voor zo'n 400 soorten de klimaatzones waar een soort nu voorkomt ("klimaatvelop") gecorreleerd met een aantal klimaat-variabelen (tabel 3.2). Met de invoer van een nieuw klimaatscenario in het model kunnen met dit model de verwachte klimaatveloppen voor deze soorten worden gegeneerd.

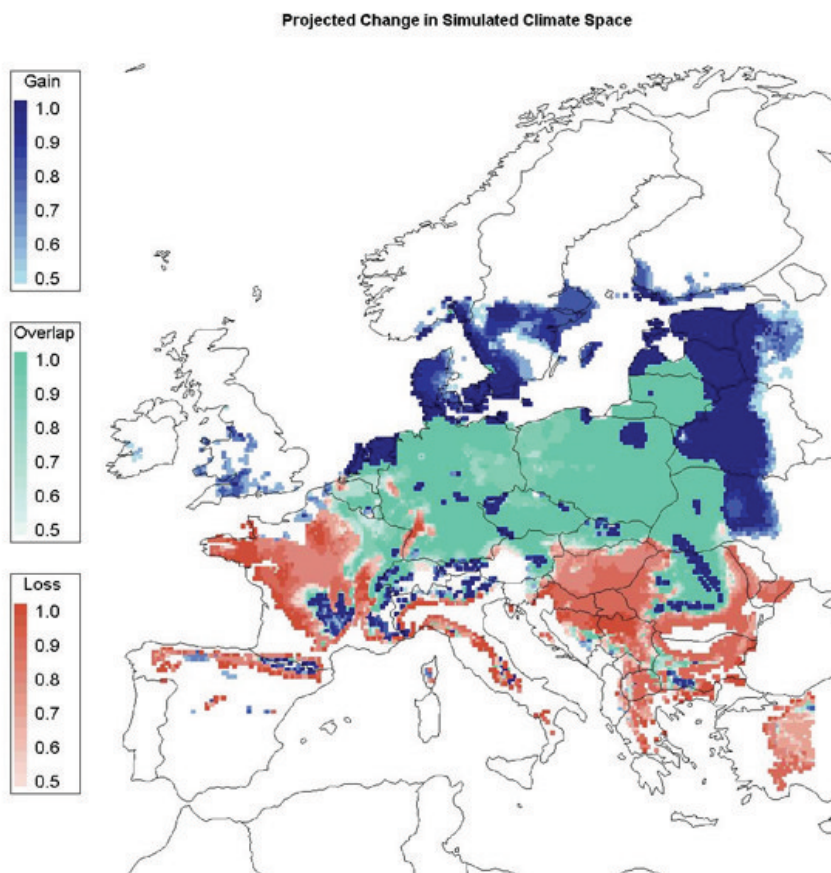
Het gebruikte klimaatscenario is het scenario gegenereerd door het Hadley CM3model onder het A2 emissie scenario van het IPCC (Special Report on Emissions Scenarios; www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm).

Tabel 3.2 Input variabelen gebruikt in het SPECIES model. Met dit model is voor zo'n 400 soorten op Europees schaalniveau de verschuiving van klimaatveloppen gemodelleerd (Berry et al., 2007)

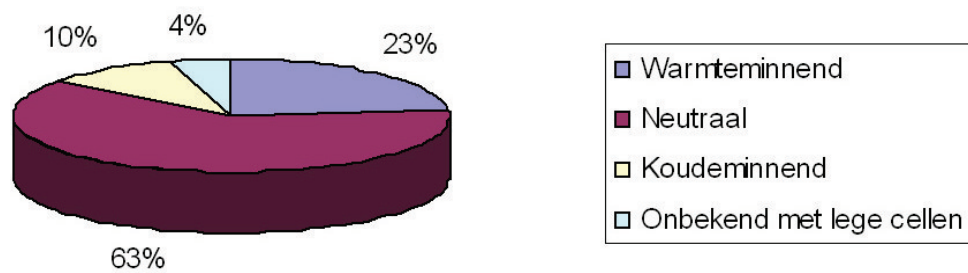
Vogels	Andere taxa
Aantal groeidagen > 5°C	Aantal groeidagen > 5°C
Absolute minimum temperatuur verwacht over een 20 jarige periode	Absolute minimum temperatuur verwacht over een 20 jarige periode
Gemiddelde zomer temperatuur (Mei, Juni, Juli)	Jaarlijkse maximum temperatuur
Gemiddelde zomer neerslag (Mei, Juni, Juli)	Geaccumuleerde jaarlijkse bodemwater tekort
Gemiddelde winter neerslag (December, Januari, Februari)	Geaccumuleerde jaarlijkse bodemwater overschot
Gemiddelde zomer water beschikbaarheid (Mei, Juni, Juli)	

Tabel 3.3 Veranderingen in gemiddelde temperatuur en neerslag, gemiddeld voor Europese 10' gridcellen, in het gebruikte klimaatscenario voor het genereren van de resultaten met SPECIES. Dit scenario ligt ten grondslag aan de resultaten in Vos et al., in voorbereiding (waaronder de knelpuntenkaarten voor natuurdoelsoorten)

HadCM3 met A2 scenario	2011 - 2020		2041-2050	
	Zomer	Winter	Zomer	Winter
Gemiddelde temperatuur (°C):	1.18	1.21	2.5	2.35
Neerslag (mm/maand):	-2.34	1.74	-5.21	3.97



Figuur 3.13 Verwachte verandering van de ligging van de klimaatvelop van de Middelste Bonte specht bij een veranderend klimaat (Berry et al., 2007).



Figuur 3.14 Verwachte klimaatrespons van 60% van de Nederlandse natuurdoelsoorten (flora en fauna). Van de overige 40 % is de klimaatrespons onbekend (van Veen et al., in voorbereiding). Voor 63% van de 60% van de Nederlandse doelsoorten waarvan iets over de respons bekend is, wordt verwacht dat Nederland dus redelijk centraal gelegen is en blijft in zijn verspreidingsgebied. Echter, door de gevolgen van de toename van weersextremen (grotere fluctuaties van aantallen van soorten) en/of grote lokale veranderingen in de abiotiek kunnen soorten toch negatieve gevolgen ondervinden van klimaatverandering.

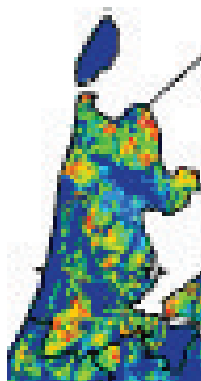
Versterkte verdroging

Noord-Holland kent een groot aantal natte gebieden met hoge natuurwaarden, zoals het Zwanenwater, Wormer- en Jisperveld, Ilperveld, Naardermeer en het noordelijk deel van de Vechtplassen. In veel gevallen gaat het om Natura2000 gebieden. Vaak hebben deze gebieden te kampen met verdroging, ook als ze relatief laag in polders liggen (zie figuur 3.15). Moerasnatuur in polders grenst vaak aan dieper gelegen droogmakerijen met een overwegend agrarische functie. Hierdoor treedt wegzijging op vanuit de relatief hoog gelegen natuurpolders naar diepe polders en droogmakerijen. In droge tijden wordt de waterpeil in de natuurpolders op peil gehouden door de inlaat van (gebiedsvreemd) oppervlaktewater.

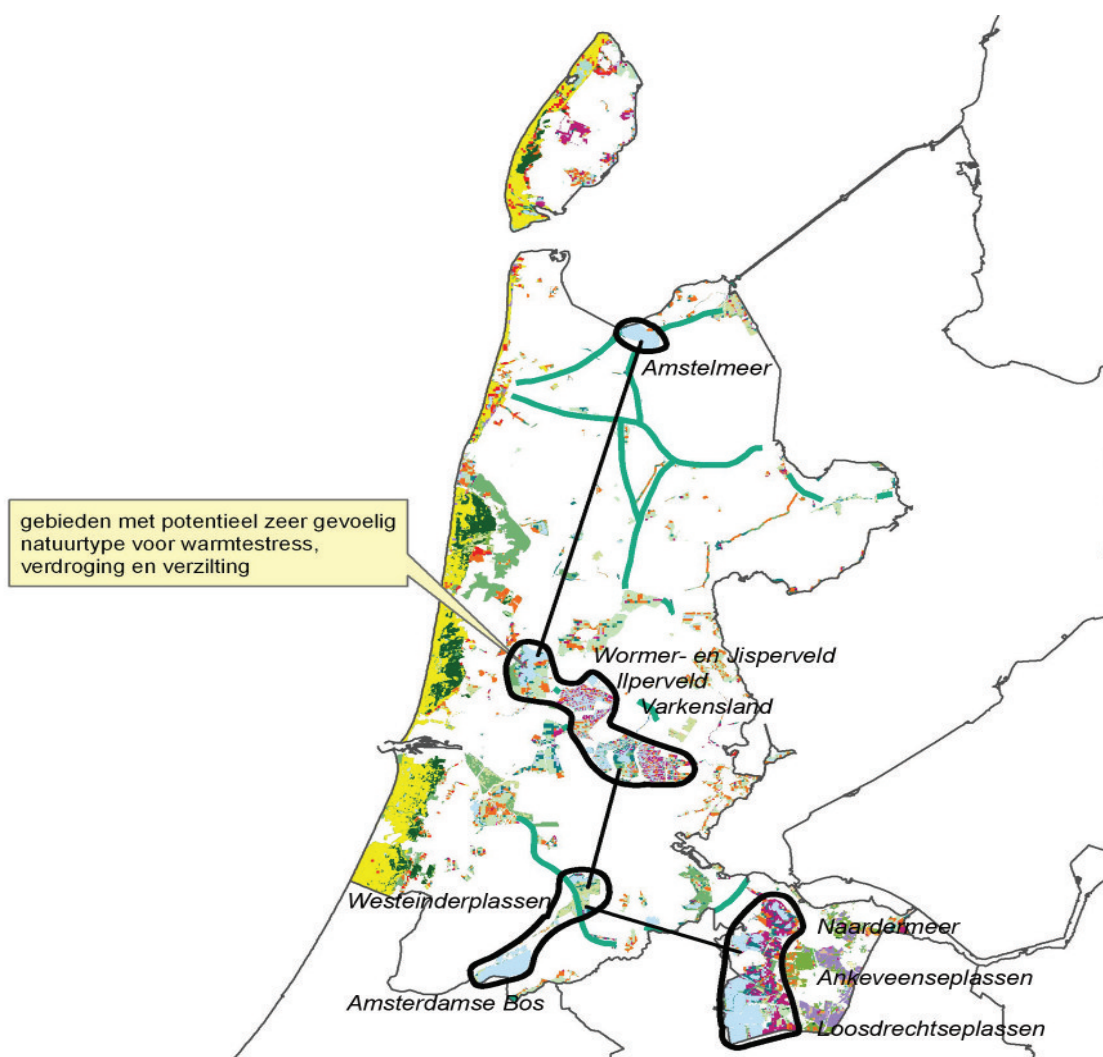
Verwacht kan worden dat natuur in Noord-Holland die nu al te lijden heeft onder verdroging, als gevolg van klimaatverandering in nog sterkere mate hieronder zal lijden. Er is immers een grote kans dat extreme droogteperioden vaker zullen voorkomen en langer zullen aanhouden. Natuurtypen als arme bossen in het Gooi, maar ook moerasnatuur in oude polders zijn hier zeer gevoelig voor.

Verder kan verdroging afgeleide effecten met zich meebrengen, zoals eutrofiëring, verzuring (Lamers, 2001 en Lucassen, 2004) en verzilting (Paulissen et al., 2007). De twee eerstgenoemde effecten treden op in vrijwel alle natuurgebieden met een hoge sulfaatbelasting (door aanvoer van oppervlaktewater of vervuild grondwater).

In Noord-Holland is het diepere grondwater overwegend brak tot zout. Dit zilte grondwater is door de aanleg van polders en droogmakerijen in beweging gekomen (Maas, 2004). Enkele ondiepe polders vlak aan zee (Vereenigde Harger- en Pettemerpolder, Anna Paulownapolder), maar vooral de diepere droogmakerijen Wieringermeer, Schermer, Beemster, Purmer en Haarlemmermeerpolder kennen aanzienlijke zoutbelasting als gevolg van brakke kwel (Figuur 3.15). Klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen de verzilting door brakke kwel versterken. Dit is een zeer geleidelijk en continu proces dat op de kortere termijn niet tot negatieve verrassingen zal zorgen. Klimaatverandering kan echter nog op een andere manier tot verzilting leiden, namelijk via een toename van de frequentie, duur en intensiteit van piekbelastingen van zout. In droge zomers lukt het waterbeheerders in West-Nederland nu al onvoldoende om de beschikbaarheid van zoet water voor alle gebruiksfuncties te garanderen (Maas, 2004). Hoewel natte natuur een relatief hoge prioriteit heeft in de verdringingsreeksen, kunnen door zoutpieken toch problemen ontstaan in (zoetwaterafhankelijke) natuur (Figuur 3.15).



Kaart 3.15 Zoutbelastingskaart van Noord-Holland. In donkerblauwe gebieden is nauwelijks of geen sprake van verzilting, in rode gebieden is sprake van relatief sterke verzilting. De groene en gele gebieden zijn intermediair. Naar Velstra (2007).



Figuur 3.16 Natuurgebieden die potentieel zeer gevoelig zijn voor warmtestress, verdroging en verzilting (gewijzigd naar Blom et al., 2008).

Overstroming en vernatting

Hogere overstromingsfrequenties door oppervlaktewater als gevolg van klimaatverandering (bijvoorbeeld berging als adaptatie voor water) vormt met name een bedreiging voor schrale natte natuur zoals natte bossen, bloemrijke graslanden en zilte graslanden (Lucassen, 2004; Blom et al., 2008). De kwaliteit van het overstromingswater is hiervoor onvoldoende. Overstroming met water van gebiedseigen (regen)water is naar

verwachting voor de vegetatie van veel natuurtypen minder problematisch, tenzij diepe overstroming tijdens het groeiseizoen plaatsvindt. Wanneer waterberging plaatsvindt in voor faunasoorten gevoelige perioden kan dit tot problemen leiden. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan (broedende) weidevogels.

Witte et al. (2007) hebben onderzoek gedaan naar de vermoedelijke gevolgen van klimaatverandering voor de kustduinen. Hun conclusies zijn dat de droogte op de duinen 's zomers toeneemt, dat daarmee het aandeel kale grond en de grondwateraanvulling stijgt. Welke effecten dit zal hebben op de grondwaterstanden en of dit tot meer voorjaarskwel aan de binnenduinrand zal leiden is nog niet bekend. Dit laatste is een belangrijke vraag in verband met het ter plekke voorkomen van kwelafhankelijke natuurtypen zoals bos van rijke gronden, bloemrijk grasland en nat schraalgrasland (Figuur 3.17).

Natuurtypen EHS



Figuur 3.17 Natuurtypen in Noord-Holland (typologie Milieu en Natuur Planbureau).

Biodiversiteit

Noord-Holland is belangrijk voor natuur met name vanwege de graslanden en de vogels die daar gebruik van maken. Hier zijn twee groepen in te onderscheiden: broedvogels en overwinterende/foeragerende vogels. Enkele soorten, zoals de grauwe gans foerageren in de winter in grote getale op de graslanden, maar kennen ook overzomerende exemplaren, die niet in in het voorjaar terugkeren naar het noorden, maar in Nederland tot broeden komen.

Verschuiving klimaatvelop broedvogels

Voor veel broedvogels verschuift de geschikte klimaatzone, en daarmee de geschikte broedgebieden op (inter)nationaal niveau. Dit betekent op regionaal/lokaal niveau dat sommige broedvogelsoorten in aantallen achteruit zullen gaan (als Nederland in de rode zone van figuur 3.13 is gelegen; koudeminnende soorten), sommige vooruit (als Nederland in de blauwe zone van figuur 3.13 is gelegen; warmteminnende soorten).

Voor andere soorten zal het klimaat zal voor sommigen soorten geschikt blijven (in de groene zone van figuur 3.13; neutrale soorten). Het verschuiven van arealen van soorten kan lokaal effect hebben op het behalen (of niet) van Natura 2000 en EHS doelen. Voor een aantal weidevogelsoorten, die voor Noord-Holland van belang zijn is in tabel 3.4 de verwachte repons op klimaatverandering aangegeven.

Tabel 3.4 Primaire weidevogelsoorten (meetsoorten voor weidevogelbeheer in programma beheer) en hun verwachtte respons op klimaatverandering. In rood: afnemende soorten (koudeminnend), in groen: toenemende soorten (warmteminnend) en in blauw: soorten waarvan het leefgebied in de klimaatvelop blijft gelegen; in zwart: onbekende respons (uit: Huntley et al., 2007 en van der Veen et al., in voorbereiding; Roos & Woudenberg, 2004). Bij tegengestelde verwachten in voorrang gegeven aan de meest recente literatuur.

Weidevogels	
Scholekster	Zomertaling
Kievit	Slobeend
Grutto	Kuifeend
Wulp*	Veldleeuwerik
Tureluur*	Graspieper
watersnip	Gele kwikstaart
kemphaan	(Bontbekplevier)

Vooruitzichten voor weidevogels (Expert judgement A. Schotman):

Het broedsucces van weidevogels in Nederland hangt nauw samen met de datum dat de eerste keer wordt gemaaid. Door het maaien worden de nesten vernield.

In de loop van de afgelopen eeuw is deze datum met enkele weken vervroegd. Dit als gevolg van een betere ontwatering en bemesting van de weilanden, waardoor er eerder kon worden gemaaid.

De weidevogels konden zich aan deze veranderende omstandigheden aanpassen, door het vervroegen van hun broedseizoen. Uit gegevens blijkt dat de kievit en Grutto hun legpiek met zo'n 2 weken vervroegd hebben. Dit proces van vervroegen van het broedseizoen zet nog steeds door; bij het vinden van het eerste kievitsei worden steeds weer records gebroken.

Door klimaatverandering zal het groeiseizoen voor de vegetatie eerder beginnen. Daardoor zal de eerste maaidatum nog verder vervroegd worden. Vorig jaar werd bijvoorbeeld al half april gemaaid.

De vraag is of weidevogels hun broedseizoen met de eerste maaidatum mee kunnen vervroegen. Tot voor kort leken ze de vervroeging in de landbouw bij te kunnen houden.

Maar de "rek" meeschuiven lijkt eruit: Er zijn onderzoekers die beweren dat de grutto niet meer broedseizoen kan vervroegen zoals nodig is om de maaibalk voor te blijven. Veel weidevogelsoorten worden dus, behalve door het directe klimaateffect op deze soorten (minder geschikt voor broeden), met name bedreigd door een indirect klimaateffect: de vervroeging van de eerste maaidatum.

Voor de toekomst is te verwachten dat graslanden uitstekend weidevogelgrasland kunnen blijven, mits de graslandpercelen minder intensief worden gebruikt en de eerste maaidatum niet verder wordt vervroegd. Zonder aangepast beheer is te verwachten dat weidevogels sterk achteruit zullen gaan.

De inschatting van extra kosten die hiermee gemoeid zijn zouden ongeveer een verdubbeling van de kosten betekenen ten opzichte van de huidige inspanningen (nationaal zo'n 31 miljoen).

Raming kosten 2007 (nationaal):

Subsidierегeling Natuurbeheer /reservataatsbeheer SBB:	3,7 miljoen
Subsidierегeling agrarisch natuurbeheer:	27,4 miljoen
Totaal	31,1 miljoen

Ecosystemen met een groot aandeel koudeminnende soorten lopen het risico dat er soorten verdwijnen waardoor het functioneren van het ecosysteem verandert, wanneer de niches niet worden opgevuld door binnenkomende soorten. Voor typische ecosystemen van Noord-Holland zijn de onderstaande effecten te verwachten:

Veranderingen soorten binnen ecosystemen

Moerasheide

Deze vallen in onze analyse onder het natuurtype 'hoogveen en natte heide'. Moerasheide komt voor in laagveennatuurgebieden, vooral boven het Noordzeekanaal. Dit natuurtype kenmerkt zich door een relatief groot aandeel van koudeminnende natuurdoelsoorten. Met het veranderende klimaat worden de omstandigheden voor deze soorten ongunstiger en is er een risico op afnemende dichtheden en daarmee op plaatselijk verdwijnen. Bovendien is moerasheide relatief soortenarm, waardoor het effect van het eventuele verdwijnen van deze soorten op het functioneren van het ecosysteem relatief groot is.

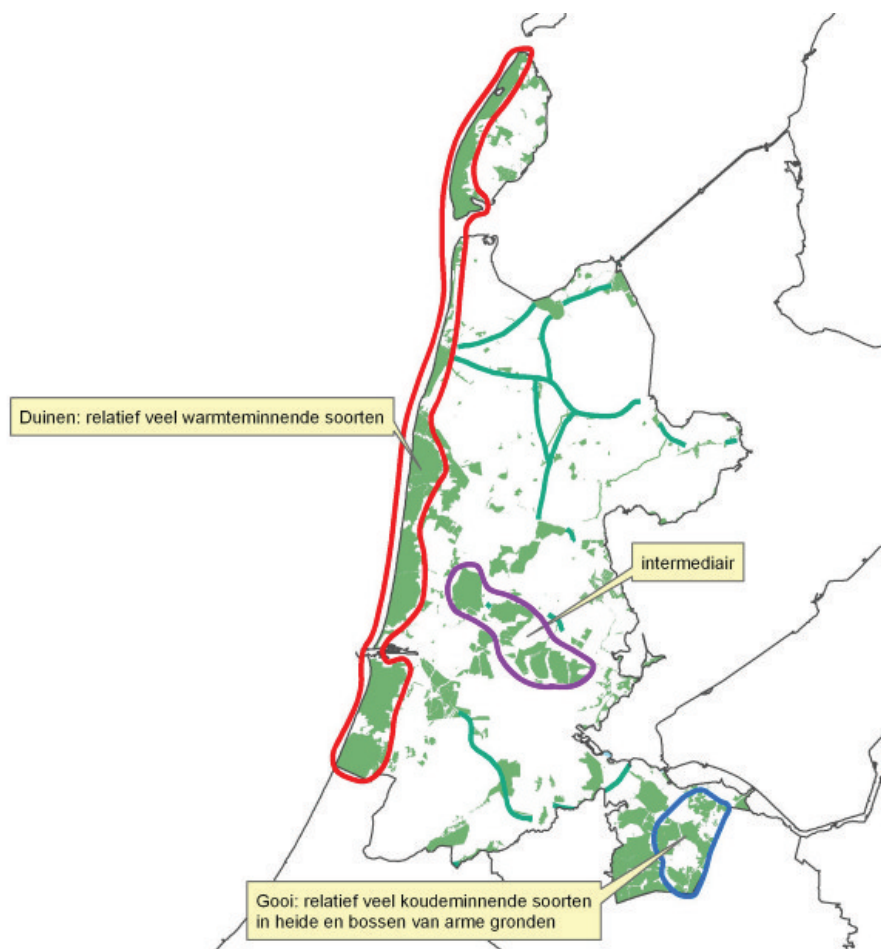
Omdat moerasheide hydrologisch relatief onafhankelijk is van grond- of oppervlaktewater, is het goed mogelijk dat bij het veranderende klimaat de benodigde abiotische (hydrologische) omstandigheden kunnen worden gehandhaafd. In dat geval zullen de koudeminnende soorten zich waarschijnlijk het langste handhaven in de grootste /sterkste gebieden.

Hogere zandgronden

Ook het ecosysteem droge bossen (belangrijk in het Gooi) kent relatief veel koudeminnende natuurdoelsoorten, waarvan de verwachting is dat ze het slechter zullen gaan doen als gevolg van klimaatverandering.

Kustduinen

Zuidelijke soorten zoals Straatliefdegras en Zeevenkel verschijnen, terwijl de noordelijke soorten Moeraskartelblad en Zweedse kornoelje op termijn zullen verdwijnen (Witte et al., 2007).

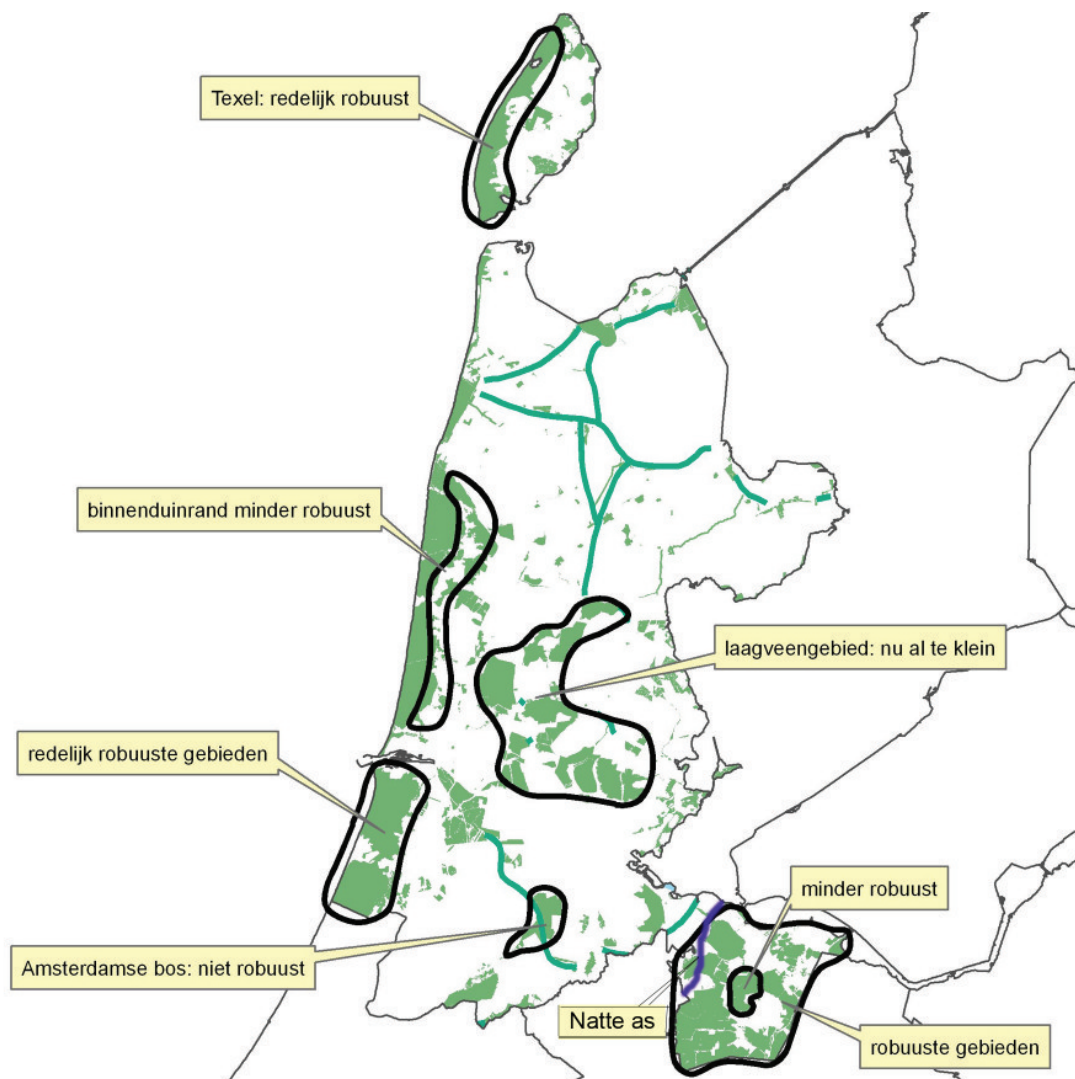


Figuur 3.18 Locaties voor koude- en warmteminnende soorten in Noord-Holland

Moerassen

Op Europees niveau is de verwachting dat soorten van moeras de grootste problemen krijgen met het verschuiven van geschikte klimaatveloppen. De moerasgebieden in Noord-Holland zijn vaak nog in vrij sterke mate versnipperd (aandachtspunt).

Er is nog maar zeer weinig informatie over soorten die momenteel nog niet in Nederland voorkomen, maar in de toekomst Nederland zullen bereiken. Het binnenkomen van nieuwe soorten kan van belang zijn voor bestaande ecosystemen, omdat verwacht wordt (en ook gesignaleerd wordt) dat hierdoor ook soorten kunnen verdwijnen. Het tempo waarin koudeminnende soorten verdwijnen ligt hoger dan het tempo waarin nieuwe, warmteminnende, soorten binnenkomen. Per saldo kan er een afname van biodiversiteit plaatsvinden. Ook kunnen door areaalverschuivingen plaagsoorten vanuit het zuiden binnenkomen of vaker een probleem zijn



Figuur 3.19 Robuustheid van natuurgebieden in Noord-Holland. Gebieden worden te klein en soorten kunnen niet schuiven tussen de gebieden zelfs bij realisatie van de EHS en met de aanname dat de vereiste milieucondities aanwezig zijn (Vos et al., in prep).

De studie Nederland Later² laat zien hoe optimalisatie van ruimtelijke toedeling van functies een zo duurzaam mogelijk Nederland op kaart kan zetten.

3.5.3 *Adaptatie mogelijkheden*

De EHS is een ruimtelijke strategie ten behoeve van behoud, herstel en ontwikkeling van natuur en landschap. Zij moet voldoende garantie bieden voor de duurzame instandhouding van de erin voorkomende soorten (flora en fauna). Klimaatverandering is ongunstig voor de overleving van soorten. In het algemeen geldt dat de uitvoering van de EHS en de Robuuste Verbindingen (natte as!) een goede strategie vormen voor adaptatie van het landschap voor natuur. Klimaatverandering maakt het echter nodig dat er meer maatregelen worden genomen dan dat.

Hieronder volgt een overzicht van adaptatiestrategieën

1. Verbinden natuurgebieden
2. Vergroten van natuurgebieden
3. Meer interne heterogeniteit (gradienten) binnen natuurgebieden
4. Verbeteren abiotische condities binnen natuurgebieden
5. Multifunctionele klimaatmantel rondom natuurgebieden.
 - abiotiek, - verbinden (groen-blauwe dooradering)
6. Natuur onderdeel Integrale adaptatie
 - kustverdediging, ruimte voor rivier

Adaptatie aan klimaatverandering binnen de EHS kan betekenen dat arealen van sleutelgebieden van waardevol geachte soorten vergroot moeten worden. De kennis op dit vakgebied is momenteel volop in ontwikkeling. In het rapport Optimalisatie samenhang ecologische hoofdstructuur (Reijnen et al., 2007) is het aantal sleutelgebieden binnen de EHS voor alle faunadoelsoorten in beeld gebracht. Een ander rapport is in voorbereiding: Vos, C.C., H. Kuipers en R. Wegman: Klimaatverandering en natuur: zoekgebieden voor ruimtelijke adaptatie van de EHS.

Uit onderzoek (o.a. weergegeven in "Effecten van klimaatverandering in Nederland", MNP i.s.m. KNMI, RWS-RIZA, Alterra, VU en ICIS, okt 05) blijkt dat de snelheid van temperatuurverandering in Nederland in de afgelopen 30 jaar voor de niet-mobiele soorten te hoog is om bij te kunnen houden. Daarom is het van groot belang om de connectiviteit tussen natuurgebieden (in het tussenliggende landschap) te vergroten, en barrières als wegen en spoorlijnen op te heffen. Hiermee kan de verschuiving van binnenkomende soorten zo goed mogelijk worden geacommodeerd, en kan de afname van de biodiversiteit worden verminderd. Door het concentreren van maatregelen in een goed geplande "adaptatiezone" kan de kosteneffectiviteit van deze maatregelen worden vergroot (van Rooij et al., 2007).

Het is te verwachten dat klimaatverandering zal leiden tot een toename van weerextremen. Dit kan leiden tot meer en grotere aantalsfluctuaties in populaties van soorten. Om te voorkomen dat populaties hierdoor lokaal uitsterven moeten gebieden voldoende groot zijn. Bovendien bevatten grotere gebieden doorgaans meer gradiënten waardoor populaties beter kunnen overleven. In heterogene gebieden zullen bijvoorbeeld voor soorten die dat nodig hebben in droge perioden doorgaans nog voldoende natte plekken aanwezig zijn.

Voor een effectief adaptatiebeleid liggen voor Noord-Holland nog de volgende opgaven en vragen voor:

Moerasheide

Kunnen de benodigde abiotische (hydrologische) omstandigheden bij een veranderende klimaat in de huidige gebieden voldoende worden gehandhaafd? Zet met name in op de grootste gebieden met de beste kwaliteit; daarmee kunnen de koudeminnende soorten zich waarschijnlijk het langste handhaven.

Moerassen

Nederland is voor het behoud van moerassoorten op Europese schaal erg belangrijk. De benodigde adaptatie is vergroten, verbinden en ook kwaliteit handhaven/verbeteren. Het realiseren van de natte as als vergroting van leefgebied en om grote moerasgebieden onderling te verbinden is voor dit natuurstype van belang om de biodiversiteit te beschermen. Adaptatiemogelijkheden zijn het benutten van de ontwikkelingsmogelijkheden voor moerasgebieden met, ook in de toekomst, de benodigde hydrologische condities. Deze zijn waarschijnlijk gelegen in lage delen van de provincie. Lopend onderzoek (Van der Gaast et al., Alterra, in voorbereiding) zal specifiekere kunnen aangeven waar de meest geschikte plekken liggen. In de kleinere moerasgebieden is de verwachting dat de kans op het lokaal verdwijnen van soorten gekoloniseerd raken met nieuwe soorten groot is, en kan een daling van de biodiversiteit worden verwacht. Verwacht kan worden dat het vergroten en onderling verbinden, of het in verbinding brengen met de natte as, heeft een belangrijk positief effect heeft op de biodiversiteit in deze gebieden.

Voor alle ecosystemen

Wat is het effect van veranderende (hydrologische) omstandigheden op de droge bossen, beken en moeraszones etc.? Hier vind momenteel modelonderzoek aan plaats, en binnenkort komen de resultaten hiervan beschikbaar (Van der Gaast et al., Alterra, in voorbereiding).

3.6 Infrastructuur

Voor infrastructuur betekent klimaatverandering het volgende:

- Het wegverkeer zal méér hinder ondervinden als gevolg van zomerneerslag. Maar minder als gevolg van winterneerslag
- Hogere extreme temperaturen leiden tot meer onderhoud en (in combinatie met droogte) tot meer bermbranden.

3.6.2 *Wateroverlast verkeers-infrastructuur.*

In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag per winterhalfjaar toe en is er een toename aan extreme buien in de zomer

Toename van buienintensiteit leidt tot grotere verkeershinder, overlast en verkeersonveilige situaties als gevolg van water op de weg.

Toename van buienintensiteit en winterneerslag zal een negatief effect hebben op de verkeersdoorstroming.

Voorzieningen voor waterafvoer rond de weg en bij kunstwerken worden gedimensioneerd op basis van een standaard 'maatgevende bui'. De verwachte toename van intensiteit van buien in de zomer is mogelijk zo groot dat deze standaard 'maatgevende bui' wellicht aangepast dient te worden. Aanpassing heeft gevolgen voor ontwerpspecificaties (zoals afwateringshoek, pompen, waterbergingen e.d.). Nader onderzoek is nodig om te bepalen óf en in welke mate aanpassingen nodig zijn.

Naast een onvoldoende afwatering van wegen met de daarbij optredende overlast kunnen ook stabiliteitsproblemen ontstaan door erosie van wegbermen en taluds, met name na lange perioden van droogte. De toename van de neerslag in combinatie met een mogelijke toename van spoorvorming (zie Temperatuurstijging: infrastructuur) maakt het probleem van verkeershinder extra groot.

Adaptatieopgave

Mogelijk zal in de toekomst de standaard 'maatgevende bui' moeten worden aangepast aan nieuwe klimaatcondities. Dit leidt dan vervolgens ook weer tot andere eisen aan wegen en kunstwerken. De combinatie van de effecten extreme buien, droogte in de zomer, erosie en bermbranden stelt andere eisen aan wegen, kunstwerken en de groene inrichting eromheen.

3.6.3 *Temperatuur en infrastructuur*

Meer onderhoud aan wegen ten gevolgen van spoorvorming

In de toekomst is meer onderhoud aan de wegen te verwachten vooral als gevolg van meer spoorvorming.

Spoorvorming op asfaltwegen ontstaat vooral in perioden met tropische warmte, als het ook 's nachts weinig afkoelt. Hierbij is het niet de eerste toplaag die vervormd, maar onderliggende lagen. Andere effecten van extreme warmte voor infrastructuur zijn het vast komen zitten van bewegende bruggen en problemen met dilatatievoegen bij vaste bruggen.

Meer spoorvorming en problemen met dilatatievoegen zullen tot meer onderhoud leiden op de provinciale wegen. Een mogelijke oplossing is toepassing van hardere onderlagen.

Vaker bermbranden

Door hoge temperaturen en lange periodes van droogte neemt de kans op bermbranden toe.

De hete, droge zomer van 2006 heeft een groot aantal berm- en bosbranden laten zien. Dergelijke zomers kunnen veel vaker op gaan treden.

Bermbanden langs weg en spoor hebben kunnen lange, onverwachte files en vertragingen veroorzaken. Voor bosrijke provincies kunnen bosbranden een grote impact hebben en waardevol natuur- en recreatiegebied verloren laten gaan

3.7 Recreatie

Temperatuur en recreatie

In alle scenario's zal de temperatuur toenemen en daarbij het aantal warme, zomerse en tropische dagen toenemen (figuur 2.3-2.5).

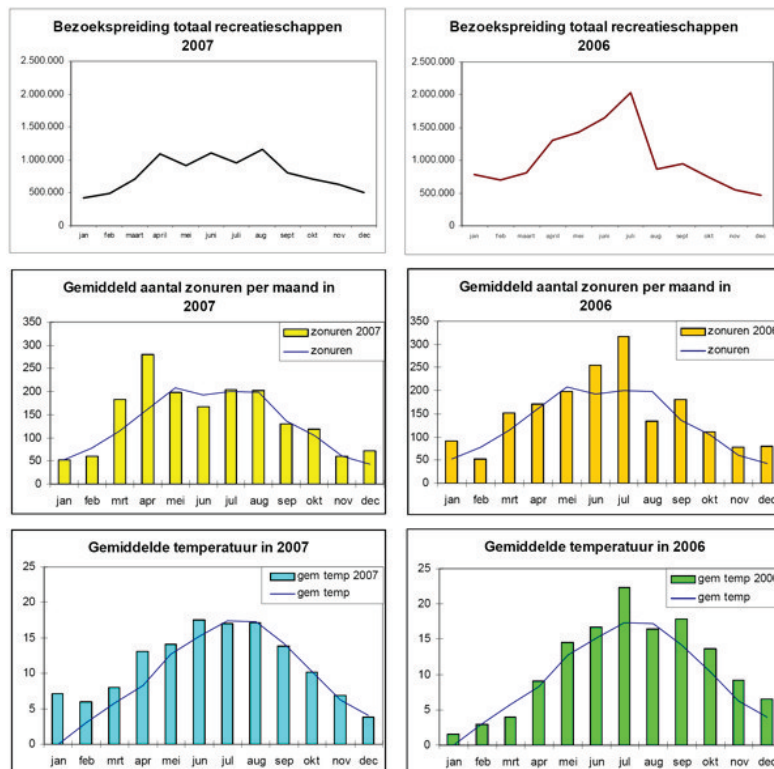
Bij een toenemende temperatuur zullen er meer dagen komen die geschikt zijn voor recreatie. De mogelijkheid tot verantwoord gebruik van zwembad wordt kritischer. Voor de recreatiesector is klimaatverandering overwegend positief. Er zullen meer dagen komen die geschikt zijn voor strand en vakantiepark. Dit kan een positief effect hebben op de recreatiesector.

Figuur 3.20 uit het rapport Recreatie Noord-Holland laat zien dat het aantal bezoekers in gebieden sterk samenhangt van de gemiddelde temperatuur en het aantal zonne-uren. Ook is te zien dat in 2007 de bezoeken afnemen ten opzichte van 2006. Dit lijkt te worden veroorzaakt door het wisselvallige weer in het zomerseizoen van 2007.

Bij een toenemende temperatuur neemt in stilstaande wateren de kwaliteit van zwembad af. Daarnaast nemen de zwembadbehoeften toe bij warm weer. Mensen zullen meer geconcentreerd van de zwembadlocaties gebruik maken. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik risicovoller. Meer informatie over waterkwaliteit is te vinden in paragraaf 3.1.4.

Bij een toename aan warme, zomerse en tropische dagen zullen meer mensen naar het Noord-Hollandse strand willen. Er bestaat dan kan op lange files richting het strand.

Naast het toenemen van de temperatuur neemt ook de kans op hevige buien toe. Zoals in paragraaf 3.1.4 is beschreven kan het rioolstelsel deze buien mogelijk niet aan. Het overtollige water wordt via een riooloverstort geloosd. In Noord-Holland gebeurt dit ook in zee. Dit kan het zeewater tijdelijk vervuilen.



Figuur 3.20 Bezoekerspreiding in Noord-Holland in 2006 en 2007 naar weersomstandigheden. (Bron: Recreatiemonitor 2008, www.recreatienoordholland.nl)

GERAADPLEEGDE BRONNEN

- Bakel, P.J.T. van, M. van de Wouw, A. Poelman en Stuyt, L.C.P.M., 2007. Water vasthouden aan de bron: inzicht door modelberekeningen. *H2O* 40(2007)14/15:35-38.
- Bal, D., Beijer H.M., Fellingner M., Haveman R., Van Opstal A.J.F.M. & Van Zadelhoff F.J. 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Beijk, V., Effecten van de KNMI'06 klimaatscenario's op de verzilting in de noordwestelijke delta, 2007
- Berry, P.M., Jones, A.P., Nicholls, R.J. and Vos, C.C. (eds.) 2007. Assessment of the vulnerability of terrestrial and coastal habitats and species in Europe to climate change, Annex 2 of Planning for biodiversity in a changing climate - BRANCH project Final Report, Natural England, UK.
- Beersma, J., T.A. Buishand, & H. Buiteveld, 2004. Droog, droger, droogst. KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II.
- Bloemendaal F.H.J.L., Roelofs J.G.M. & De Lyon M.J.H. 1988. Saliniteit en chemische typologie. In: Bloemendaal F.H.J.L. & Roelofs J.G.M. (red.). Waterplanten en waterkwaliteit. KNNV, Utrecht.
- Blom, G., M. Paulissen, C. Vos & H. Agricola. 2008. Effecten van klimaatverandering op landbouw en natuur: Nationale Knelpuntenkaart en Adaptatiestrategieën. Alterra-rapport, in druk.
- Conrads, L.A., 1975. Observations of meteorological urban effects. The heat island of Utrecht.
- CPB, MNP en RPB, 2006. Welvaart en leefomgeving; een scenariostudie voor Nederland 2040. www.welvaartenleefomgeving.nl
- DHV, 2007, "water als grondstof, innovatieagenda voor omgaan met water in perioden van droogte" A6200-01-001
- Gaast, van der, in voorbereiding. Van deze studie is titel nog niet bekend, kan ik wel in de loop van de volgende week opsturen.
- Giessen, A. van der (ed.), 2005. Naar een gezamenlijk nationaal hydrologisch modelinstrumentarium. Eindrapport van de werkgroep Consensus Hydrologie (WUR/Alterra; RIVM/MNP; RWS/RIZA). Rapport 500026002/2005, MNP, Bilthoven.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* 15: 56-61.
- Huntley, B., R. Green, Y. Collingham and S.G. Willis, 2008. A Climatic Atlas of European Breeding Birds, Lynx edicions.
- Hurk, B.J.J.M. van den, A.M.G. Klein Tank, G. Lenderink, A.P. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C.A. Katsman, H.W. van den Brink, F. Keller, J.J.F. Bessembinder, G. Burgers, G.J. Komen, W. Hazeleger en S.S. Drijfhout, KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI-publicatie: WR-2006-01, pp82.
- IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Fourth Assessment Report-AR4 'Climate Change 2007', www.ipcc.ch
- Janssen J.A.M. & Schaminée J.H.J. 2003. Europese natuur in Nederland. Habitattypen. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Jansen, H.C., M.E. Sicco Smit, T.P. Leenders, F.J.E. van der Bolt en L.V. Renaud, 2006. Systeemanalyse voor het stroomgebied van de Schuitenbeek. Monitoring stroomgebieden 8-II. Rapport 1387 Alterra, Wageningen.

- Können G.P., 2001, climate scenarios for impact studies in the Netherlands, KNMI, De Bilt
- Kors, A.G., F.A.M. Cleassen, J.W. Wesseling, and G.P. Können, 2000, Scenario's extreme krachten voor WB21, RIZA/WL en KNMI publicatie
- KNMI, 2002. Klimaatatlas van Nederland. De normaalperiode 1971-2000. KNMI, De Bilt.
- KNMI, 2006. Klimaat in de 21e eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Brochure. KNMI, De Bilt.
- Kroon, T., W. Werkman en A. Biesheuvel, 2004. Modelling the impact of climate change on drought in the Netherlands. Int. Conf. on Climate change: a challenge or a threat for water management? Amsterdam, the Netherlands, September 27-29, 2004
- Lamers LPM 2001. Tackling some biogeochemical questions in peatlands. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Lenderink, G., A. Van Ulden, B. Van den Hurk & F. Keller, 2007. A study on combining global and regional climate model results for generating climate scenarios of temperature and precipitation for the Netherlands. Clim. Dyn., 2007, doi:10.1007/s00382-007-0227-z
- Lenderink, G., E. Van Meijgaard, & F. Selten, 2008. Intense coastal rainfall in the Netherlands in response to high sea surface temperatures: analysis of the event of August 2006 from the perspective of a changing climate. Clim. Dyn. doi: 10.1007/s00382-008-0366-x en http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/maatwerk/water/AVV_maart_2008.pdf
- Linde, A. te, 2007, Effect of climate change on the rivers Rhine and Meuse, WL Delft Hydraulics.
- Louw, P. de, 2007. Brakke kwel in diepe polders: Case polder de Noordplas. In: Verzilting in Nederland, NHV-special 7 (Ed. Perry de Louw), Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.
- Lucassen ECHET 2004. Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.
- Maas, K., 2004. Over de geschiktheid van het instrumentarium voor de landelijke droogtestudie ten aanzien van het aspect Verzilting. Memo Kiwa Water Research. URL: http://www.droogtestudie.nl/documenten/bestanden%20fase2a/achtergrond/03Verzilting_en_modellen.pdf.
- MNP, 2005. Effecten van klimaatverandering in Nederland. Rapport 773001034. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- MNP, 2007. Nederland later, MNP-publicatienummer 500/27001/2007, MNP, Bilthoven.
- Massop, H.Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak. 1997. Invloed van de grondwaterstand op de oppervlaktewaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van de veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Rapport 527.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Nelen en Schuurmans, 2007. Onderzoek watertekort. In opdracht van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
- Oude Essink, G, 2007. Regionale modellering zoet-zout grondwater in het Nederlandse kustgebied. In: Verzilting in Nederland, NHV-special 7 (Ed. Perry de Louw), Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.
- Paulissen, M.P.C.P. en E.P.A.G. Schouwenberg, 2007. Zouttolerantie van zoetwatergevoede natuurdoeltypen. Rapport 1545, Alterra, Wageningen
- Paulissen M., Schouwenberg EPAG, Velstra J & Wamelink W, 2007, Hoe gevoelig is de Nederlandse natuur voor verzilting? H2O 18: 40-44.
- Reijnen, M.J.S.M., R. Pouwels & H. Kuipers, 2007. Optimalisatie samenhang Ecologische Hoofdstructuur;

ruimtecondities voor duurzaam behoud biodiversiteit diersoorten. Alterra, Wageningen UR.

RIKZ (zonder jaartal). Klimaatverandering en de Waddenzee. Samenvatting van het rapport 'Het klimaat het prismaat?'. RIKZ, Haren.

Rooij, Sabine van, Hans Baveco, Rob Bugter, Michiel van Eupen, Paul Opdam & Eveliene Steingröver, 2007. Adaptation of the landscape for biodiversity to climate change. BRANCH - Terrestrial case studies Limburg (NL), Kent and Hampshire (UK). Alterra rapport nummer 1543. Wageningen UR.

Royal Haskoning, 2007. Investeringsruimte voor toekomstige droogte. (in opdracht van RIZA)

STOWA, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26. STOWA.

Stuyt, L.C.P.M., P.J.T. van Bakel, J.G. Kroes, E.J. Bos, M. van der Elst, B. Pronk, P.J. Rijk., O.A. Clevering, A.J.G. Dekking, M.P.J. van der Voort, M. de Wolf en W.A. Brandenburg. 2006. Transitie en toekomst van Deltalandbouw; indicatoren voor de ontwikkeling van de land- en tuinbouw in de Zuidwestelijke Delta van Nederland., Alterra-rapport 1132, Wageningen.

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

Velstra, J., 2007. Verzilting: wat staat ons te wachten? Presentatie tijdens het symposium 'Leven met Zout Water', Amsterdam, 24 september 2007. URL: <http://www.levenmetzoutwater.nl/programma.html>.

Vos, C.C., H. Kuipers en R. Wegman, in prep. Klimaatverandering en natuur: zoekgebieden voor ruimtelijke adaptatie van de EHS. Alterra, Wageningen UR.

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

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

Witte, F., R. Bartholomeus & G. Cirkel. 2007. Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de Nederlandse kustduinen. Een verkennende studie in opdracht van de duinwaterbedrijven. Presentatie tijdens het symposium 'Klimaat en Hydrologie; Bedreiging of kans', Utrecht, 13 november 2007.

Websites:

Veiligheid Nederland in Kaart: www.helpdeskwater.nl/projectvnk/

IPCC: www.ipcc.ch

KNMI: www.knmi.nl/klimaatscenario's

Klimaatscenario's: www.welvaartenleefomgeving.nl

Droogtestudies: www.droogtestudie.nl

BIJLAGE 1 KNMI'06 KLIMAATSCENARIO'S

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

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

1. gegevens over de veranderingen in 2100 zijn te vinden op www.knmi.nl/klimaatscenario's
2. het klimaat in het basisjaar 1990 is beschreven met gegevens van 1976 tot en met 2005
3. onder 'winter' wordt hier verstaan december, januari en februari; 'zomer' staat gelijk aan juni, juli en augustus

Tabel B1.1 geeft de klimaatverandering in Nederland rond 2050 ten opzichte van het basisjaar 1990 weer volgens de KNMI'06 scenario's. In het waterbeleid is gebruik gemaakt van de WB21 klimaatscenario's uit 2000. In tabel B1.2 zijn de WB21 en de KNMI'06 scenario's naast elkaar gezet. De KNMI'06 scenario's G en W lijken vrij veel op de WB21 scenario's, respectievelijk 'midden' (soms ook 'centraal' genoemd) en 'hoog'.

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

Overeenkomsten

- De IPCC (Intergouvernemental Panel on Climate Change) projecties voor mondiale temperatuurstijging zijn als uitgangspunt gebruikt. De mondiale temperatuurstijging van +2 °C in 2100 (of +1 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude 'centrale' WB21-scenario gebruikt als in de nieuwe G en G+ scenario's. Een temperatuurstijging van +4 °C in 2100 (of +2 °C in 2050) ten opzichte van 1990 wordt zowel in het oude 'hoge' WB21-scenario gebruikt als in de nieuwe W en W+ scenario's (echter voor de KNMI'06 scenario's zijn de projecties uit het IPCC AR4 gebruikt (IPCC, 2007));
- Als basisjaar wordt 1990 gebruikt (de gebruikte referentieperiode om het klimaat rond 1990 te beschrijven, verschilt wel. Bij de WB21-scenario's (opgesteld in 2000) is geen standaard referentieperiode gegeven. Bij de KNMI'06 scenario's is 1976-2005 gebruikt).

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

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

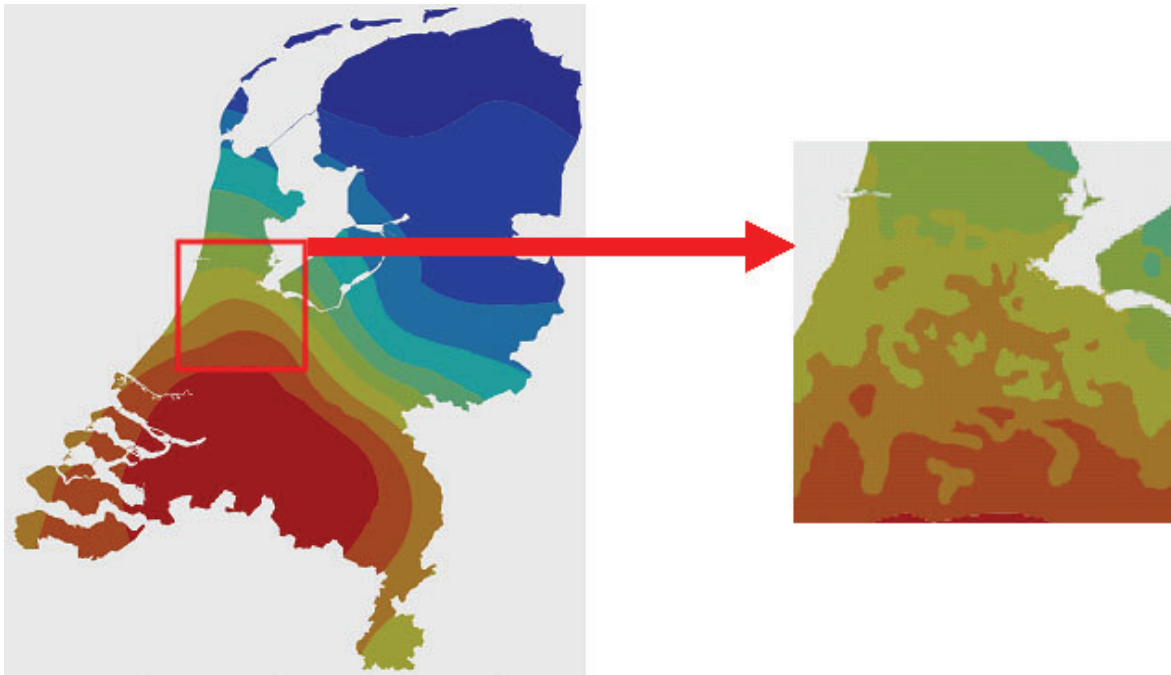
Verschillen

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

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

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

Onzekerheid over toekomstige emissies van broeikasgassen en stofdeeltjes veroorzaakt slechts een klein deel van de verschillen tussen de KNMI klimaatscenario's voor 2050. De grootste onzekerheid is te wijten aan verschillen in modelberekeningen ten gevolge van de beperkte kennis van het klimaatstelsel. Grofweg kan wel worden gezegd dat de G en G+ scenario's beide beter passen bij de wereldbeelden B1 (mondiale solidariteit) en B2 (zorgzame regio) van het MNP, terwijl de W en W+ scenario's beide beter passen bij de wereldbeelden A1 (mondiale markt) en A2 (veilige regio).



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

BIJLAGE 2 INTERPRETATIE VAN DE KAARTEN

Door klimaatgegevens op kaarten te zetten kan de indruk gewekt worden van een grote geografische nauwkeurigheid. Dit is niet het geval, ook niet voor het huidige klimaat voor de toekomst. De contourlijnen zijn geen exacte scheidingen. Verder is het belangrijk om te beseffen dat er geen één op één relatie is tussen klimaateffecten, in termen van neerslag en temperatuur, en gevolgen in termen van wateroverlast of droogte. Soms kan een kleine hoeveelheid (extra) neerslag al voor overlast zorgen, terwijl op een andere plek een grote hoeveelheid neerslag geen problemen veroorzaakt.

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

- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis. Voor dit rapport zijn voor temperatuur 19 KNMI-stations gebruikt en voor neerslag 280 KNMI-neerslagstations. Om voor punten tussen deze stations een waarde te bepalen, is een interpolatieschema gebruikt (zie bijlage 6). Sommige stations zijn representatief voor een groter gebied dan andere stations. De automatische interpolatieschema's houden hier geen rekening mee en wegen alle stations even zwaar mee.
- Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's. Het toepassen van de automatische interpolatieschema's veroorzaakt soms lokale verschillen die geheel berusten op de numerieke bewerking van de data. De positie van contourlijnen wordt voor een deel bepaald door subjectieve keuzes in de interpolatietechnieken. In deze atlas zijn geen kaarten opgenomen waarvan de globale ruimtelijke patronen niet goed zijn, maar om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de lokale patronen wordt verwezen naar 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002).
- Voor temperatuur kunnen alleen grootschalige patronen worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KNMI-stations. Het aantal van 19 meetpunten in Nederland is onvoldoende om kleinschalige ruimtelijke patronen in beeld te brengen. Dit betekent dat alleen grootschalige patronen (Figuur B2.1) kunnen worden weergegeven, zoals land-zee-overgangen. Op kleinere schaal speelt ook de aanwezigheid van bijvoorbeeld meren, rivieren, steden en infrastructuur een rol. Dit wordt dus niet weergegeven in de kaarten in deze atlas.
- Kleinschalige ruimtelijke verschillen in neerslag kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden. Een deel van de ruimtelijke verschillen in neerslag kan verklaard worden door bijv. orografie (bijv. meer neerslag bij de Utrechtse Heuvelrug), en steden (bijv. lokale maxima bij Rotterdam en Amsterdam). Ruimtelijke verschillen kunnen ook veroorzaakt worden door toevalligheden. Toevallige treklijnen van buien, fronten en lagedrukgebieden kunnen verschillen veroorzaken.
- Contourlijnen moeten niet als exacte, stringente scheidingen tussen klassen worden geïnterpreteerd. De locatie van een contourlijn op de kaart wordt beïnvloed door het interpolatieproces, en de kaarten geven slechts een globaal ruimtelijk patroon weer (Figuur B2.1) dat voor een deel samenhangt met de toevallige ligging van de KNMI-stations (de lokale omgevingskarakteristieken van de stations).
- De KNMI'06 scenario's onderscheiden geen regionale verschillen in klimaatverandering. De ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst zijn daarom in principe hetzelfde. De relatieve veranderingen (neerslag) of absolute veranderingen (temperatuur) zijn in de KNMI'06 scenario's voor heel Nederland gelijk. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering rond Nederland niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de onderstaande kaarten worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. Kaarten met verschillen tussen de huidige en toekomstige situatie zijn daarom niet zinvol.
- De ruimtelijke verschillen geven niet aan waar de gevolgen van klimaatverandering het grootst zijn. Bijvoorbeeld op de natste locaties rond 2050 ontstaan niet automatisch ook de grootste problemen met wateroverlast. Voor de vertaling van de gevolgen van de klimaatveranderingen is het belangrijk dat er extra kennis wordt toegevoegd, die veranderingen in temperatuur, neerslag, etc. op een juiste wijze vertaald naar gevolgen voor de natuur, maatschappij en ruimtelijke ordening (zie ook Hoofdstuk 3).

BIJLAGE 3 HET STADSEFFECT

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter geen metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

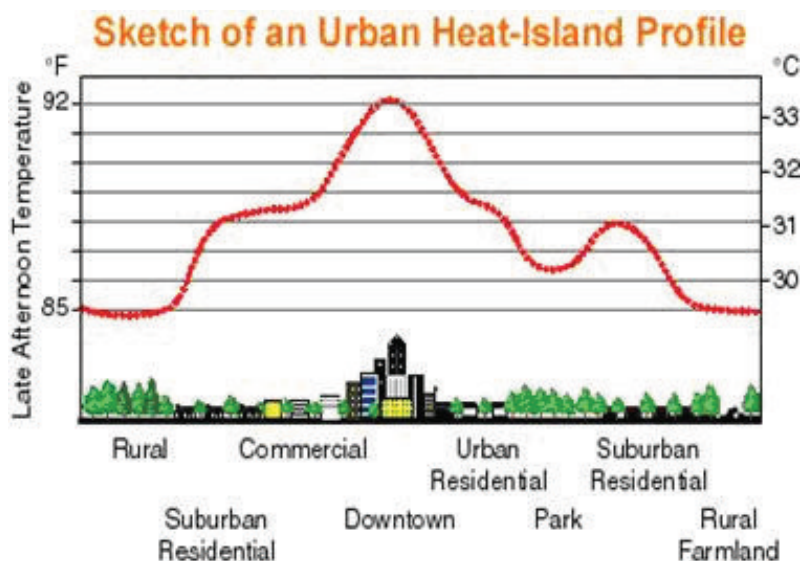
Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen e.d. Deze warmte wordt 's nachts vertraagd weer afgegeven. De grootte van het temperatuurverschil tussen de stad en het omringende platteland is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Voor een stad als Utrecht bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstilte, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5 °C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht¹ ca. 1,1 °C warmer dan het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag.

Neerslag

Een stad kan ook effect hebben op de neerslag daaromheen. Dit is o.a. terug te zien in de neerslagmetingen aan de lijszijde (stroomafwaarts van de overwegend zuidwestelijke wind) van grote steden (Rotterdam, Amsterdam en Utrecht). De neerslagsommen zijn ten noordoosten van deze steden net wat hoger dan aan de zuidwest kant. De opstijgende warme lucht boven een stad en de aanwezigheid van extra condensatiekernen, versterkt de vorming van neerslag. Dit effect is het sterkst in de zomer.

Wind

De bebouwing in steden heeft ook een invloed op de wind. Hoge gebouwen zorgen voor grote ruimtelijke verschillen in windrichting en windsnelheid. Bovendien kan de wind rond deze gebouwen versnellingen ondergaan die ertoe leiden dat de windsnelheden groter worden dan gemeten in de landelijke omgeving. Aan de ander kant zorgt lage bebouwing ervoor dat de wind bij het aardoppervlak sterker afneemt dan boven de landelijke omgeving. Hierdoor mengt de lucht dichtbij het oppervlak minder goed met de bovenliggende lucht dan op het platteland het geval is.



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

1 Er zijn geen uitvoerige meetgegevens beschikbaar van andere steden dan de stad Utrecht.

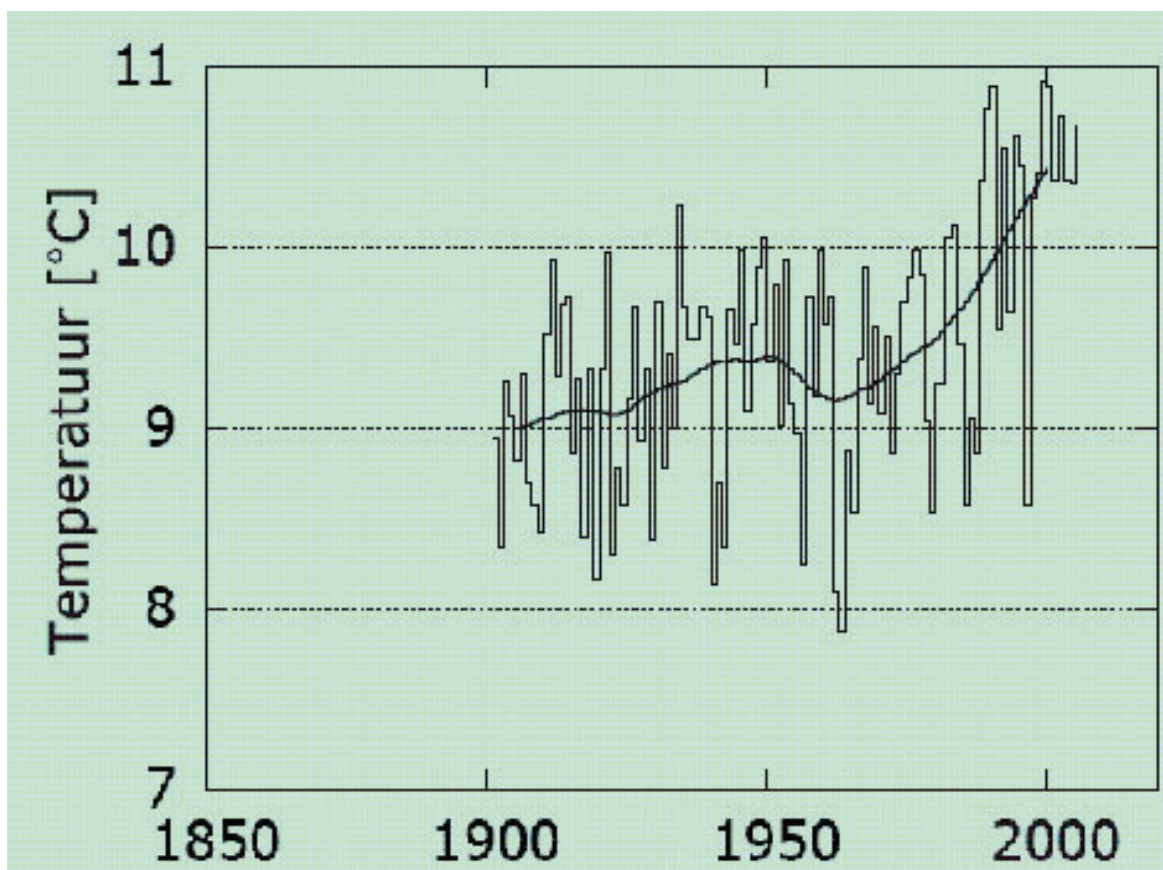
BIJLAGE 4 WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN NEDERLAND

Temperatuur

In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2°C gestegen (Figuur B5 1). Hetzelfde patroon aan veranderingen in de gemiddelde jaartemperatuur is terug te vinden in de metingen in Schiphol (metingen vanaf 1937). De stijging van de temperatuur resulteerde in een afname van het aantal vorstdagen en een toename van het aantal zomerse dagen.

De top tien van de warmste jaren sinds 1900 bestaat volledig uit jaren na 1988. Vooral februari en maart zijn de afgelopen 20 jaar aanzienlijk warmer geworden. Behalve door de wereldwijde opwarming komt dit door een toename van het aantal dagen waarop de wind uit het zuidwesten waait.

De temperatuur in ons land wordt sterk beïnvloed door de overheersende wind. Westenwind, die lucht aanvoert vanaf de zee, zorgt in de winter voor zacht weer. Oostenwind (over land dus) leidt in de zomer tot relatief hoge temperaturen. Onduidelijk is of de toename van 'warme' winden in februari en maart deels samenhangt met menselijke invloed op het klimaat of dat die verandering uitsluitend wordt veroorzaakt door natuurlijke schommelingen.

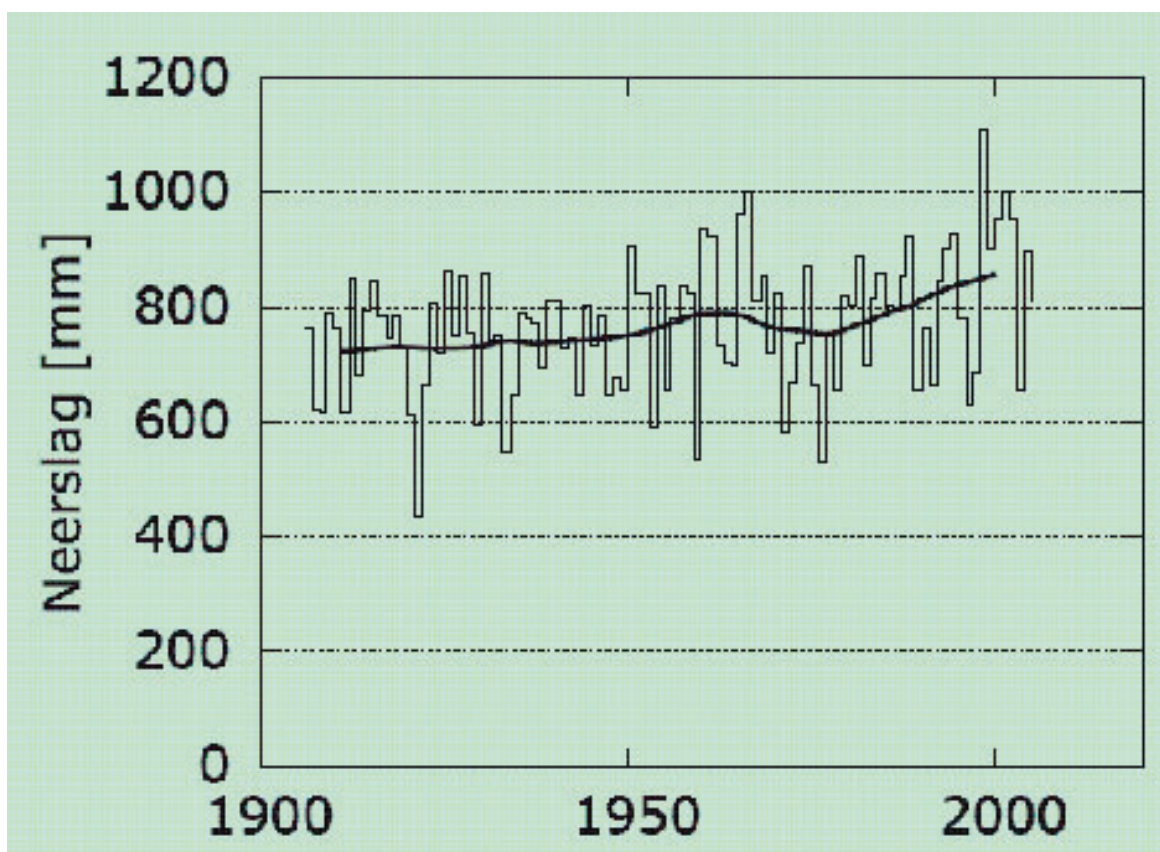


Figuur B4.1 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

Neerslag

In Nederland is de jaarlijkse neerslag vanaf 1906 toegenomen met 18% (Figuur B5 2). Dit komt vooral voor rekening van de winter (+26%), het voorjaar (+21%) en de herfst (+26%). In de zomer is de neerslaghoeveelheid nauwelijks veranderd (+3%).

In de winter nam ook de neerslaghoeveelheid in lange periodes met veel regen toe. De hoogste 10-daagse neerslagsom per winter is sinds 1906 met 29% gestegen. In de zomer is geen duidelijke trend in extreme neerslag vastgesteld.

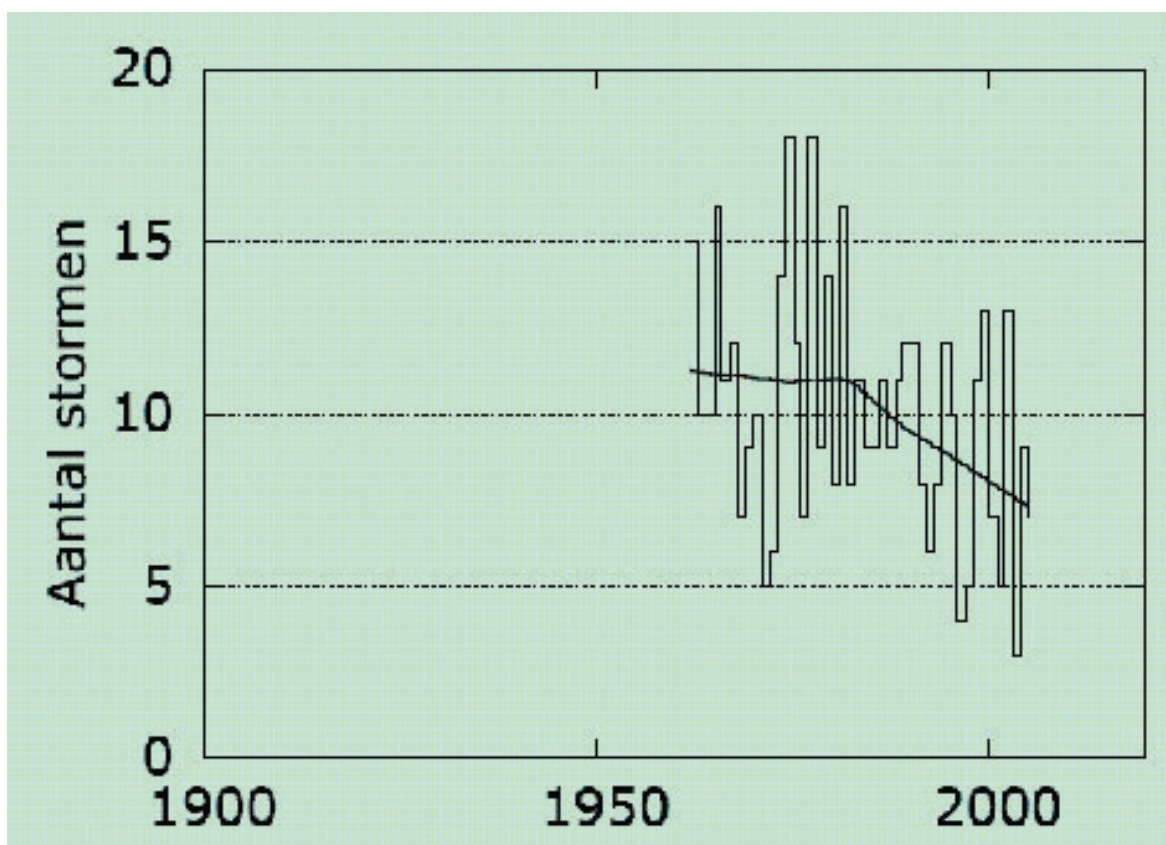


Figuur B4.2 Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

Wind

Uit metingen op KNMI-stations blijkt dat het totale aantal 'stormen' (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) in Nederland sinds 1962 is afgenomen (Figuur B4.3). Dergelijke gebeurtenissen komen gewoonlijk gemiddeld 10 keer per jaar voor, maar momenteel hebben we 20-40% minder 'stormen' dan begin jaren zestig.

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

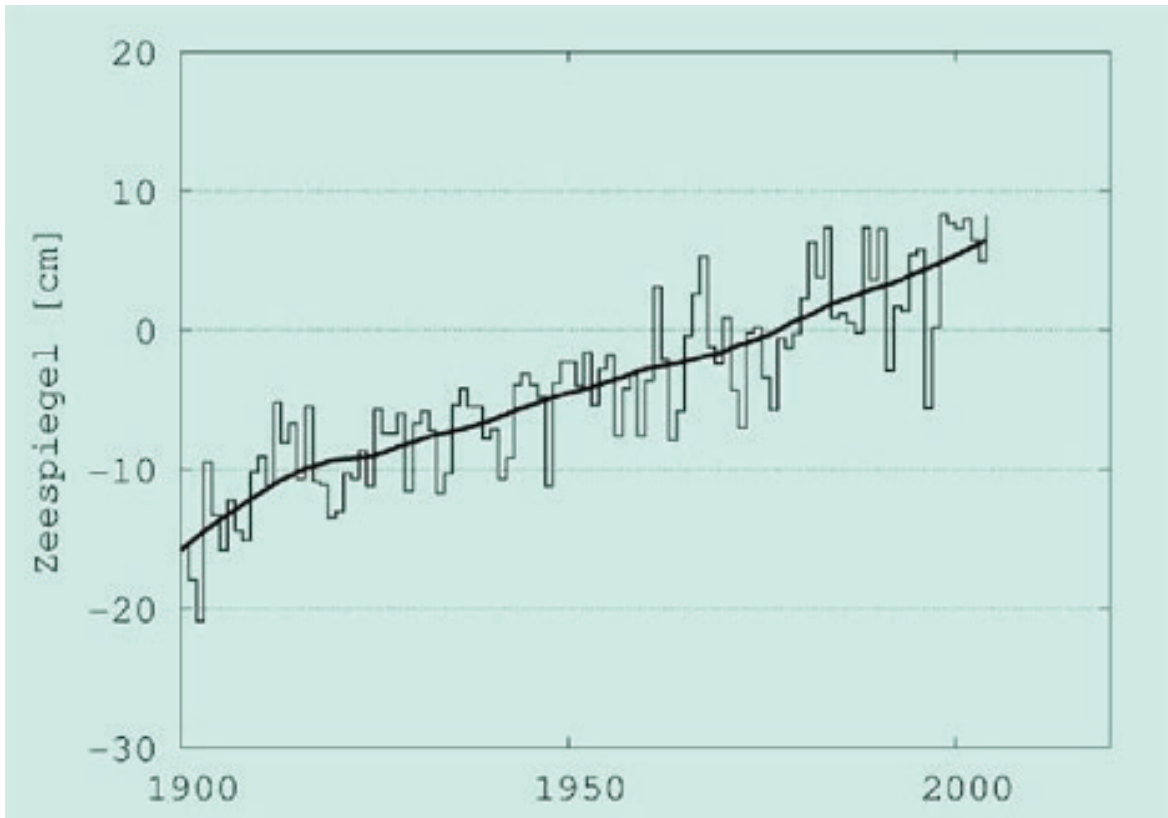


Figuur B4.3 Aantal 'stormen' in Nederland (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) tussen 1962 en 2005 (gemiddelde van 13 stations). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

Zeespiegel

Voor de periode vanaf 1900 was de stijging in de Noordzee gemiddeld 2 mm per jaar, ofwel 20 cm in de 20e eeuw (Figuur B5 4). De waterstand in de Noordzee wordt niet alleen bepaald door de zeespiegelstijging in de Atlantische Oceaan, maar ook door veranderingen in de opstuwing van het water in de Noordzee.

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



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

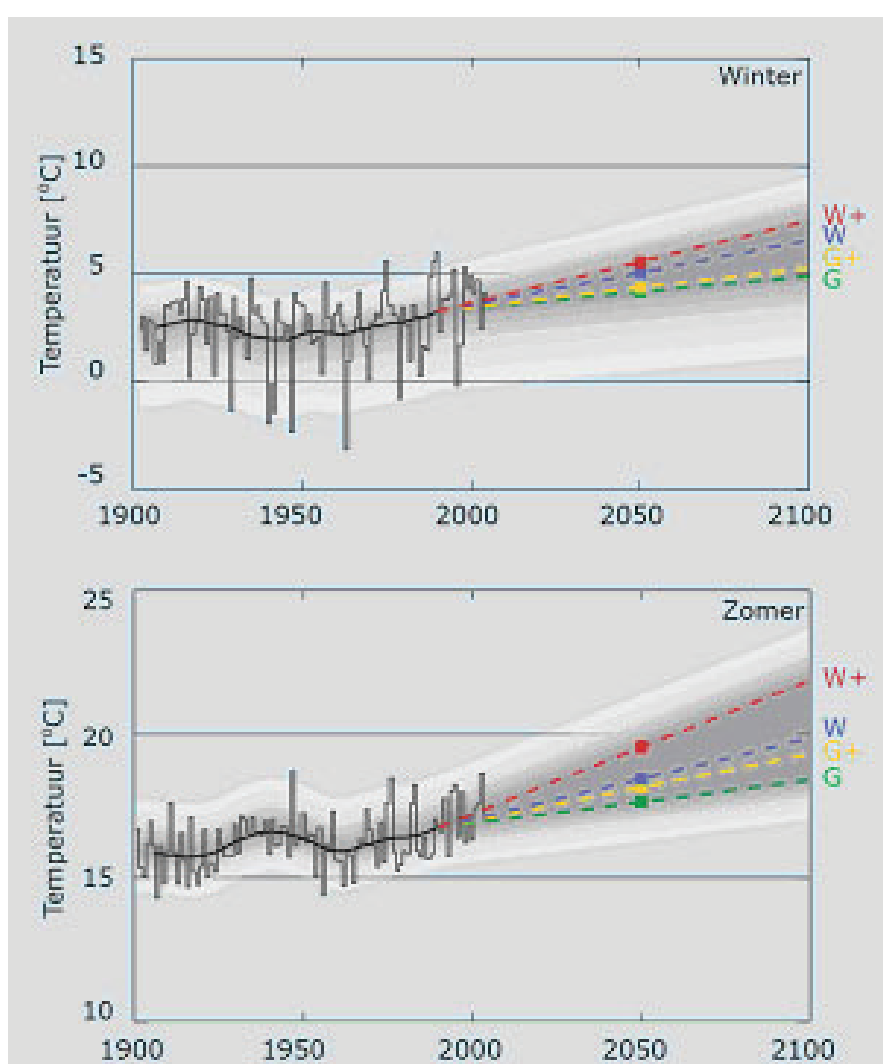
BIJLAGE 5 PRIMAIRE EFFECTEN: KAARTEN EN ADDITIONELE INFORMATIE

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

Temperatuur

Gemiddelde temperaturen

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



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

Tabel B5.1 geeft een vertaling van de klimaatscenario's naar gemiddelde minimum- en maximumtemperaturen per seizoen in enkele plaatsen in Noord-Holland. Deze gegevens zijn gegenereerd met behulp van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. De tabel laat zien dat de temperatuurstijging in het W+ scenario het grootst is in alle seizoenen. Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumdagtemperatuur is in alle scenario's voorsnog gelijk gehouden aan de huidige situatie. Uit waarnemingen van de afgelopen 25 jaar blijkt dat de minimum- en maximumtemperatuur ongeveer even snel stijgen (IPCC, 2007), maar het is niet onmogelijk dat de temperatuurschommeling per etmaal wel verandert in de toekomst. De bewolgingsgraad heeft een duidelijke invloed op de temperatuurschommeling per etmaal. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Nederland in het overgangsgebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt. Op basis van deze gegevens en de geringe verandering van het aantal regendagen in alle seizoenen voor het G en W scenario (KNMI, 2006) lijkt de aanname gerechtvaardigd dat de verschillen tussen de minimum- en maximumtemperatuur in de toekomst niet echt veranderen. Ook in het G+ en W+ scenario verandert het aantal regendagen in de winter weinig, en op basis hiervan verwachten we ook geen grote verandering in dagelijkse gang van de temperatuur. In de zomer in de G+ en W+ scenario's verandert het aantal dagen met neerslag wel aanzienlijk. In die gevallen is de kans het grootst dat de verschillen tussen minimum- en maximumtemperaturen toch veranderen. De afname van het aantal natte dagen in de zomer in deze scenario's en de daarbij mogelijke afname van de bewolking leidt mogelijk tot een sterkere toename van de maximumtemperatuur (door extra instraling overdag) en tot een minder sterke toename van de minimumtemperatuur (door extra uitstraling 's nachts), met als gevolg een toename van de dagelijkse gang. De relatie tussen hoeveelheid straling en de neerslagduur in de zomermaanden (juni-augustus) is niet erg eenduidig in het huidige klimaat (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002) p. 55 en p. 78)

Tabel B5.1 Gemiddelde en extreme minimum- en maximumtemperaturen rond Schiphol en De Kooy (bij Den Helder) in het huidige klimaat (1976-2005) en rond 2050* voor de verschillende KNMI'06 scenario's (gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/).

	plaats	1976-2005	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
Gemiddelde maximum dagtemperatuur (°C)						
winter	Schiphol	6,0	6,9	7,1	7,8	8,3
	De Kooy	5,7	6,6	6,8	7,5	8,0
lente	Schiphol	13,2	14,1	14,4	15,0	15,7
	De Kooy	11,5	12,4	12,8	13,3	14,0
zomer	Schiphol	21,0	21,9	22,5	22,8	23,9
	De Kooy	19,4	20,3	20,8	21,2	22,3
herfst	Schiphol	14,2	15,1	15,6	16,0	16,9
	De Kooy	13,8	14,7	15,1	15,6	16,5
Gemiddelde minimum dagtemperatuur (°C)						
winter	Schiphol	0,9	1,8	2,0	2,7	3,2
	De Kooy	1,2	2,1	2,3	3,0	3,5
lente	Schiphol	4,9	5,8	6,2	6,7	7,5
	De Kooy	5,2	6,1	6,5	7,1	7,8
zomer	Schiphol	11,9	12,9	13,4	13,8	14,9
	De Kooy	12,8	13,7	14,2	14,6	15,7
herfst	Schiphol	7,3	8,2	8,7	9,2	10,0
	De Kooy	8,2	9,1	9,5	10,0	10,9
Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur (°C)						
	Schiphol	31,3	32,4	33,3	33,5	35,4
	De Kooy	29,3	30,4	31,5	31,6	33,7
Gemiddelde jaarlijkse laagste minimumtemperatuur (°C)						
	Schiphol	-9,7	-8,6	-8,1	-7,5	-6,5
	De Kooy	-9,0	-7,9	-7,4	-6,9	-5,8

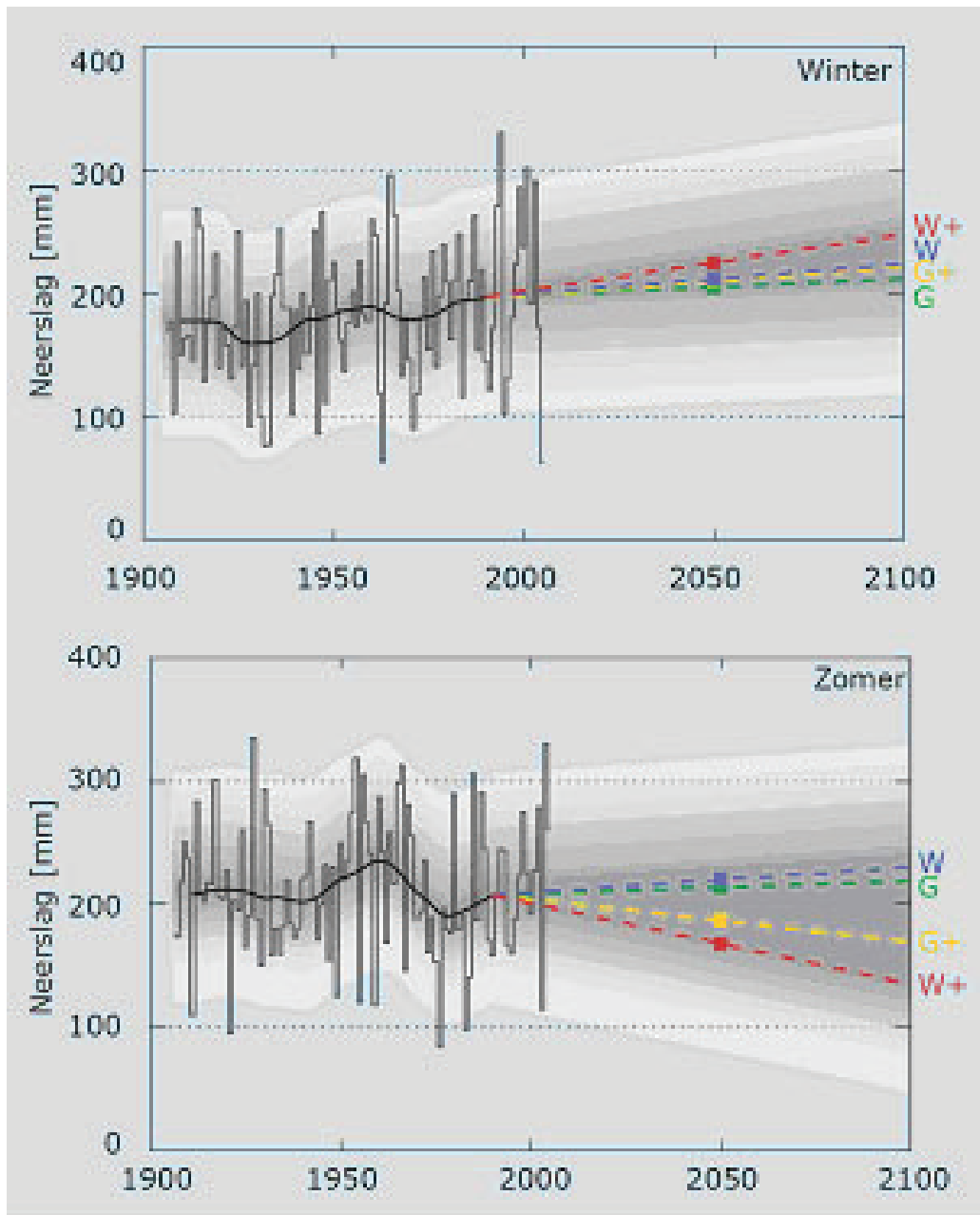
* De verandering in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 is twee maal zo groot als de verandering in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

Temperatuur extremen

Voor de warmste zomerdagen en de koudste winterdagen neemt de temperatuur relatief sterker toe, vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen (zie ook Figuur 1.3). De figuren 2.1 tot en met 2.5 laten de veranderingen zien in het gemiddeld aantal ijsdagen (maximumtemperatuur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), vorstdagen (minimumtemperatuur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$), warme dagen (maximumtemperatuur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), zomerse dagen (maximumtemperatuur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) en tropische dagen (maximumtemperatuur $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) per jaar rond 2050 voor het W en W+ scenario ten opzichte van het klimaat rond 1990 (1976-2005). Deze figuren zijn gegenereerd op basis van gegevens van 17 KNMI-stations in Nederland, waarvan de stations Schiphol en De Kooy in de provincie Noord-Holland liggen. Dit aantal is te klein om alle ruimtelijke patronen goed met behulp van een GIS te genereren. De figuren geven het ruimtelijk patroon binnen Noord-Holland wel redelijk weer (om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid kunnen de kaarten het best vergeleken worden met de kaarten uit de "Klimaatatlas 1971-2000" (KNMI, 2002; p. 40 en 44).

In het huidige klimaat is het aantal warme, zomerse, tropische en vorstdagen aan de kust kleiner dan meer in het binnenland (Figuren 2.1-2.5). Voor ijsdagen is er een minder duidelijk land-zee-effect, doordat ijsdagen vooral optreden bij noorden- tot oostenwind (terwijl in Nederland de overheersende windrichting zuid-west is). Afwijkingen van dit globale patroon worden veroorzaakt door de toevallige condities op een KNMI-station.

De KNMI'06 scenario's gaan uit van dezelfde verandering in temperatuur voor heel Nederland. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg en Nederland is te klein om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Nederland te rechtvaardigen. Bovendien zijn de ruimtelijke patronen in klimaatverandering niet altijd consistent tussen de verschillende klimaatmodellen. De ruimtelijke verschillen in de onderstaande kaarten worden dus veroorzaakt door verschillen in het huidige klimaat. Vandaar dat de ruimtelijke patronen in de kaarten voor 1976-2005 en voor de toekomst (in principe) hetzelfde zijn.



Figuur B5.2 Neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.

Neerslag

Gemiddelde neerslag

Figuur B5.2 laat de veranderingen in gemiddelde zomer- en winterneerslag onder de verschillende scenario's zien.

Figuur 2.1-2.11 zijn gegenereerd op basis van gegevens van 280 KNMI-neerslagstations in Nederland, waarvan er 36 in de provincie Noord-Holland liggen (zie figuur B6.1). Dit is voldoende om een vrij goed beeld te schetsen van de ruimtelijke patronen. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid kunnen de kaarten het best vergeleken worden met de kaarten uit de 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Merk op dat de ruimtelijke verschillen binnen Nederland niet alleen het gevolg zijn van klimatologische verschillen maar, door het grillige karakter van de neerslag, voor een deel ook het gevolg van toevallige verschillen.

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

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

Neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's komen de relatieve veranderingen van de gemiddelde en extreme neerslag niet overeen. Het duidelijkst is dit te zien bij de zomerneerslag. In de '+'-scenario's (G+ en W+) neemt de gemiddelde neerslag in de maanden juni t/m augustus af (zie figuur 2.8), terwijl de extreme neerslag toeneemt (dagsom die eens per 10 jaar wordt overschreden). De hoogste dagneerslagsom treedt meestal in het zomerhalfjaar op. In de zomermaanden zijn, bij gelijke overschrijdingsfrequentie (bijvoorbeeld eens per 10 jaar), de dagsommen van de neerslag ongeveer 1,5 maal zo groot (50% groter) dan in de wintermaanden (STOWA, 2004). Deze extreme neerslag kan voor lokale wateroverlast zorgen. Dit speelt vooral in het stedelijk gebied, maar ook in het landelijk gebied kan dan lokale wateroverlast optreden bijvoorbeeld als de gemaalcapaciteit in polders niet voldoende is om het water snel af te voeren. Om een indruk te geven van de verandering in extreme neerslag is in Figuur 2.9 het aantal dagen met meer dan 15 mm afgebeeld. Uit deze figuur is af te leiden dat het aantal dagen per jaar met minimaal 15 mm neerslag in alle scenario's toeneemt. In de "+"-scenario's (G+ en W+) is de toename gering, en in de G en W scenario's het grootst. In deze scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen is de toename van extreme neerslag in de zomer procentueel ook het grootst.

Ruimtelijke patronen neerslagextremen

In de KNMI'06 scenario's wordt onder andere de verandering in de dagsom die eens per 10 jaar voorkomt in de zomermaanden (juni-augustus) genoemd. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 54 mm of meer in 24 uur (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Aangezien er voor te weinig stations in Nederland lange tijdreeksen bestaan, is het moeilijk om eventuele ruimtelijke verschillen hierin vast te stellen. Er kan ook niet zonder meer worden aangenomen dat de afgeleide statistiek voor De Bilt in het STOWA-rapport (2004) representatief is voor heel Nederland. Hoewel Nederland maar een klein land is, bestaan er grote verschillen in het neerslagklimaat door verschillen in land-/zeeligging, grondsoorten, landgebruik, en in mindere mate orografie. Bij een overschrijdingsfrequentie van eens per 10 jaar is vastgesteld dat de neerslag die in 24 uur of langer valt significant verschilt tussen stations in Nederland, waarbij is vastgesteld dat de verschillen tussen De Bilt en de overige beschouwde stations maximaal 12% is. Het STOWA-rapport (2004) vermeldt dat een eerste schatting voor andere locaties in Nederland is te maken door lineaire schaling met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid (door de resultaten voor De Bilt te vermenigvuldigen met de ratio van de gemiddelde jaarsom van de gewenste locatie en die van De Bilt). Tabel 5.2 geeft voor enkele stations in Noord-Holland een schatting met deze methode van de neerslaghoeveelheid in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het huidige klimaat en voor alle vier de KNMI'06 scenario's rond 2050. Daarbij is de verandering in de zomermaanden gebruikt, omdat jaarmaxima meestal in deze maanden vallen (zie figuur 3B in STOWA-rapport, 2004), en de lineaire schaling is gebaseerd op de gemiddelde jaarneerslag in de periode 1976-2005. De verschillen tussen de

KNMI-neerslagstations zijn zeer klein, ook ten opzichte van station De Bilt. Vandaar dat de gegevens van De Bilt vaak wel als representatief voor Nederland worden gezien. In een artikel in H2O (2005, pp. 25-27) stellen Diermanse e.a. dat de schaling met de gemiddelde jaarneerslag voor Delfland een onderschatting geeft. De eerste resultaten van onderzoek op het KNMI in het kader van het project 'Neerslag tot Schade' bevestigen de resultaten van Diermanse e.a. (2005).

Het STOWA-rapport (2004) vermeldt geen getallen voor extreme 10-daagse sommen, maar wel voor 9-daagse sommen. In De Bilt valt in het huidige klimaat (1906-2003) gemiddeld eens per 10 jaar een hoeveelheid van 109 mm of meer in 9 dagen (STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). De hoogste 9-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. Het STOWA-rapport (2004) vermeldt dat ook voor de 9-daagse extreme neerslagsom een eerste schatting voor andere locaties in Nederland is te maken door lineaire schaling met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid. Ook hier geldt dat dan de verschillen tussen de KNMI-neerslagstations in Noord-Holland (range 97-118 mm) klein zijn, ook ten opzichte van station De Bilt. Een schatting van de toekomstige waarden is moeilijker te maken. Met behulp van het transformatieprogramma (http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/) worden er voor De Bilt veranderingen van -1% (W+) tot +14% (W) rond 2050 voor deze 9-daagse neerslagsommen verkregen. Echter, het transformatieprogramma onderschat de extreme dagsommen met lange herhalingstijden, en daarmee wellicht ook de extreme 9-daagse neerslagsommen.

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

KNMI-neerslagstation	Huidig klimaat	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
24-uurs neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (mm)					
Amsterdam	57	63	59	72	62
Kreileroord	48	55	51	62	53
Schellingwoude	58	66	61	74	64

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

Wind

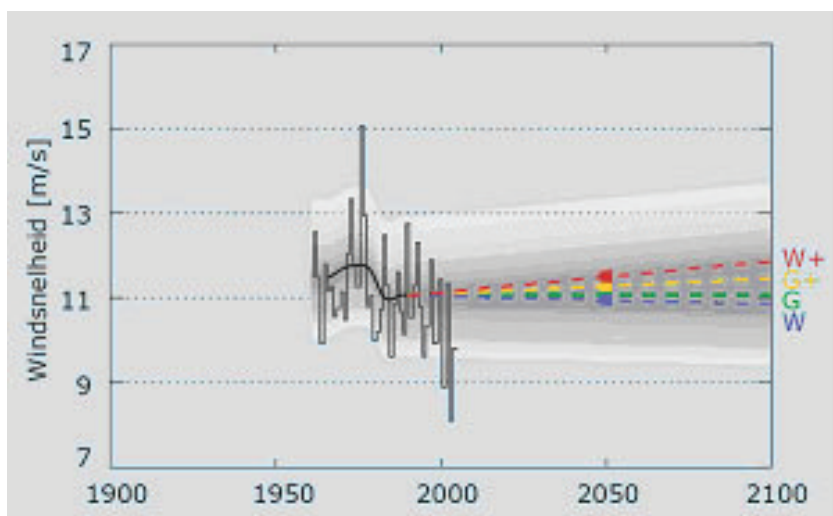
Voor het windklimaat in West-Europa is het van belang te weten in hoeverre de wereldwijde opwarming zal leiden tot een verandering van de luchtstromingspatronen. Die zijn bepalend voor het aantal, de sterkte en de gemiddelde baan van depressies, en daarmee voor het toekomstige stormklimaat. De modelberekeningen voor de stromingspatronen in onze regio verschillen onderling behoorlijk.

Op basis van de huidige kennis bestaat het vermoeden dat de veranderingen in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten klein zullen zijn. Echter er bestaan nog veel onzekerheden met betrekking tot wind en stormen. Voor het lokale windklimaat is daarom een eventuele verandering van de ligging van de stormbanen belangrijker. De meeste klimaatmodellen simuleren een poolwaartse verschuiving van de stormbanen met maximaal enkele honderden kilometers. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen, die over de afgelopen 40 jaar een noordwaartse verschuiving van 100 kilometer over de Atlantische oceaan laten zien. Het effect voor Nederland van de verschuiving van de stormbanen is beperkt omdat de stormbaan boven Nederland breed is. Een verschuiving van een paar honderd kilometer heeft daarom geen groot effect.

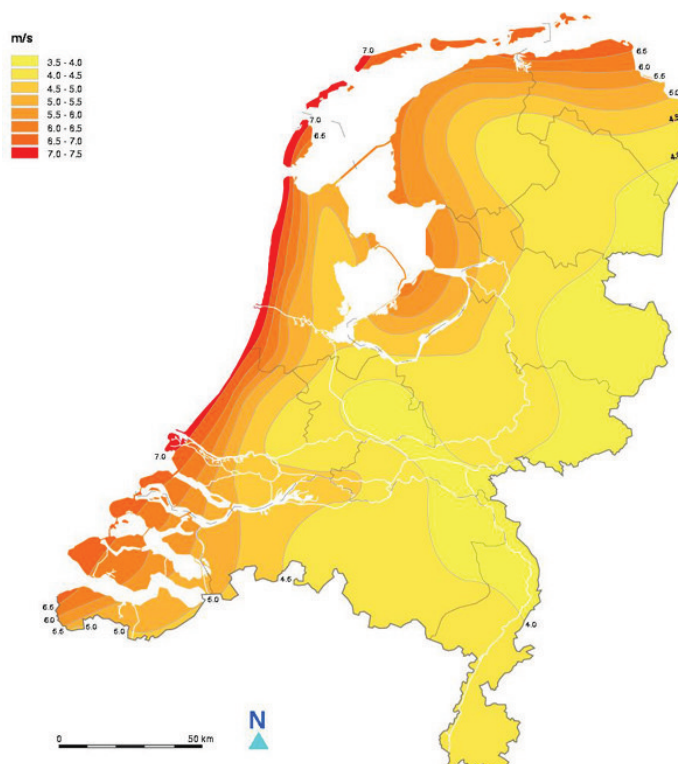
Figuur B5.3 geeft de veranderingen tot 2100 voor de vier KNMI'06 scenario's. In geen van de scenario's zet de waargenomen dalende trend van het totale aantal stormen in Nederland in dezelfde mate door.

Ruimtelijke patronen

Figuur B5.4 geeft een indruk van de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde windsnelheid ('Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Op het KNMI-station Schiphol is de gemiddelde windsnelheid over het jaar 5,1 m/s (periode 1971-2000) en op het KNMI-station De Kooy is dit 6,0 m/s. De hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar ligt voor deze stations hoger dan voor De Bilt (figuur B5.10).



Figuur B5.3 Hoogste daggemiddelde windsnelheid in De Bilt per jaar tussen 1962 en 2005, en de vier klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen.



Figuur B5.4 Gemiddelde windsnelheid in 1971-2000

Neerslagtekort

Het neerslagtekort wordt gedefinieerd als de neerslag minus de potentiële verdamping. Op het KNMI wordt de potentiële verdamping berekend met de formule van Makkink (op basis van straling en temperatuur). Het cumulatieve neerslagtekort wordt vaak vanaf 1 april berekend, aangezien 1 april ongeveer overeenkomt met het begin van het groeiseizoen voor veel planten. Bij een groot neerslagtekort wordt de groei van planten beperkt door watertekort. Droogte wordt soms gedefinieerd in termen van hoeveelheid neerslag, maar vaak ook in termen van neerslagtekort. Het jaar 2003 staat bekend als een droog jaar in het recente verleden

(maximale cumulatieve neerslagtekort van 217 mm gemiddeld over Nederland), maar 1976 was nog veel droger in termen van neerslagtekort (361 mm; Beersma et al., 2004). Het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april en op basis van 13 KNMI-stations is 144 mm voor de periode 1906-2000.

Als gevolg van de hogere temperaturen zal de potentiële verdamping toenemen. In de zomermaanden neemt de potentiële verdamping in de '+'-scenario's aanzienlijk toe (met 8% tot 15%; in deze scenario's stijgt de temperatuur in de zomer ook het sterkst). In de G+ en W+ scenario's is van de respectievelijke 8 (7,6)% en 15 (15,2)% toename in de potentiële verdamping rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990 3,6 en 7,2% toename het gevolg van de bijbehorende verandering in luchtstromingspatronen (de rest is het gevolg van de temperatuuroptocht: 4% per graad; van den Hurk et al, 2006: Hoofdstuk 5). Tegelijkertijd neemt de neerslag in de zomermaanden in deze '+'-scenario's ook het sterkst af. Dit heeft tot gevolg dat de droogte, in termen van neerslagtekort, in het G+ en W+ scenario's in de zomer sterk zal toenemen. Rond 2050 zal het gemiddelde maximale neerslagtekort vanaf 1 april voor Nederland onder de KNMI'06 scenario's zijn gestegen van 151 mm (G-scenario) tot 220 mm (W+-scenario).

Ruimtelijke patronen

De jaarlijkse potentiële verdamping verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002; p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook duidelijke ruimtelijke verschillen zien, maar het ruimtelijk patroon verschilt nogal van maand tot maand. In de maanden mei t/m juli is het neerslagtekort langs de kust van Noord-Holland wat groter dan meer landinwaarts, maar in de andere maanden van het zomerhalfjaar (april-september) is er weinig ruimtelijk verschil binnen de provincie. Door deze temporele en ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald. In de KNMI'06 scenario's worden geen regionale verschillen in relatieve verandering in klimaatvariabelen meegenomen.

Zonneschijn

De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur, maar wel over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneschijn en het aantal regendagen (of de neerslagduur), maar deze relatie is niet in elk seizoen of elke maand even duidelijk (zie 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002) en vergelijk neerslagduur per seizoen en het aantal uren zonneschijn per maand. Voor de wintermaanden (december-februari) is de verandering in het aantal regendagen in alle gevallen klein (0% tot +2% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990). Voor de zomer (juni-augustus) is de verandering in het aantal regendagen in de G en W scenario's ook beperkt (-3% tot -2% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en we verwachten daarom weinig verandering in het aantal zonneschijnuren. In de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer aanzienlijk af (-10% tot -19% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en verwachten we een toename van het aantal uren zonneschijn.

Om een kwantitatieve inschatting van de verandering in straling te maken, kunnen we gebruik maken van de informatie over verandering in de potentiële verdamping. Van den Hurk et al. (2006) vermelden dat op basis van modelresultaten van het PRUDENCE-project is bepaald dat als gevolg van temperatuurstijging de potentiële verdamping met ongeveer 4% per °C toeneemt, en als gevolg van verandering in luchtstroming met 6% per m/s verandering in Ugeo¹ (er treedt een toename op van de potentiële verdamping en straling bij een lagere Ugeo, de maat die is gebruikt om de verandering in luchtstromingspatronen weer te geven). In de G+ en W+ scenario's is van de respectievelijk 8 (7,6)% en 15 (15,2)% toename in de potentiële verdamping in de zomermaanden rond 2050 ten opzichte van 1990 3,6% en 7,2% van deze toename het gevolg van de verandering in luchtstromingspatronen en de bijbehorende verandering in straling. In de wintermaanden treedt in het G+ en W+ scenario ook een verandering in luchtstromingspatronen op (meer westenwind). Dit zou bij dezelfde regels een vermindering van de straling met respectievelijk 3% en 6% rond 2050 ten opzichte van 1990 tot gevolg hebben.

¹ De geostrofe wind is een eerste orde benadering van de wind in de vrije atmosfeer (vanaf ca. 1-2 km hoogte). Ugeo is de west-oost component van de geostrofe wind.

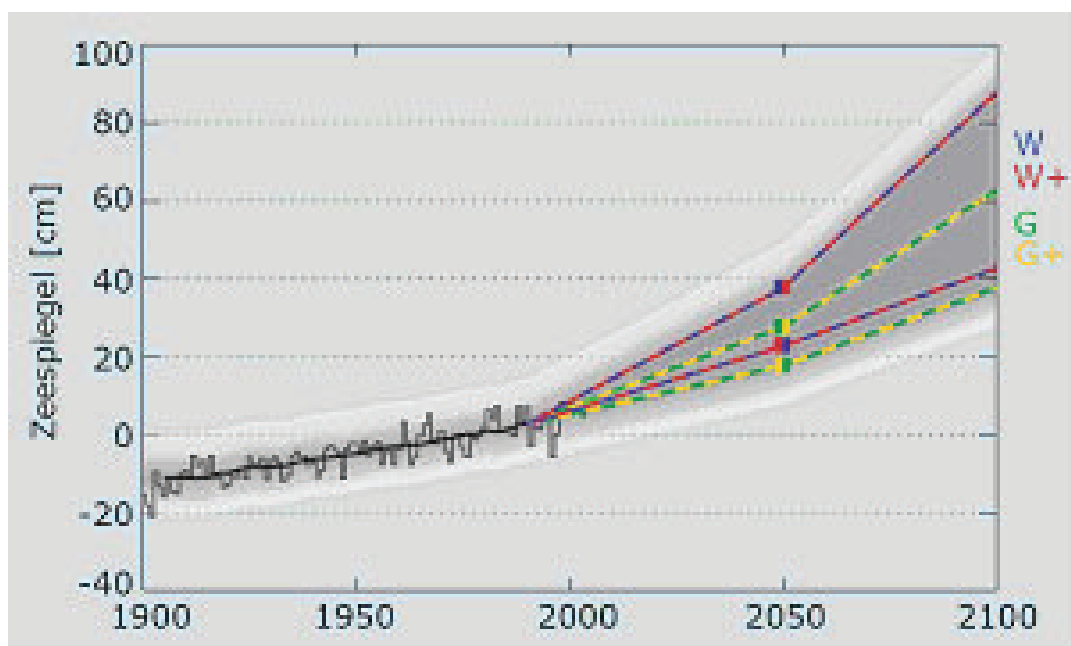
Zeespiegel

De KNMI'06 klimaatscenario's vermelden een absolute zeespiegelstijging in 2050 (dat wil zeggen zonder rekening te houden met de bodemdaling in Nederland) aan de Nederlandse kust die varieert tussen de 15 cm en 35 cm (Figuur B5.4). Omstreeks 2100 varieert de stijging tussen de 35 cm en 85 cm.

Vergelijking IPCC en KNMI'06 klimaatscenario's

De zeespiegelstijgingen uit de klimaatscenario's van het KNMI zijn gebaseerd op dezelfde modelstudies waarop het IPCC (2007) zich baseert. Toch komt het KNMI uit op een grotere bandbreedte: 35 tot 85 centimeter zeespiegelstijging in 2100 ten opzichte van 1990. Dit verschil van ruim 25 centimeter voor de bovengrens is het gevolg van een iets andere aanpak.

In de KNMI'06 scenario's zijn regionale effecten meegenomen voor de uitzetting van het zeewater: de cijfers representeren niet het wereldgemiddelde maar de zeespiegelstijging door uitzetting in het noordoosten van de Atlantische Oceaan. Naar verwachting zal de zeespiegel daar ongeveer 0 tot 15 centimeter meer stijgen dan het wereldgemiddelde. In het noorden brengt de 'Warme Golfstroom' water van het oppervlak naar de diepte. In het noorden warmt daarom niet alleen het zeewater aan het oppervlak maar ook dat op grotere diepte op in reactie op een stijgende atmosfeertemperatuur. Het gevolg is meer uitzetting in het noorden dan in de tropen en subtropen. De extra opwarming en de verwachte afzwakking van de "Warme Golfstroom" hangen met elkaar samen.



Figuur B5.4 Gemiddelde zeespiegelstand langs de Nederlandse kust tussen 1900 en 2004 ten opzichte van NAP (" absolute zeespiegelstijging), en de klimaatscenario's voor 2050 (gekleurde stippen). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde in de waarnemingen. De dikke gekleurde gestippelde lijnen verbinden elk klimaatscenario met het basisjaar 1990. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Bron waarnemingen: RWS-RIKZ.

Een ander belangrijk verschil tussen de cijfers van het KNMI en het IPCC is de bijdrage van de Groenlandse en West-Antarctische ijskap. De laatste jaren neemt bij beide ijskappen de afkalving aan de randen sterk toe. Deze waarnemingen hebben een belangrijke beperking van de huidige ijskapmodellen blootgelegd: de processen die deze toename kunnen veroorzaken ontbreken nog in de modellen. Het IPCC stelt daarom dat de gevoeligheid van de ijskappen voor opwarming van de atmosfeer groter kan zijn dan tot nu toe gedacht. De bijdrage van 10 tot 20 centimeter wordt apart genoemd, en niet opgenomen in de schatting voor de totale zeespiegelstijging. Gezien de mogelijk grote gevolgen voor Nederland acht het KNMI het van belang om de bijdrage van versneld afkalven mee te nemen in de bepaling van de bovengrens.

BIJLAGE 6 METHODIEKEN KLIMATOLOGISCHE KAARTEN

KlimaAtlas

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

Beschikbare historische klimaatgegevens

Voordat iets gezegd kan worden over de veranderingen in de toekomst heeft men eerst een goede beschrijving van de huidige situatie nodig. In de huidige klimaatatlas staan vele kaarten. Deze kaarten zijn gemaakt met behulp van puntgegevens van KNMI-meetstations met voldoende gegevens (30 jaar). De daggegevens van alle weerstations van het KNMI zitten in een database, die zeer regelmatig met de meest recente gegevens wordt aangevuld. Het KNMI heeft weerstations (waarvan 15 met voldoende lange tijdreeksen), waar een grote verscheidenheid aan gegevens wordt verzameld, en neerslagstations (283), waar alleen de neerslag per dag wordt gemeten (figuur B6.1). De historische periode waarover gemeten waarden aanwezig zijn verschilt per station.



Figuur B6.1 Locatie KNMI-weerstations (links) en -neerslagstations (rechts; zie website KNMI, onder Klimatologie/verleden weer).

Bij het maken van de kaarten in de Klimaatatlas is indertijd gebruik gemaakt van een GIS, maar vooral bij temperatuur moesten de kaarten met de hand worden aangepast (te weinig punten voor goede ruimtelijke patronen) op basis van klimatologische kennis. Ook zijn gegevens van stations gebruikt die een tijdreeks hadden die eigenlijk niet lang genoeg was. In die gevallen is de volgende methode gebruikt. Stel een station (bijvoorbeeld Delfzijl) heeft slecht 20 jaar met data en we willen het aantal zomerse dagen bepalen:

- bepaal het gemiddeld aantal zomerse dagen op basis van de 20 jaar voor Delfzijl;
- bepaal het aantal zomerse dagen voor enkele stations dicht bij Delfzijl met minimaal 30 jaar gegevens op basis van 30 jaar en op basis van dezelfde 20 jaar als beschikbaar voor Delfzijl;
- bepaal de verhouding tussen het aantal zomerse dagen op basis van 20 jaar en 30 jaar;
- gebruik deze verhouding op het aantal zomerse dagen voor Delfzijl op basis van 20 jaar gegevens aan te passen tot een schatting van het aantal dagen op basis van een langere (30 jaar) reeks voor Delfzijl.

Voor enkele stations met een te korte tijdreeks kan deze reeks gecombineerd worden met een nabijgelegen station. Dit is bijvoorbeeld gebeurd voor Lelystad en voor Westdorpe.

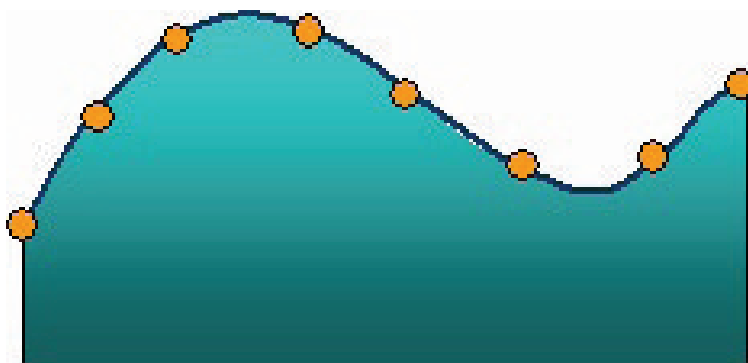
Klimaatgegevens voor de toekomst

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

Op basis van de getransformeerde tijdreeksen voor het klimaat rond 2050 zijn de verschillende klimaatvariabelen voor de toekomst berekend. Voor temperatuur waren er 15 stations met voldoende lange tijdreeksen. Daarnaast is voor 3 stations met kortere tijdreeksen (Lelystad, Westdorpe en Arcen) de reeks verlengd met die van een nabijgelegen station. Dit leverde een goed beeld op van de landelijke ruimtelijke patronen.

Klimaatkaarten

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



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

Opdrachtgever : Provincie Noord-Holland
Project : Klimaatschetsboek
Dossier : B1661.01-001
Redactie : Ir. Annemarieke Verbout, DHV B.V.
Auteurs : Dr. P.J.T. (Jan) van Bakel, Alterra Regionale waterhuishouding
Dr. Janette Bessembinder, KNMI, adviseur, Afdeling Klimaatdata en -advies
Dr.Ir. M. (Greet) Blom-Zandstra, Plant Research International, Plantaardige productiesystemen
Ir. C.M.L. (Tia) Hermans, Alterra Ruimtelijke Ordening; dynamiek van het ruimtegebruik
Dr.ir. Annemarth Idenburg, DHV B.V. Senior consultant duurzaamheid
Ir. Jan Willem Kooiman, Kiwa Water Reseach, Teamleider Geohydrologie; diepere grondwater- en bodemsystemen
Dr.ir. G.H.P. (Gualbert) Oude Essink, Deltares, Hydrogeologie, zoet-zout grondwater
Dr. Maurice P.C.P. Paulissen, Alterra, Gevolgen van abiotische veranderingen en verzilting voor natuur
Drs. Sabine van Rooij, Alterra Landschapsecologie
Dr. Eveliene Steingröver, Alterra Landschapsecologie
Dr.Ir. Lodewijk C.P.M. Stuyt, Alterra Integraal waterbeheer, verzilting
Ir. Annemarieke Verbout, DHV B.V. Adviseur
Dr. Claire C. Vos, Alterra Landschapsecologie
Dr. Marianne Walgreen, provincie Noord-Holland
Drs. Nander Wever, KNMI, klimaatonderzoeker, Afdeling Klimaatdata en -advies

Naam/paraaf :
Layout : Hanneke Busscher
Interne controle :
Projectleider : Job van den Berg
Projectmanager : Marjolein Demmers
Datum : 29 augustus 2008
