

*provincie* Drenthe



# Klimaateffetschetsboek Drenthe en Groningen

Alterra  
DHV B.V.  
KNMI  
VU

Provincie Drenthe  
Provincie Groningen  
September 2008



dossier : B1661.01.001  
registratienummer :  
versie : 1.2

Provincie: Drenthe  
Provincie Groningen  
september 2008

*Dit klimaateffetschetsboek is een co-productie van het KNMI, Alterra-Wageningen Universiteit, DHV en de provincies Groningen en Drenthe.*

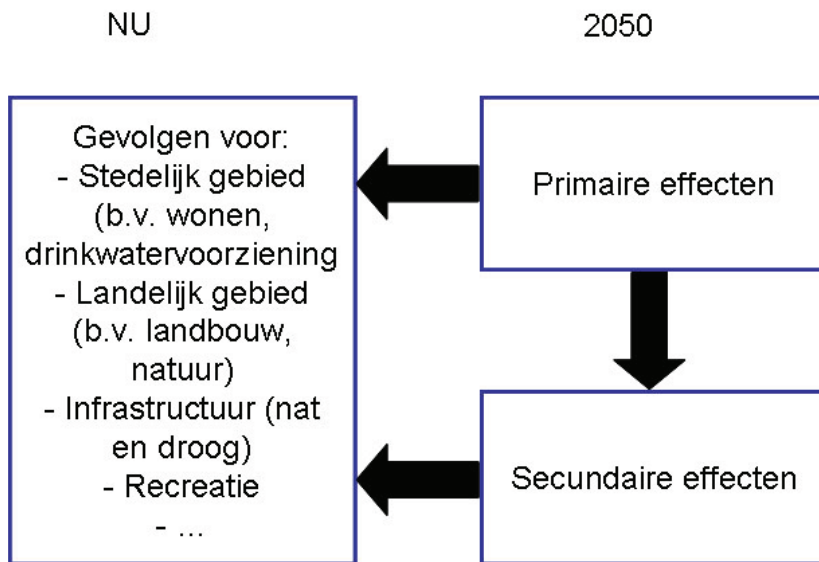
*Het project is mede mogelijk gemaakt door financiering uit het programma Klimaat voor Ruimte ([www.klimaatvoorruimte.nl](http://www.klimaatvoorruimte.nl)), waar het valt onder projectnummer COM21.*

*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 Klimaateffectschetsboek	7
1.2	Het klimaateffectschetsboek binnen de provincies	7
1.3	Het klimaat verandert	8
1.3.1	Klimaatverandering en het broeikaseffect	8
1.3.2	Klimaatscenario's	8
1.3.3	Hoe gaan we om met de onzekerheden over de toekomst?	10
1.4	Fysische-geografische kenmerken	13
2	PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN	21
2.1	Welke informatie geven de kaarten?	21
2.2	Temperatuur	23
2.2.1	Gemiddelde temperaturen	23
2.2.2	Temperatuur extremen	25
2.3	Neerslag	33
2.3.1	Gemiddelde neerslag	33
2.3.2	Extreme neerslag	37
2.4	Neerslagtekort	41
2.5	Zonneschijn	43
2.6	Wind	45
2.7	Zeespiegel	46
3	Secundaire klimaateffecten	49
3.1	Watersysteem	49
3.1.1	Veiligheid/overstromingsrisico's in Groningen	49
3.1.2	Effecten van klimaatverandering op de Groningse Waddenzee	50
3.1.3	Prioritering bij lage rivierafvoer	51
3.1.4	Veranderingen regionale watersystemen	51
3.1.5	Waterkwaliteit	53
3.2	Stedelijk gebied	53
3.2.1	Wateroverlast in stedelijk gebied	54
3.2.2	Watertekort in de stad	54
3.2.3	Hittestress in de stad	54
3.2.4	Luchtkwaliteit	55
3.3	Landelijk gebied	55
3.3.1	Ruimtedruk in de provincies Groningen en Drenthe	55
3.3.2	Wateroverlast Landelijk gebied	56
3.3.3	Verdroging in het landelijk gebied	57
3.4	Landbouw	58
3.4.1	Structurele en incidentele klimaatverandering	59
3.4.2	Wateroverlast in de winter	59
3.4.3	Droogteschade grondgebonden landbouw	60
3.4.4	Verziltingschade grondgebonden landbouw	61
3.4.5	Ziekten en plagen in de akkerbouw	61
3.5	Natuur	63
3.5.1	Effecten op natuur - algemeen	63
3.5.2	Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Groningen en Drenthe	66
3.5.3	Adaptatiemogelijkheden	69
3.6	Infrastructuur	71
3.6.1	Wateroverlast verkeers-infrastructuur.	72
3.6.2	Temperatuur en infrastructuur	72
3.7	Recreatie	73
3.8	Energiepotentiekaarten	73
	REFERENTIES	86
	BEGRIPPENLIJST	88
BIJLAGE 1	KNMI'06 klimaatscenario's	89
BIJLAGE 2	Interpretatie van de kaarten	93
BIJLAGE 3	Het stadseffect	94
BIJLAGE 4	Waargenomen veranderingen in Nederland	95
BIJLAGE 5	Primaire effecten: kaarten en additionele informatie	99
BIJLAGE 6	Methodieken klimatologische kaarten	108



Figuur 1.1 Klimaateffetschetsboek (Bron: Roggema, 2008)

## 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 provincies Groningen en Drenthe aanleiding om een klimaateffectschetsboek op te stellen, waarin de mogelijke gevolgen voor verschillende beleidsvelden 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.

### 1.1 Het Klimaateffectschetsboek

In het klimaateffectschetsboek worden de primaire en secundaire effecten van klimaatverandering op kaart gezet. Primaire effecten zijn de veranderingen in temperatuur, neerslag, wind en zeespiegel. Secundaire effecten zijn verdroging, vernatting, overstromingskansen of verzilting. Deze hangen af van de fysisch-geografische aspecten van een gebied, zoals hoogteligging, bodemtype, rivier- en bekenstelsels, en van de manier waarop een gebied is ingericht met (af)wateringssystemen, dijken, verharding en begroeiing (Roggema, 2008). 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 (zie figuur 1.1).

De primaire effecten zijn gebaseerd op de KNMI 2006 scenario's (zie voor toelichting paragraaf 1.3.2). Er is 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 de volledige bandbreedte de klimaatverandering volgens de KNMI 2006 scenario's in beeld gebracht (zie paragraaf 1.3.3).

Hiermee biedt het schetsboek inzicht in de basisgegevens over klimaatverandering in de komende vier decennia in de provincies Drenthe en Groningen. Het doel van de schetsboeken is om een feitelijke basis te bieden voor de discussie over een klimaatbestendige strategie voor de inrichting van de leefomgeving (adaptatiestrategie).

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

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 1.2 en hoofdstuk 2 met bijbehorende bijlagen). Teksten over secundaire klimaateffecten en gevolgen voor verschillende beleidsvelden komen van Alterra en DHV (hoofdstuk 3). DHV is verantwoordelijk voor de uiteindelijke redactie van het schetsboek.

### 1.2 Het klimaateffectschetsboek binnen de provincies

#### **Provincie Drenthe**

Onderstaand zijn enkele relevante citaten uit het collegeprogramma "Kiezen voor de kracht van Drenthe", april 2007, weergegeven.

*"De gevolgen van het klimaatbeleid voor het ruimtelijk beleid worden uitgewerkt... Het klimaat- en energiebeleid wordt integraal uitgewerkt... De gevolgen van de klimaatverandering voor het waterbeheer, landbouw, natuurontwikkeling en biodiversiteit worden onderzocht door de Universiteit van Wageningen in samenwerking met de SNNprovincies en LTO-Noord. Wij nemen het voortouw voor de afstemming van de ruimtelijke vraagstukken rond klimaat en energie. Voor de realisatie van onze ambities rond klimaat en energie wordt nauw samen gewerkt met kenniscentra, bedrijfsleven, MKB en maatschappelijke organisaties. Inzet is de nodige kennisontwikkeling te binden aan Drenthe."*

Bij de verdere uitwerking speelt het programma Klimaat en Energie een belangrijke rol. Adaptatie maakt deel uit van dit programma. Het programma is vastgesteld door Gedeputeerde Staten (mei 2008).

De uitkomsten van het project Klimaatschetsboek worden benut als bouwsteen voor een nieuw omgevingsplan, als opvolger van het vigerende POP (2004). De vaststelling van het nieuwe omgevingsplan is voorzien in 2009.

## **Provincie Groningen**

In de provincie Groningen wordt reeds sinds begin 2007 gewerkt met kaarten waarop de effecten van klimaatverandering worden weergegeven. Deze eerste rudimentaire kaarten zijn benut bij het opstellen van het huidige derde omgevingsplan. De kaarten uit het klimaateffetschetsboek zullen worden benut bij de uitvoering van het POP en bij alle gebiedsopgaven.

## **1.3 Het klimaat verandert**

### *1.3.1 Klimaatverandering en het broeikaseffect*

#### *Wat is klimaat?*

Het klimaat is het gemiddelde weer in een bepaald gebied over een langere periode. Bij een beschrijving van een klimaat wordt informatie gegeven over o.a. de gemiddelde temperatuur in verschillende seizoenen, de neerslag, uren zonneschijn, etc. Ook een beschrijving van de 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 (bijv. verschillen in zonneactiviteit, ijstijden, vulkaanuitbarstingen). Deze zorgen op korte of langere tijdschalen, en op regionale of mondiale schaal voor tijdelijke veranderingen van temperatuur, neerslag, etc. Ze veroorzaken natuurlijke variatie;
- Menselijk handelen (bijv. door veranderingen in landgebruik en door de uitstoot van broeikasgassen). Door veranderingen in landgebruik kan het klimaat, meestal op regionale schaal, veranderen. De grootschalige uitstoot van broeikasgassen zorgt voor mondiale klimaatverandering. Sinds het preïndustriële tijdperk (ong. 1860) is de CO<sub>2</sub> concentratie bijv. van 280 ppm (parts per million) toegenomen tot ongeveer 380 ppm nu.

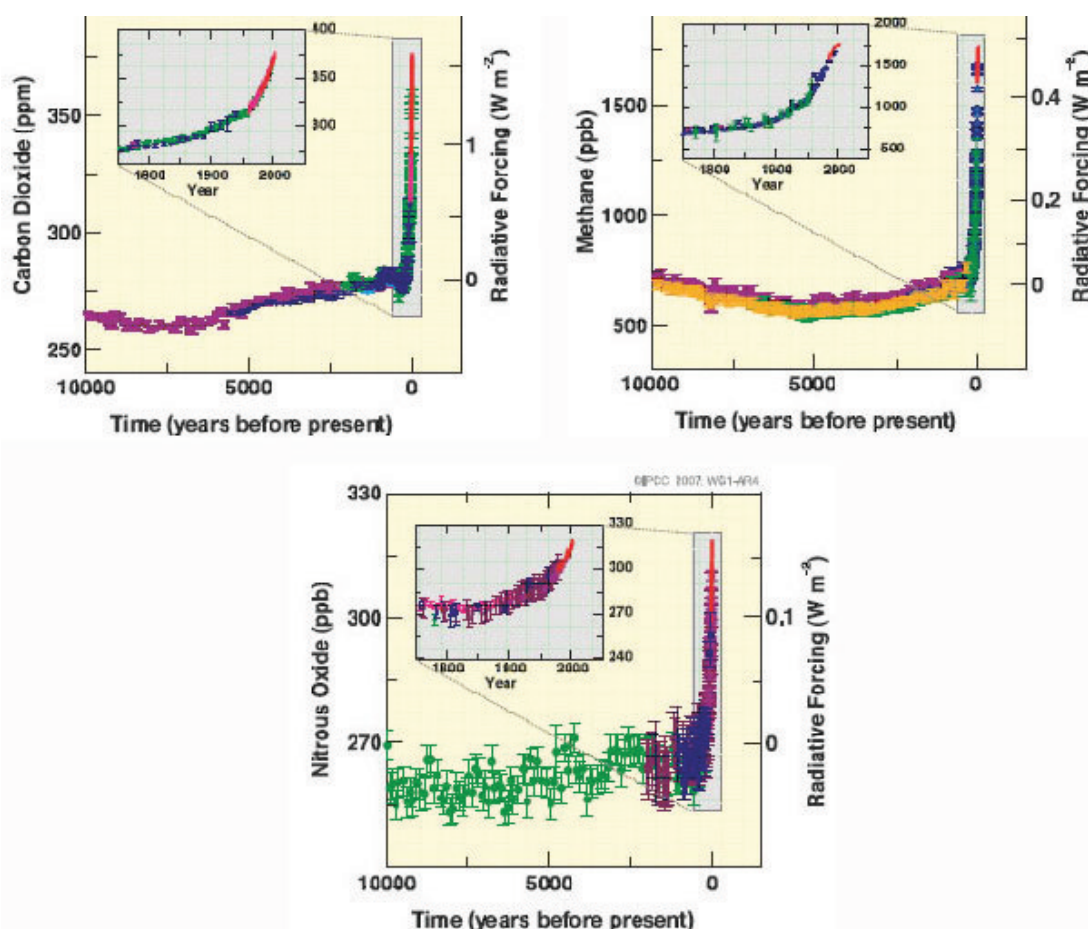
#### *Wat is het broeikaseffect?*

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. CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O door menselijk toedoen aanzienlijk gestegen (Figuur 1.2; IPCC, 2007).

### *1.3.2 Klimaatscenario's*

Klimaatscenario's zijn consistente en plausibele beelden van een mogelijk toekomstig klimaat. In mei 2006 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's (KNMI'06) voor Nederland en omgeving gepresenteerd. Deze zijn gebaseerd op dezelfde bronnen als het meest recente rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007). De KNMI'06 klimaatscenario's zijn min of meer de hoekpunten waarbinnen we verwachten dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen tot 2050 en 2100.





Figuur 1.2 Verandering van de concentraties  $CO_2$  (linksboven), methaan ( $CH_4$ , rechtsboven), en  $N_2O$  (onder) in de afgelopen 10.000 jaar (IPCC, 2007).

#### 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)<sup>1</sup> 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 1.4) 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.

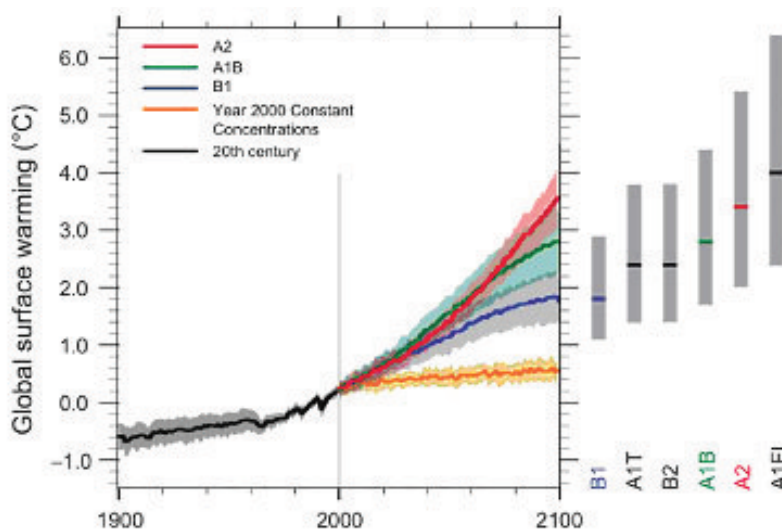
<sup>1</sup> Begin 2007 zijn de rapporten van werkgroepen 1 t/m 3 openbaar gemaakt (1: The physical science basis; 2: Impacts, adaptation and vulnerability, 3: Mitigation of climate change), met nieuwe projecties voor het klimaat in de toekomst. In november 2007 is het volledige rapport (Vierde assessment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

## 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's<sup>2</sup> is daarom op deze twee aspecten gebaseerd (Figuur 1.4).

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.



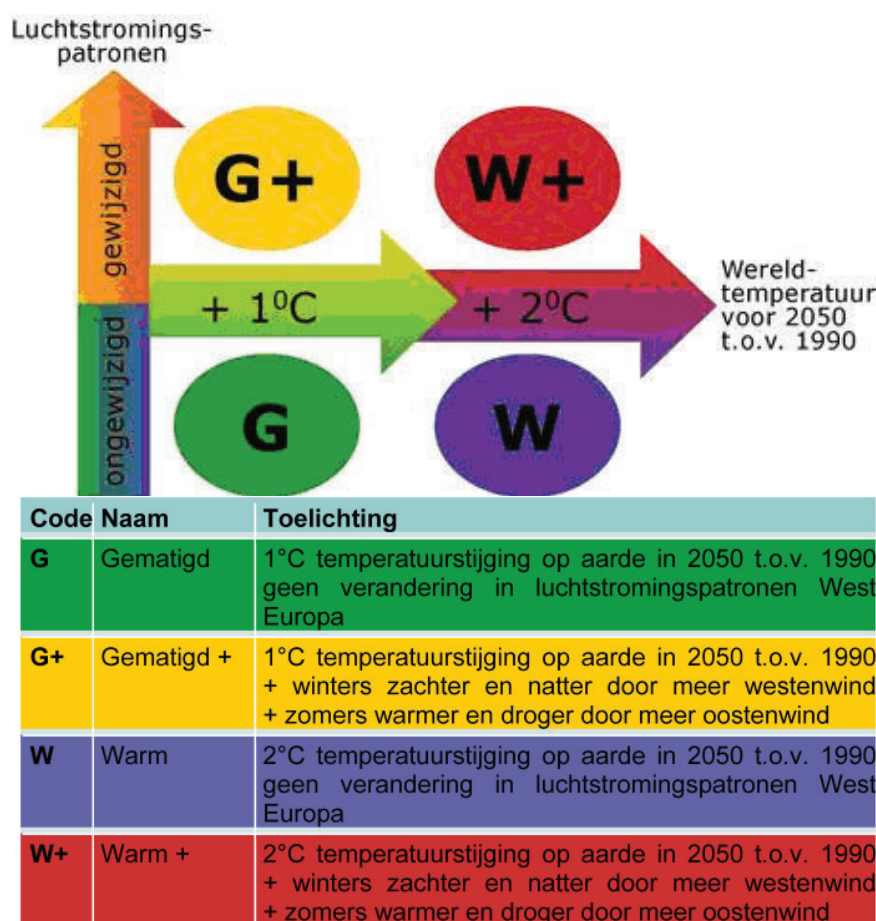
*Figuur 1.3 De IPCC-klimaatscenario's voor wereldgemiddelde temperatuur (=Global surface warming). De doorgetrokken lijnen geven de gemiddelde stijging van de wereldgemiddelde temperatuur t.o.v. 1980-1999 bij verschillende emissiescenario's. De "schaduw" achter deze lijnen geeft +/- 1x de standaardafwijking. 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).*

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 klimaat zich zal ontwikkelen: op basis van onze huidige kennis verwachten we dat de kans groter is dat ons toekomstig klimaat zich zal ontwikkelen binnen deze vier hoekpunten, dan daarbuiten.

### 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 dienen daarom als basis voor dit klimaateffetschetsboek.

<sup>2</sup> 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 bijbehorende wetenschappelijke achtergrondrapport (van den Hurk et al, 2006) en de website [www.knmi.nl/klimaatscenarios/](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/).



Figuur 1.4 Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's.

#### 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 klimaatstelsel 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 klimaatstelsel. 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 klimaatstelsel.

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:

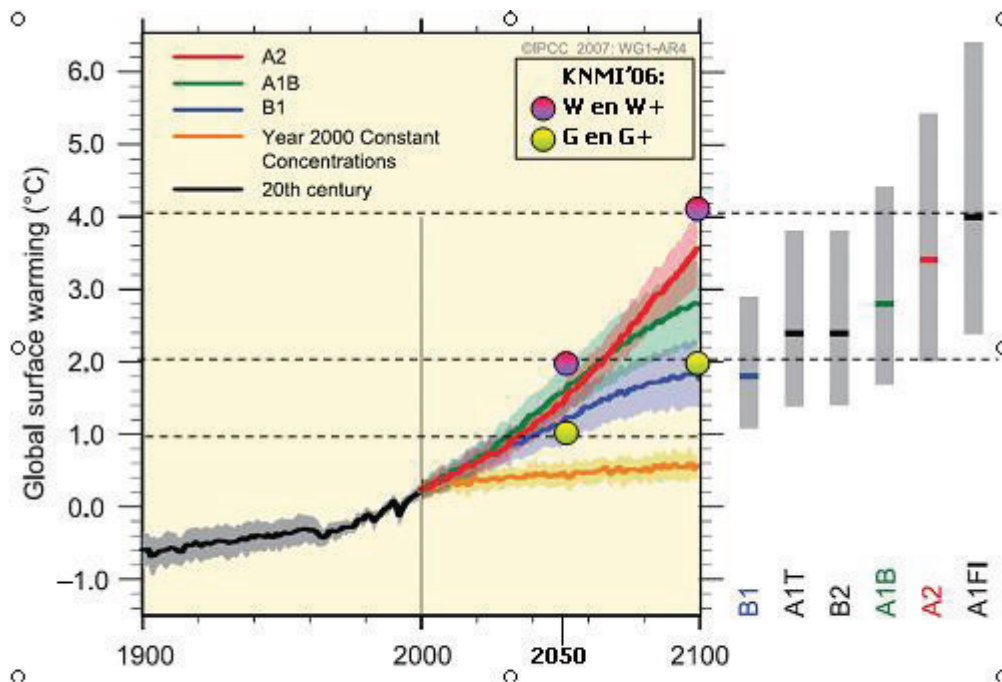
- Consistentie tussen klimaatmodellen (mondiale en regionale);
- Begrip waarom een bepaalde verandering gaat optreden;
- Goede onderscheiding van de verandering en de natuurlijke variatie.

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



*Figuur 1.5 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 1.3 en figuur 1.4). 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+.*

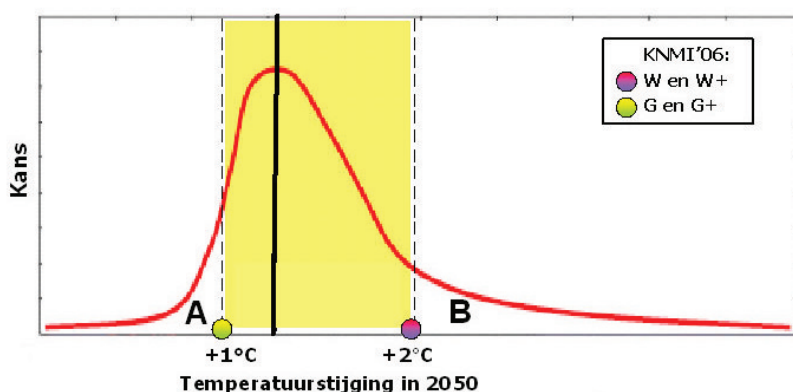
**Omgaan met onzekerheden**

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 1.5 en 1.6). Onzekerheden als gevolg van sociaal-economische en technologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door bij het ontwikkelen van de scenario's verschillende emissiescenario's (A1, A2, B1, B2 in figuur 1.5) mee te nemen. De onzekerheden m.b.t. het klimaatsysteem zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van een zo groot mogelijk aantal mondiale en regionale klimaatmodellen (de grijze balken aan de rechterkant in figuur 1.5). 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.

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 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 adaptatie beleid 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.



Figuur 1.6 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 opspannen.

#### 1.4 Fysische-geografische kenmerken

##### Groningen

In grote lijnen kan de provincie Groningen in drie verschillende fysisch geografische gebieden worden ingedeeld. Het zand en keileem gebied in het zuiden van de provincie, een zone waar veen aan het oppervlak ligt en het noordelijk gelegen zeeleengebied.

In het zuiden van de provincie liggen pleistocene afzettingen aan het oppervlak. Tijdens de Saale-ijstijd heeft het landijs het keileem van het Drents plateau afgezet. Dit strekt zich uit tot in de provincie Groningen. In het Zuidelijk Westerkwartier ligt de keileem dicht onder het oppervlak. Het landijs heeft verder verschillende ruggen (stuwwallen en morenes) gevormd, voorbeelden hiervan zijn de Hondsrug, de rug van Zuidhorn en Noordhorn, de hoogtes bij Winschoten en Slochteren en de Hasseberg. Veel van deze hoogtes werden later bewoond en vormen daarmee de basis voor de locatie van veel dorpen. Het dal van de Hunze is ook door het landijs uitgesleten. Tijdens de laatste ijstijd (het Weichselien) is een dikke laag dekzand over het keileem afgezet, waardoor glooiende ruggen zijn afgezet. Voorbeelden hiervan zijn de Bouwten ten zuiden van Bellingwolde en Vriescheloo en de Ruiten bij Slochteren.

Tijdens het Holoceen steeg de zeespiegel en hiermee werd een groot deel van het pleistocene zandlandschap bedekt met zeeafzettingen. Doordat de snelheid van de zeespiegelstijging afnam en de afvoer van water moeilijker werd, ontstonden in het midden van de provincie veengebieden. Hier is later weer een laag zeeleem op afgezet. Ontwatering ten behoeve van het landbouwkundig gebruik sinds het begin van de ontginning van dit gebied heeft gezorgd voor het inklinken van het veengebied. Het midden van Groningen ligt dan ook lager dan het zuidelijk en noordelijk deel van de provincie. Ook het dal van de Hunze werd met veen gevuld. Veel van het veen is afgegraven wat bepalend is geweest voor de vorming van het veenkoloniale landschap.

In het noorden van de provincie werd zeeleem afgezet en ontstond een kwelderlandschap, dat gedurende

enkele duizenden jaren is opgeslibt. Dit kwelderlandschap vormt de basis voor het huidige wierdengebied. De eerste bewoning vond plaats op de kwelderwallen, men verhoogde de woonplaats tegen overstromingen en zo ontstonden de wierden. Vanaf ongeveer de twaalfde eeuw is men begonnen met het aanleggen van dijken en het inpolderen van nieuw land. Voorbeelden van het dijklandschap dat hierdoor ontstond zijn het gebied direct grenzend aan de Waddenkust en het inbraakgebied van de Dollard.

De figuren 1.7 en 1.9 op de volgende pagina's geven de landschapstypen en de geomorfologie van de provincie Groningen

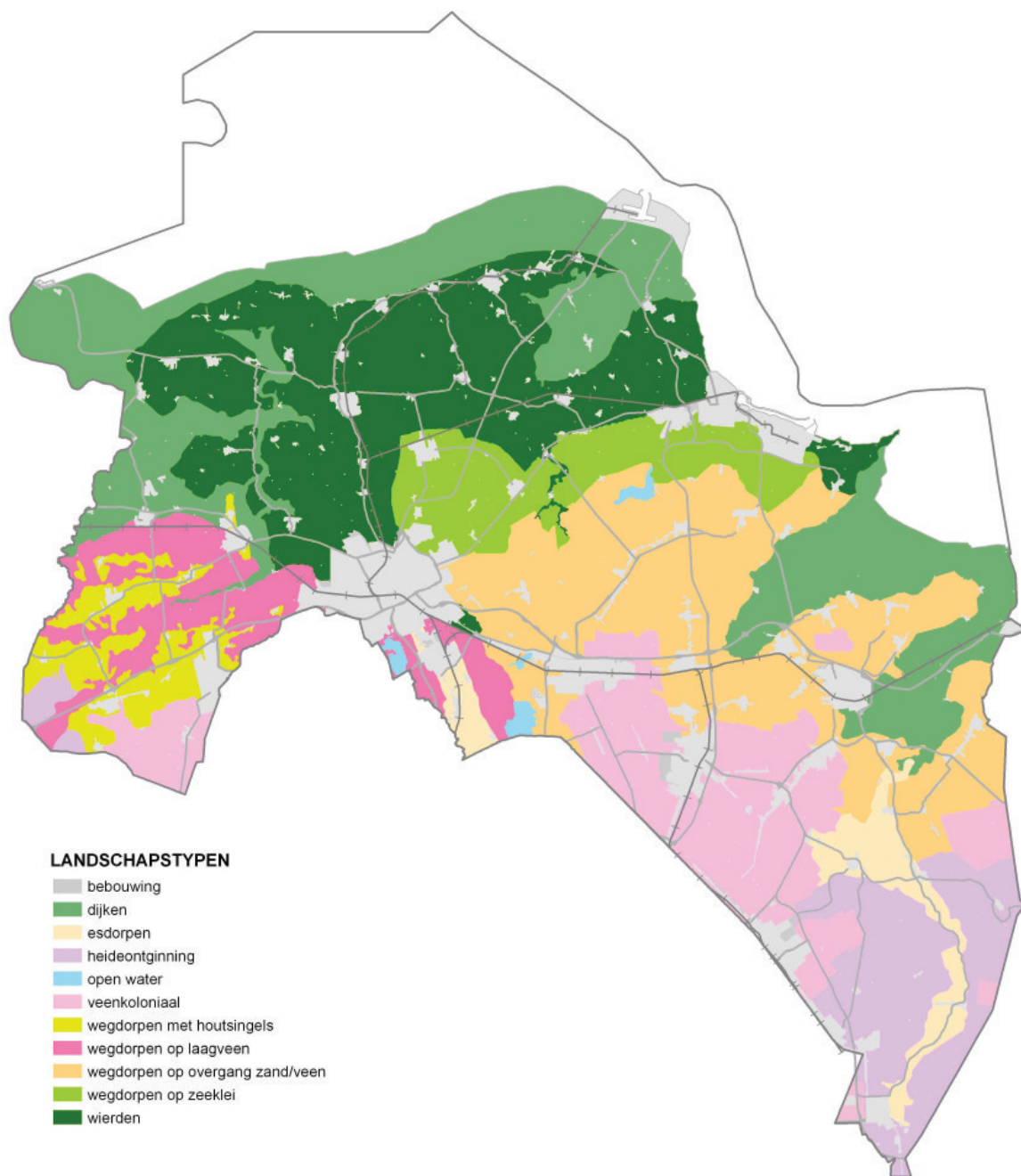
### **Drenthe**

Het relatief hooggelegen Drents Plateau heeft een specifieke geologische en bodemkundige opbouw. Het wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van keileem, afgezet als grondmorene tijdens de voorlaatste ijstijd, het Saalien. Dit krijgt meer accent door de omliggende laaggelegen veenontginningen. Met de Drents-Groningse Veenkoloniën als meest aansprekend voorbeeld. Daarmee zijn tevens de karakteristieke elementen van de bodem van Drenthe gegeven: keileem, zand en veen. Drenthe kan grofweg worden gezien als een omgekeerd soepbord.

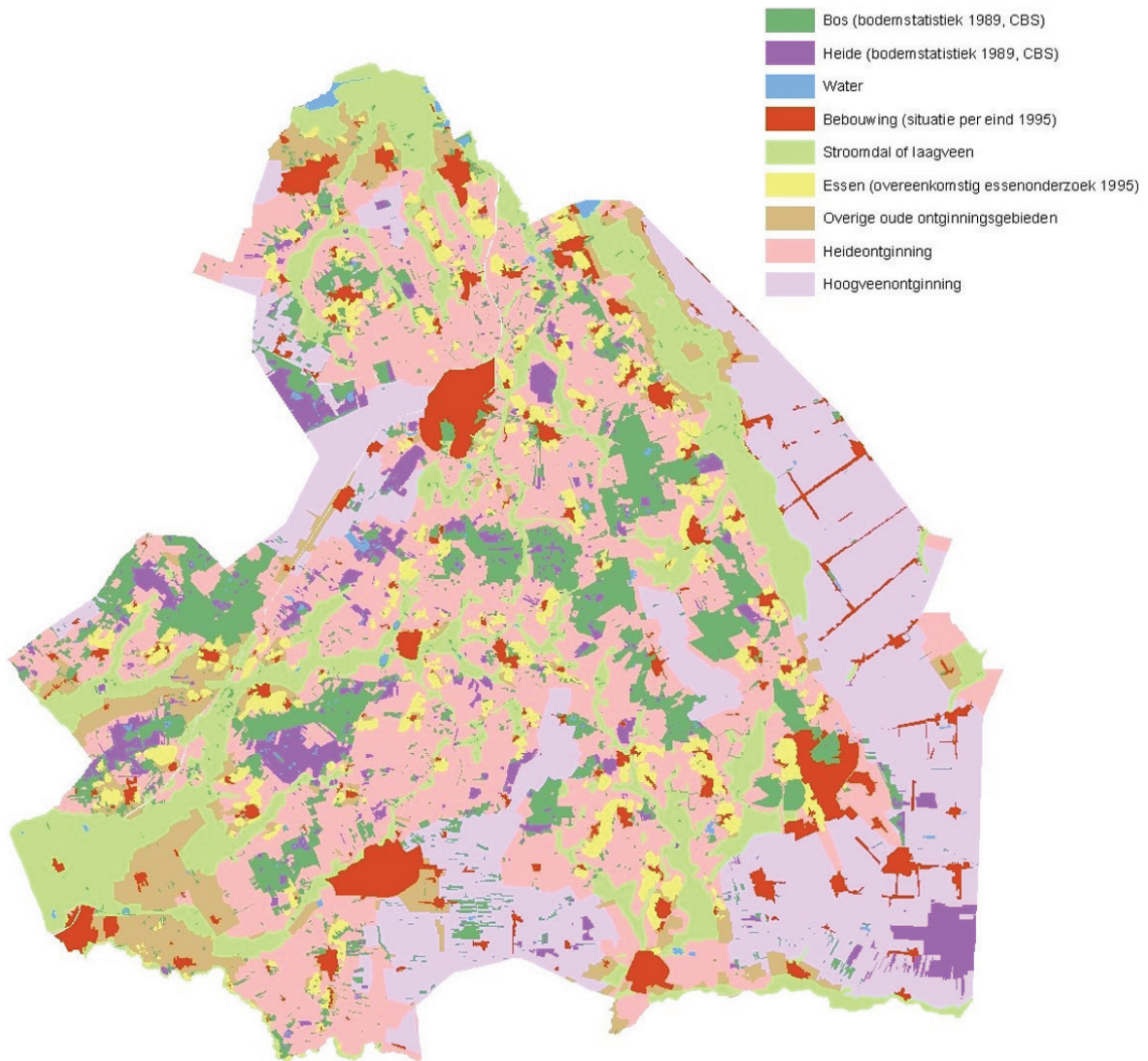
Deze ligging van Drenthe betekent tevens dat zij grotendeels een inzigings , oorsprong en afstromingsgebied is. Vanaf het plateau stromen beken af in zuidwestelijke, noordelijke en zuidoostelijke richting. Het bijzondere samenspel van bodem en waterhuishouding is zowel karakteristiek als uniek in Nederland. De beïnvloeding vanuit andere gebieden is mede hierdoor veel geringer dan in andere zandprovincies in Nederland. Anderzijds worden vanuit Drenthe wel de aangrenzende gebieden beïnvloed. Het plateau en de aansluitende beekdalen bieden in samenhang met de aanwezige milieukwaliteit, goede perspectieven voor het instandhouden en de ontwikkeling van "kwaliteitsnatuur".

De fysisch-geografische positie van Drenthe is een stevige historische ontwikkelingsbasis gebleken. Vanaf de randen van de beekdalen hebben menselijke bewoning en gebruik uiteindelijk overal het landschap bepaald. Stedelijke ontwikkeling, infrastructuur, de kwaliteit van natuur en bosgebieden, het Drentse landschap, ze zijn allen ook nu nog hieruit af te leiden en herkenbaar.

De figuren 1.8 en 1.10 op de volgende pagina's geven de landschapstypen en de geomorfologie van de provincie Drenthe.

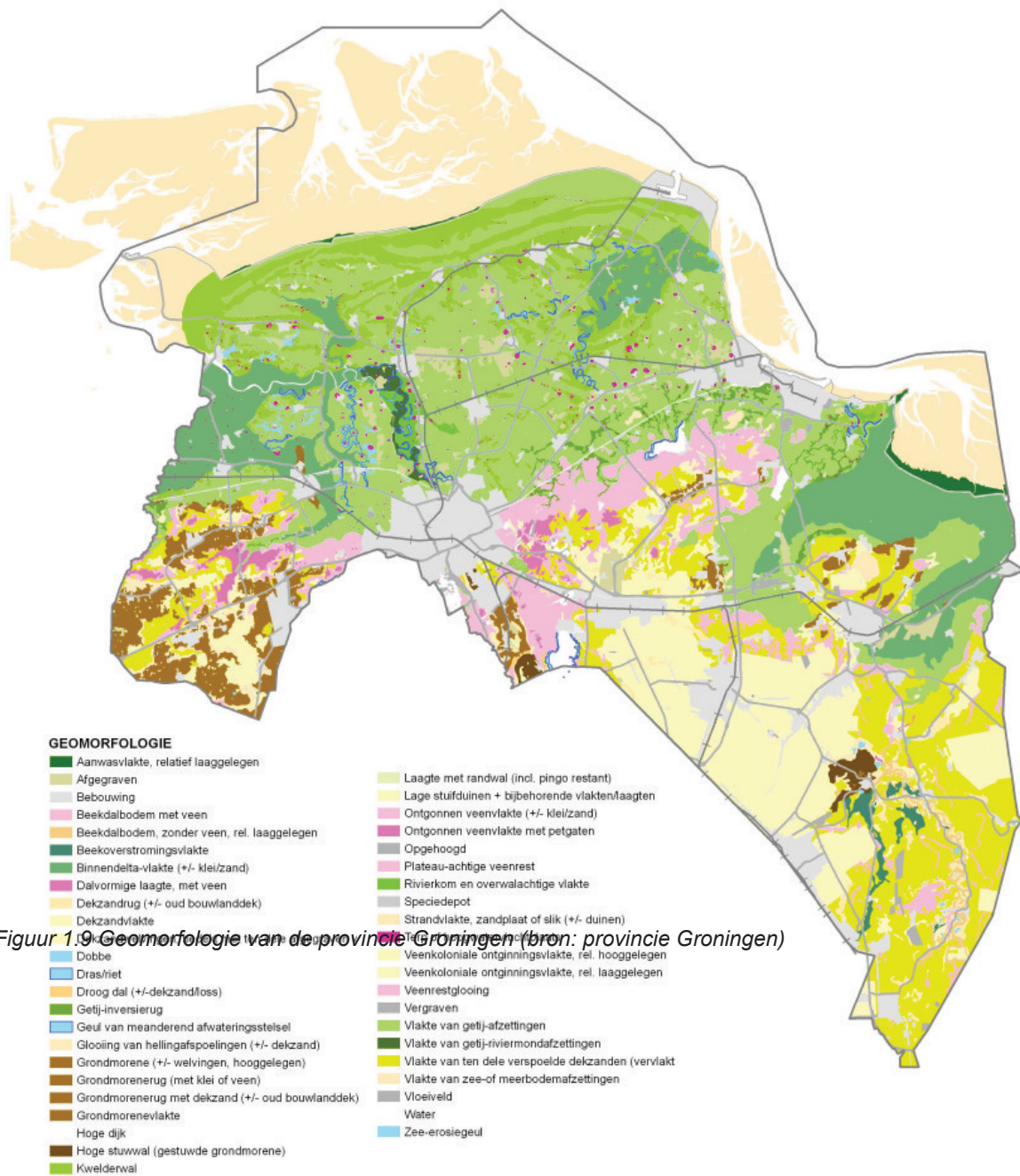


Landschappenkaart

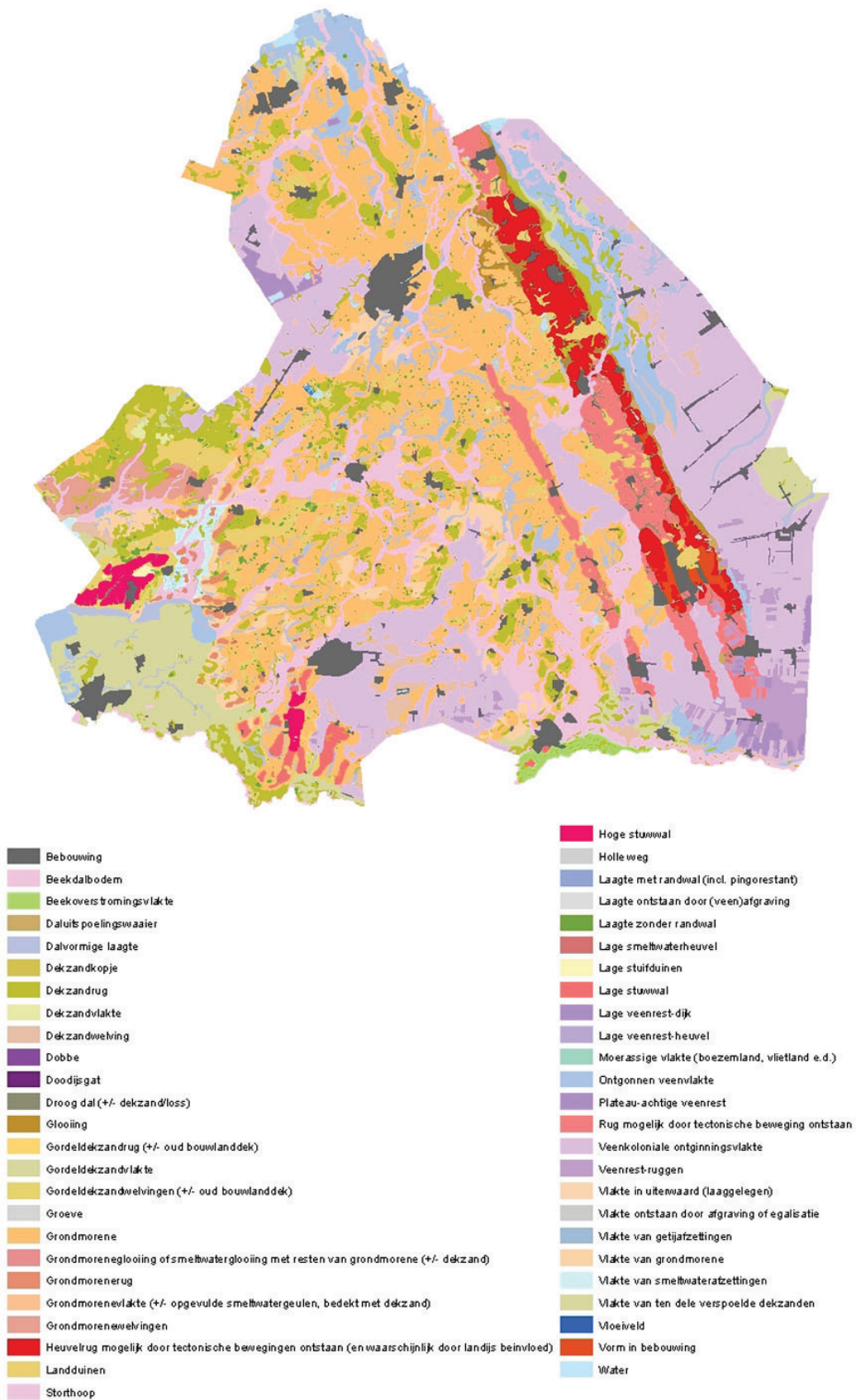


Figuur 1.8 Landschapstypen in de provincie Drenthe (bron: provincie Drenthe)





















Figuur 1.9 Geomorfologie van de provincie Groningen (bron: provincie Groningen)



Figuur 1.10 Geomorfologie van de provincie Drenthe (bron: provincie Drenthe)



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

Klimaatvariabele		Trend tot 2050/2100	Kaarten/ Grafieken	Toelichting
<b>Temperatuur: par. 2.3</b>				
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..		
<b>Neerslag: par. 2.4</b>				
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
<b>Neerslagtekort: par. 2.5</b>				
Neerslagtekort	zomer-halfjaar		figuur 2.12	Nauwelijks verandering in gemiddelde en extremen in G en W Duidelijke toename in G+ en W+
<b>Zonneschijn/Straling: par. 2.6</b>				
Gemiddelde straling		 		Nauwelijks verandering in G en W Toename in zomer in G+ en W+
<b>Wind: par. 2.7</b>				
maximale daggemiddelde wind die eens per jaar voorkomt		 		In alle scenario's geringe verandering ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie
<b>Zeespiegel: par. 2.8</b>				
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.

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 4):

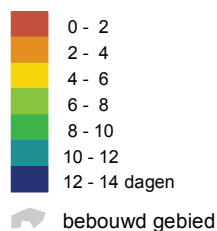
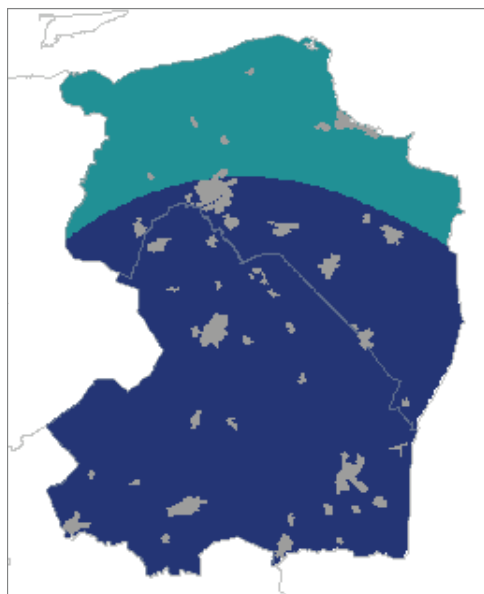
- Het kaartmateriaal in deze klimaateffectatlas is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations vanwege de beperkte tijd zonder additionele klimatologische kennis. In de klimaatatlas: normaalperiode 1971-2000 (KNMI, 2002) is wel extra klimatologische kennis gebruikt om kaarten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

Het bovenstaande betekent dat:

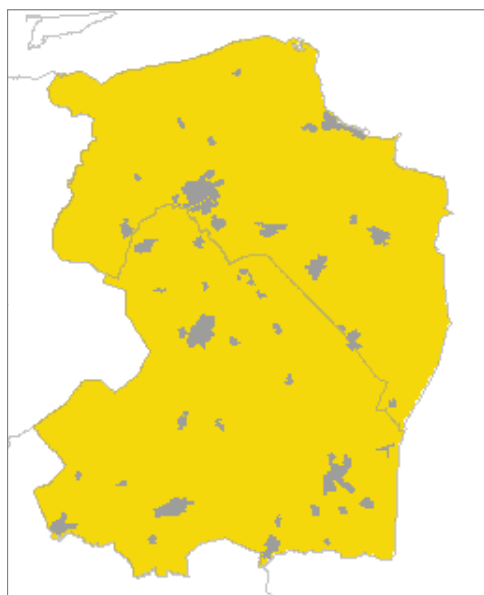
- De kaarten niet nauwkeurig genoeg zijn als basis voor ruimtelijke planvorming. Wel zijn ze geschikt als basis voor discussies over ruimtelijke ordening en klimaatverandering, én voor de juiste beeldvorming over wat klimaatverandering nu betekent;
- De kaarten meestal niet geschikt zijn om te bepalen 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 (zie hoofdstuk 3).

Gemiddelde aantal ijsdagen per jaar (maximumtemperatuur < 0°C)

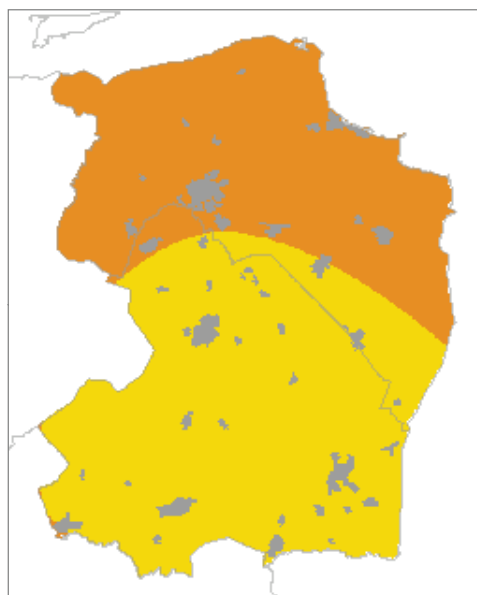
1976 - 2005



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/](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 2x 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*

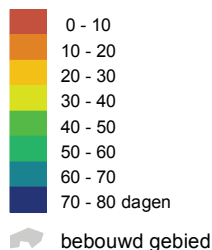
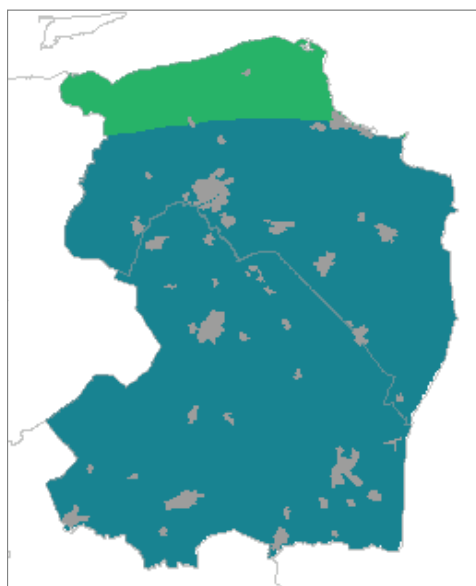
De vier KNMI'06 scenario's laten een opwarming rond 2050 zien variërend van 0,9 °C tot 2,3 °C in de winter (december, januari en februari) en van 0,9 °C tot 2,8 °C in de zomer (juni, juli en augustus) ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Het verschil in gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur is in alle scenario's vooralsnog 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*

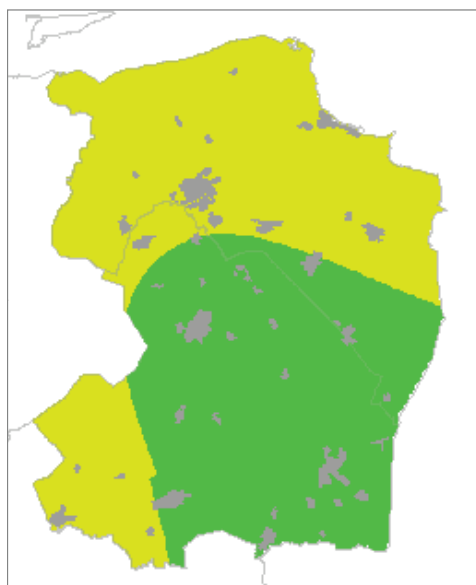
In het huidige klimaat is de gemiddelde temperatuur in de zomer aan de kust lager dan meer landinwaarts. In de winter is het omgekeerde het geval. Zo ervaart het noorden van Groningen 's zomers een afkoelend effect en 's winters een opwarmend effect van de aanwezigheid van de Waddenzee. De provincie Drenthe grenst niet aan zulke wateroppervlakten. Daardoor wordt het daar 's zomers warmer en 's winters kouder dan in de kustprovincies. 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.

Gemiddelde aantal vorstdagen per jaar (minimumtemperatuur < 0°C)

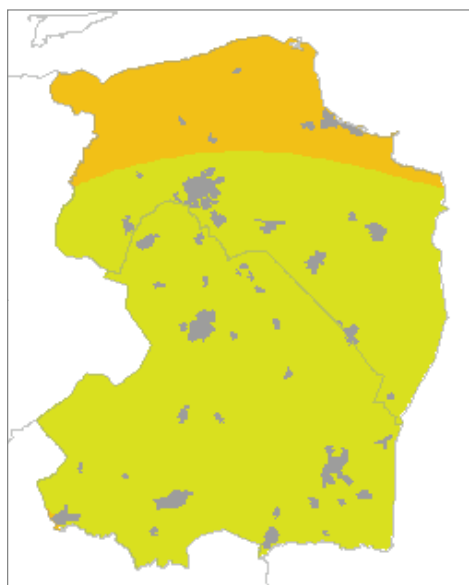
1976 - 2005



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/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/), kaarten gemaakt door middel van automatische interpolatie tussen de beschikbare KNMI-stations, zonder additionele klimatologische kennis.*



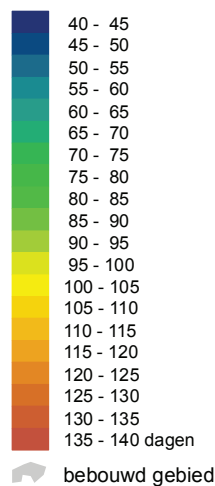
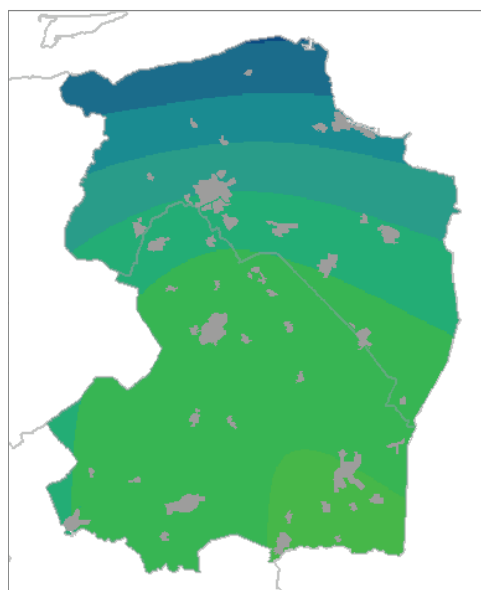
### 2.2.2 *Temperatuur extremen*

#### *Toekomstige trends*

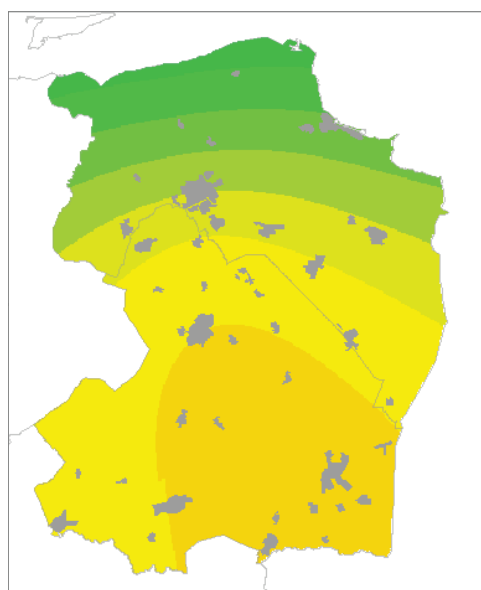
De vier KNMI'06 scenario's geven een sterkere stijging van de temperatuurextremen te zien dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0°C tot 2,9°C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0°C tot 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 temperatuurtoename zorgt dit voor een relatief sterkere afname van het aantal vorstdagen (minimumtemperatuur <0 °C) en ijsdagen (maximumtemperatuur <0 °C) 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 temperatuurtoename zorgt dit voor een relatief sterkere toename van het aantal tropische dagen (maximumtemperatuur  $\geq 30$  °C), zomerse dagen (maximumtemperatuur  $\geq 25$  °C) en warme dagen (maximumtemperatuur  $\geq 20$  °C in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

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

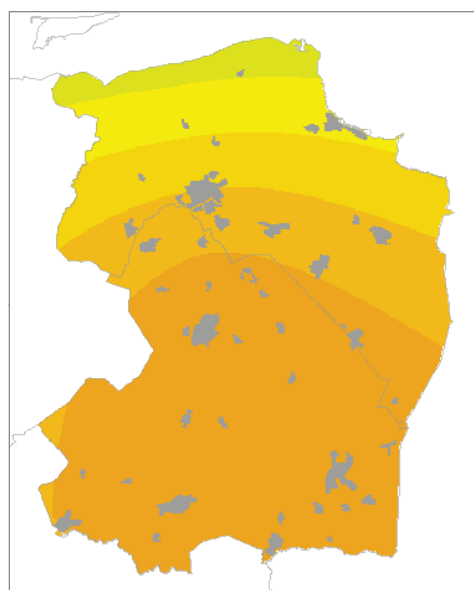
1976 - 2005



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/](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 vorstdagen (figuur 2.2) en ijsdagen (figuur 2.1) aan de kust kleiner 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). Dit wordt veroorzaakt door de trage opwarming en afkoeling van grote wateroppervlakten (Noordzee). Als gevolg hiervan is het aantal warme, zomerse en tropische dagen aan de noordkant van Groningen lager dan aan de zuidkant van Groningen en in Drenthe, en het aantal vorstdagen is daardoor eveneens aan de noordkant van Groningen lager dan aan de zuidkant van Groningen en in Drenthe. Ijsdagen, waarbij het de hele dag vriest, treden vooral op bij noorden- tot oostenwinden, waardoor het land-zee-effect minder duidelijk is. Deze ruimtelijke patronen zullen in de toekomst blijven bestaan.

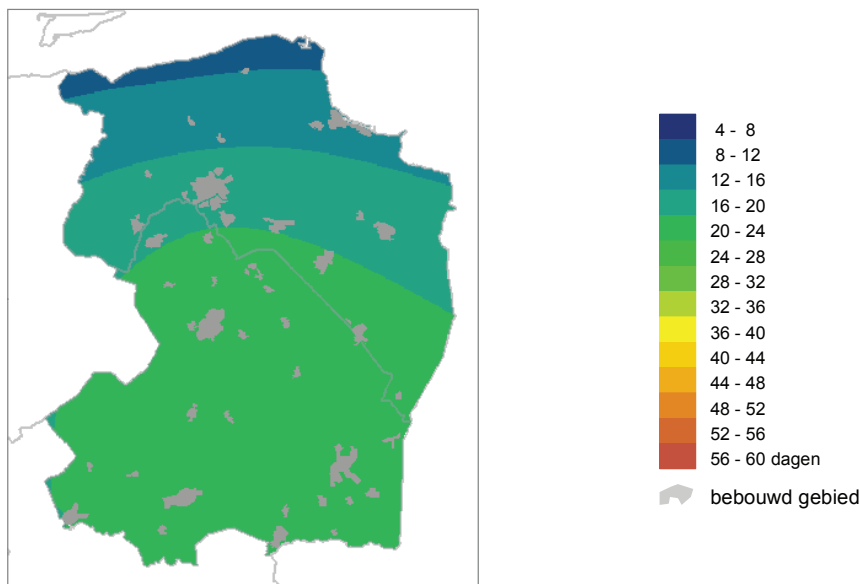
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- U kunt vaker zonder jas naar buiten (het aantal zomerse dagen, met een maximum temperatuur van  $\geq 25$  °C stijgt);
- U zult vaker last hebben van hittestress (het aantal tropische dagen met een maximum temperatuur van  $\geq 30$  °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.

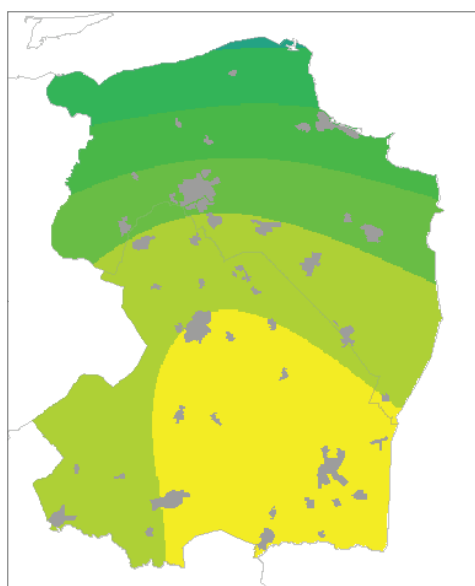
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

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

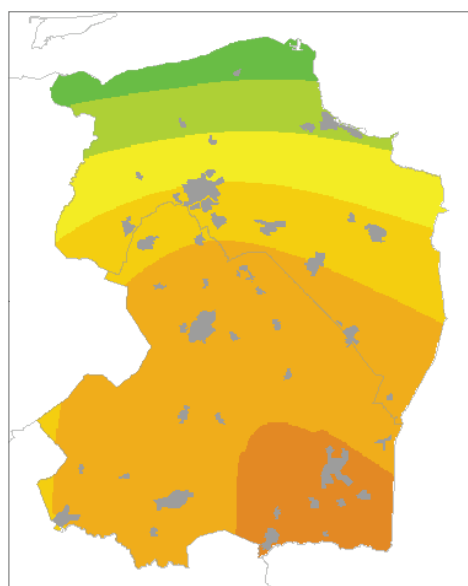
1976 - 2005



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/](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?*

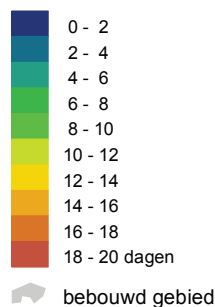
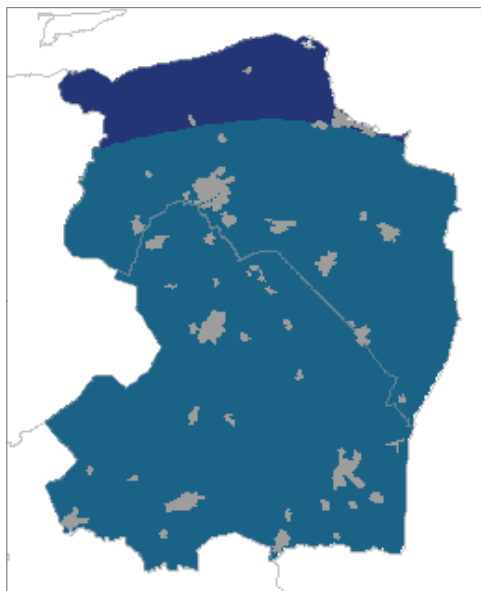
Herinnert u zich nog de warme en droge zomer van 2003 toen er in Europa vele doden zijn gevallen als gevolg van hittestress? De zomer van 2003 was erg warm voor ons huidige klimaat. Gemiddeld is de temperatuur in de zomermaanden juni t/m augustus rond Eelde 16,0 °C (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 14,5 en 18,0 °C). In 2003 was de gemiddelde temperatuur rond Eelde 18,1 °C, ruim 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 ook heel warm met een temperatuur van 17,7 °C rond Eelde. Dat kwam vooral door de hoge temperaturen in de maanden juni en juli.



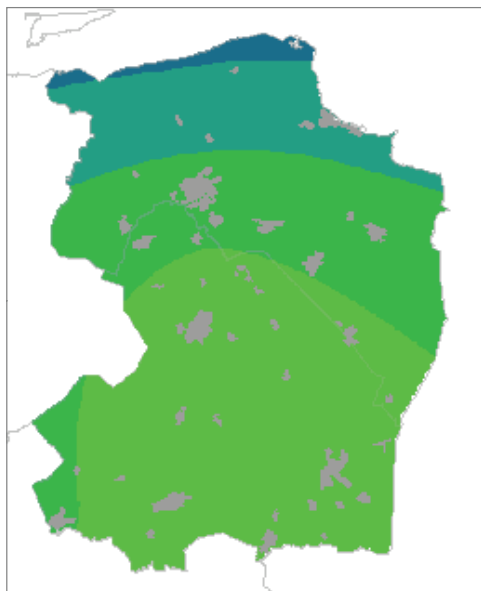
*Veel dagen met strandweer bij Scheveningen in de zomer van 2003 en in de maanden juni en juli in 2006*

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

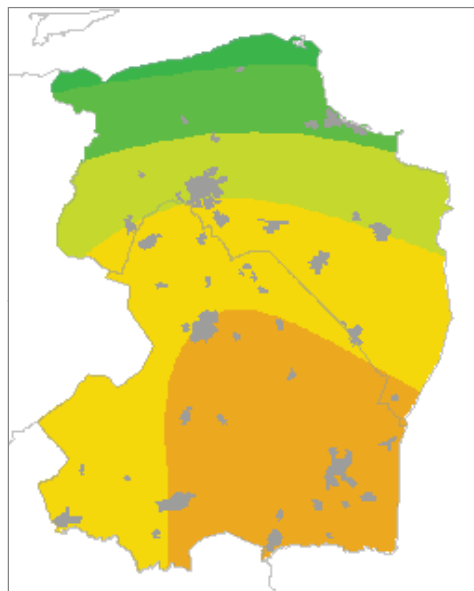
1976 - 2005



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/](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.

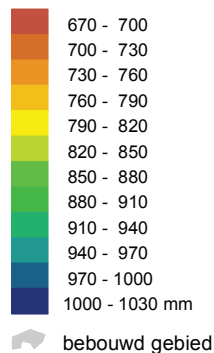
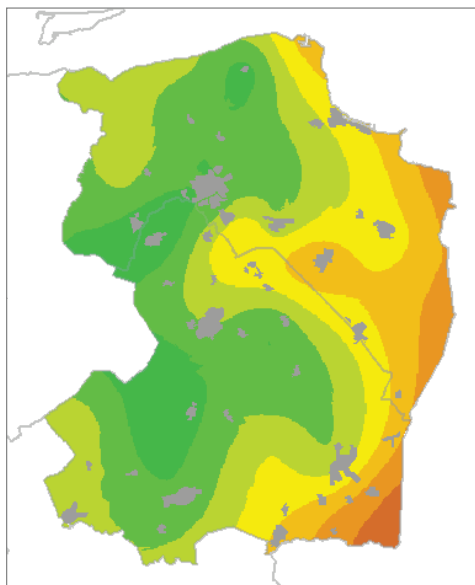
Rond Eelde was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 13,2 °C, tegen 9,8°C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de 7,6 en 11,4 °C), en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 6,1 °C, tegen 2,4 °C normaal (19 van de 20 keer ligt de gemiddelde temperatuur tussen de -1,8 en 5,0 °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.



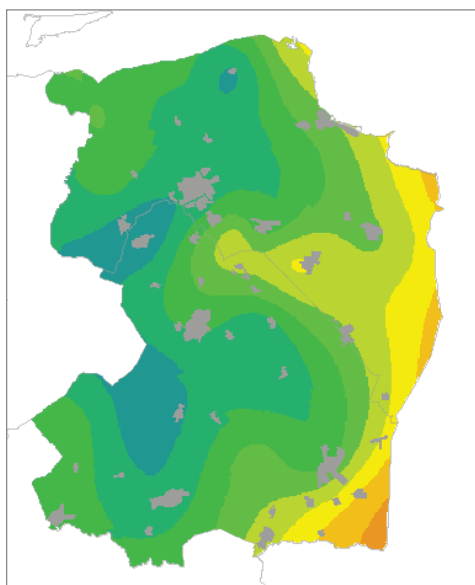
*Hoe groen is de herfst? Verschil 1 november 2004/ 1 november 2006 (foto: Jacob Kuiper, WPI, KNMI)*

Gemiddelde jaarlijkse Neerslag

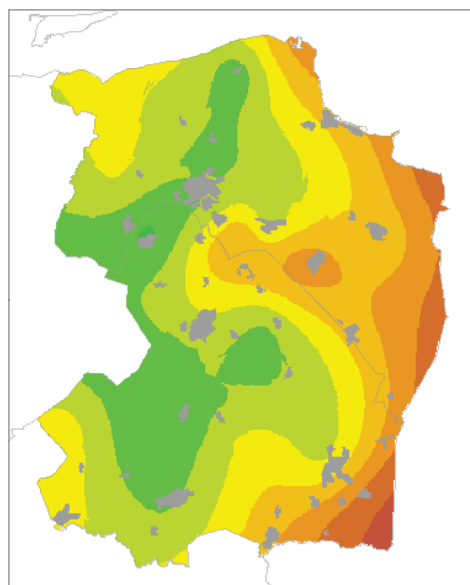
1976 - 2005



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/](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. Dit geldt nog sterker voor de wintermaanden december, januari en februari. In het zomerhalfjaar neemt de gemiddelde neerslag in de G en W scenario's toe, en in de G+ en W+ scenario's af. Dit geldt nog sterker voor de zomermaanden juni, juli en augustus. De afname in de zomer onder G+ en W+ komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. De herfstmaanden september, oktober en november en de lentemaanden maart, april en mei laten een minder duidelijke verandering zien (ligt tussen de veranderingen in de winter en de zomer). In alle scenario's neemt het gemiddeld aantal dagen per jaar met minimaal 1 mm neerslag iets af (figuur 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.

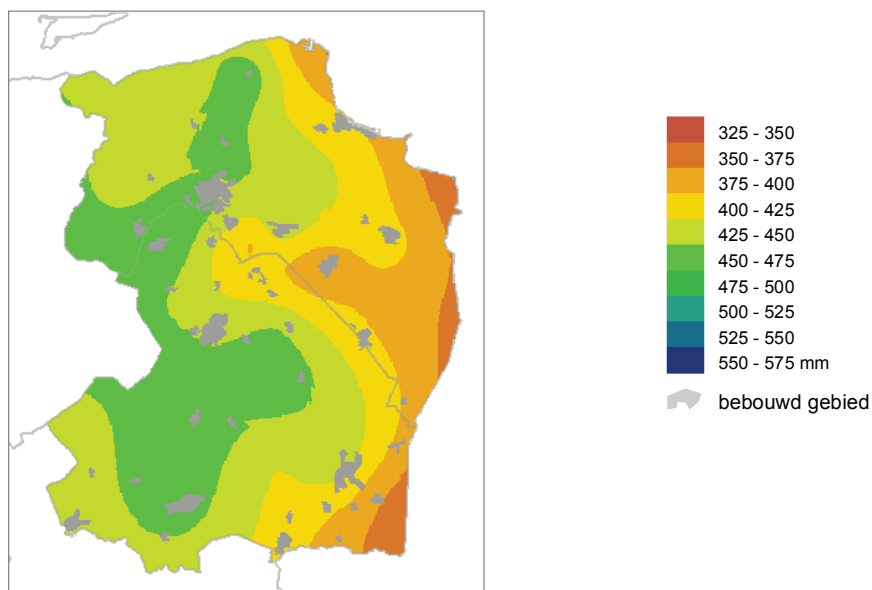
#### *Ruimtelijke patronen*

In figuur 2.6 is te zien dat er in het huidige klimaat verschillen zijn in de gemiddelde jaarneerslag binnen de provincies Groningen en Drenthe. Deze ruimtelijke verschillen kunnen grotendeels verklaard worden door lichte verheffingen van het landschap, zoals de Hondsrug. 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  $\geq 1$  mm (voldoende regen om nat te worden) verschilt ook enigszins binnen de provincies Groningen en Drenthe. 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  $\geq 1$  mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

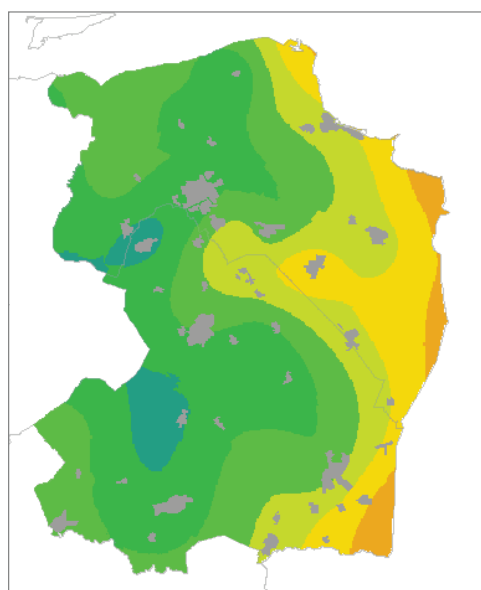
Op **27 en 28 oktober 1998** ontstond flinke wateroverlast in de stedelijke kernen Emmen, Hoogeveen en Meppel, evenals in het tuinbouwgebied van Erica. Ons land werd in oktober 1998 nagenoeg de gehele maand beïnvloed door lagedrukgebieden. In heel Nederland is die maand veel neerslag gevallen. Landelijk viel gemiddeld 172 mm tegen 73 mm normaal. In sommige delen van het land viel echter veel meer. De hoogste maandsom werd gemeten in Hoogeveen: 291 mm, wat circa 35 % van het gemiddelde jaartotaal is. Alleen al in de nacht van 27 op 28 oktober viel in een strook lopend van de westkust over de Noordoostpolder naar Drenthe, plaatselijk meer dan 75 mm. Op sommige locaties werd zelfs meer dan 85 mm afgetapt. In het huidige klimaat komen dit soort neerslaghoeveelheden in één etmaal op een willekeurige plek in Nederland minder dan eens per 100 jaar voor. In alle scenario's neemt de herhalingstijd van dit soort extreme dagsommen af, maar een dergelijke hoeveelheid blijft ook in de toekomst een uitzonderlijke gebeurtenis.

Gemiddelde Neerslag per winterhalfjaar

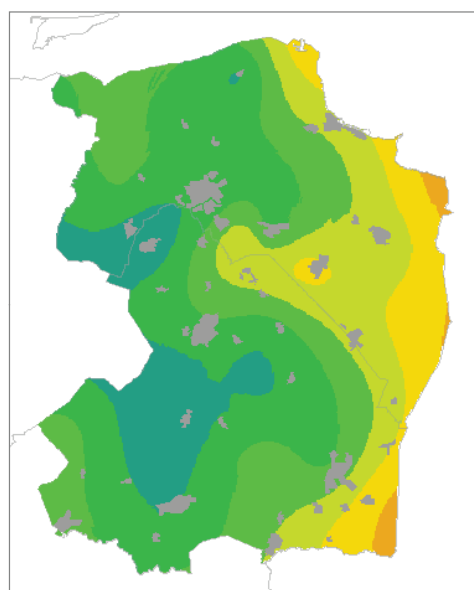
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

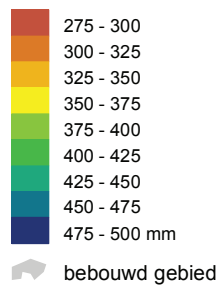
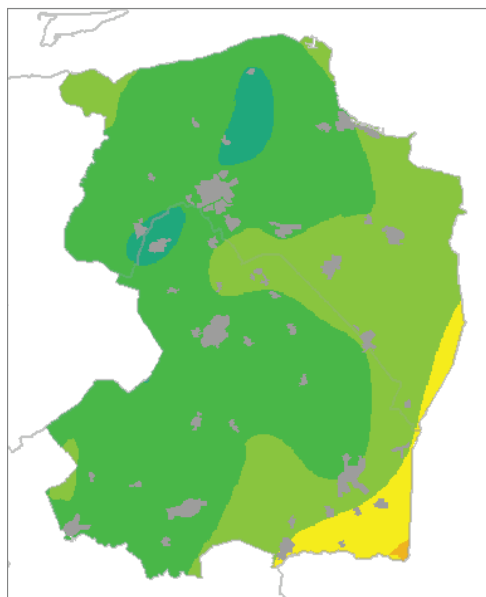


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations (zonder additionele klimatologische kennis). De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

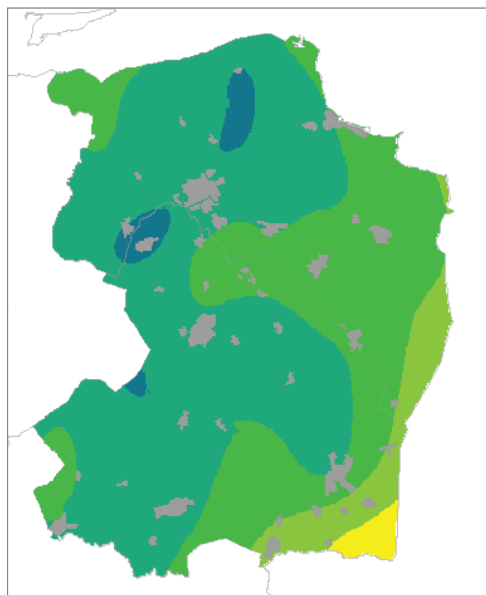
*Figuur 2.7. Kaarten met de gemiddelde winterneerslag per jaar (oktober-maart; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/),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

## Gemiddelde Neerslag per zomerhalfjaar

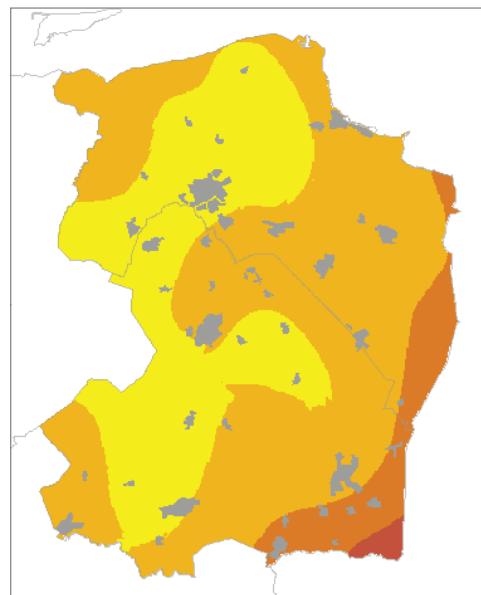
1976 - 2005



2050 W



2050 W+

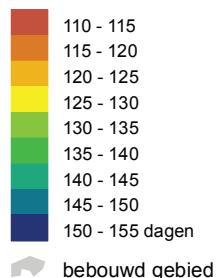
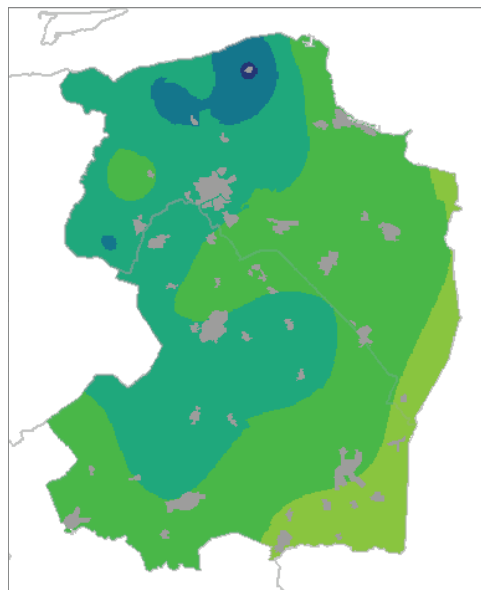


De kaarten zijn gebaseerd op een automatische interpolatie van klimaatgegevens van individuele meetstations (zonder additionele klimatologische kennis). De getoonde lokale variaties kunnen mede bepaald zijn door de gehanteerde interpolatietechniek en de ligging van de meetstations

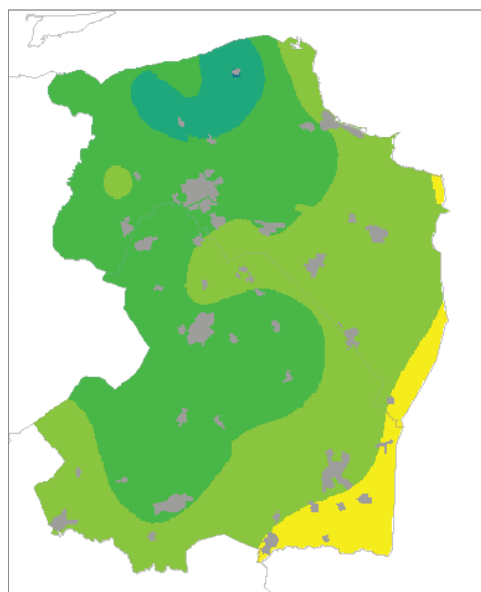
*Figuur 2.8. Kaarten met de gemiddelde zomerneerslag per jaar (april-september; in mm) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/),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

Gemiddelde aantal dagen met  $\geq 1$  mm per jaar

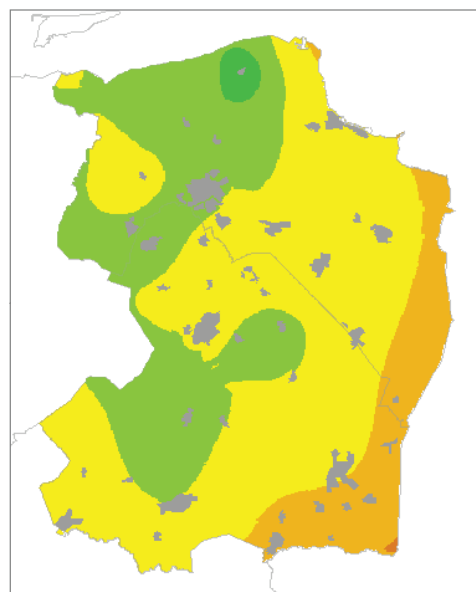
1976 - 2005



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/](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  $\geq 15$  mm verschilt ook enigszins binnen de provincies Groningen en Drenthe. 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  $\geq 15$  mm te hebben. In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen blijven bestaan.

Gegevens voor De Bilt over extreme neerslag worden vaak voor heel Nederland gebruikt. Zo valt er eens per 10 jaar in De Bilt meer dan 54 mm in 24 uur in het huidige klimaat (1906-2003; STOWA, 2004; op basis van de statistiek voor het hele jaar). Er is vastgesteld dat er voor de hoeveelheid neerslag die binnen 24 uur valt en die eens per 10 jaar wordt overschreden significante verschillen tussen stations in Nederland bestaan (STOWA, 2004). 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 de provincies Groningen en Drenthe (range 95-116 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

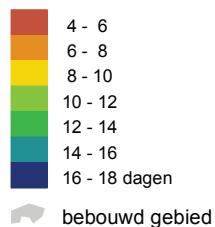
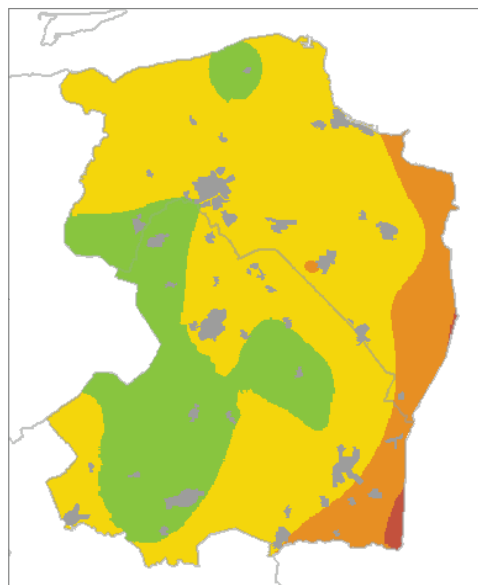
Enkele voorbeelden van wat dit voor u kan betekenen:

- 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).

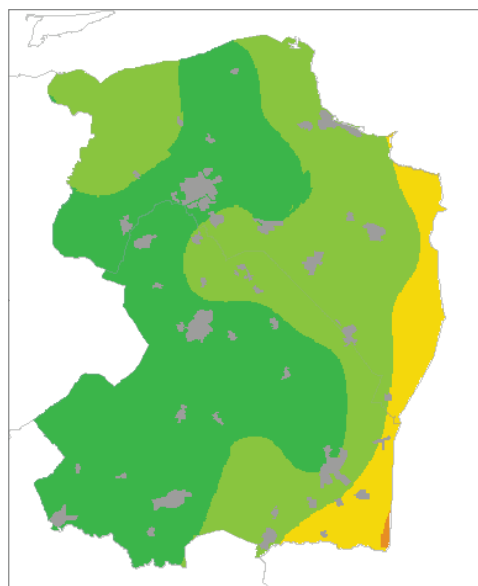
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

Gemiddelde aantal dagen met  $\geq 15$  mm neerslag per jaar

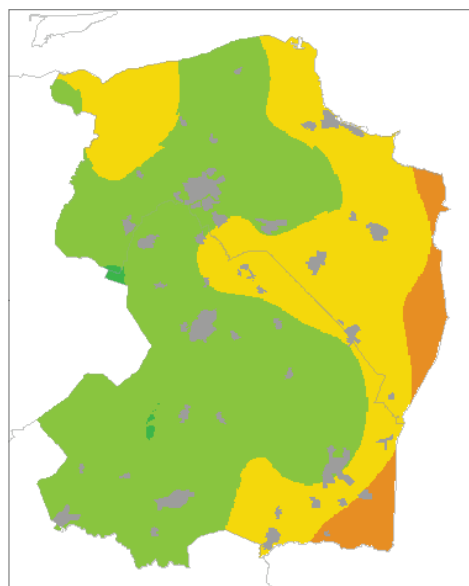
1976 - 2005



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

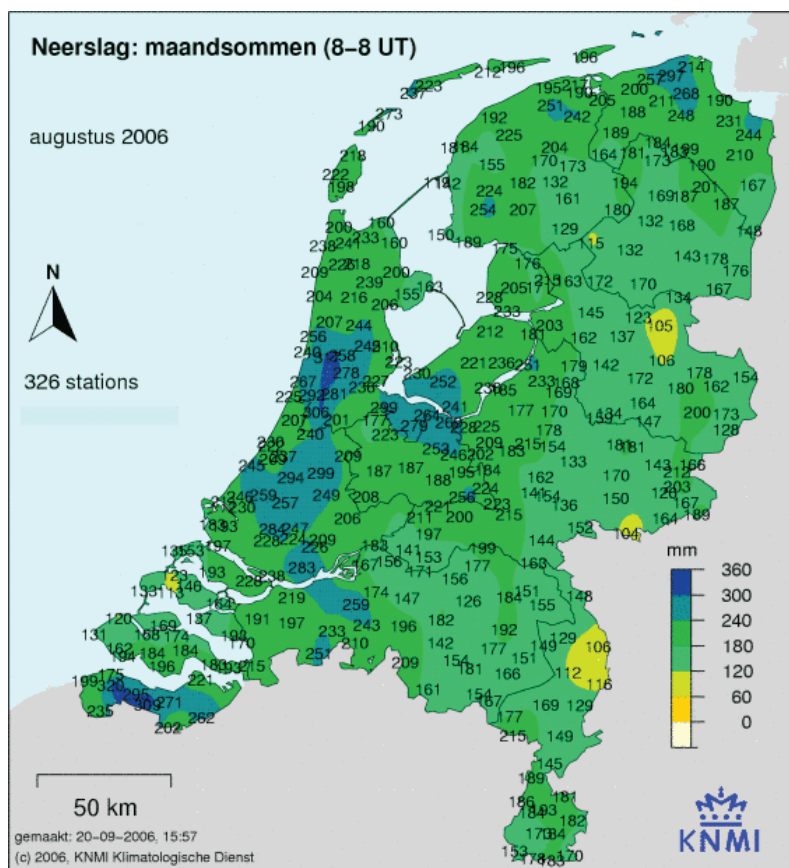
*Figuur 2.10 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per jaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder). Gegevens gegenereerd met het transformatieprogramma op [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/), 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 Groningen in de periode 1971-2000 ligt rond de 65 mm. In Drenthe is dat iets lager, ongeveer 60 mm. In augustus 2006 was de maandsom op een aantal stations in het noorden van Groningen hoger dan 200 mm (figuur 2.11). Ook een paar stations in het noorden van Drenthe hadden een maandsom van meer dan 200mm. 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  $\geq 50$  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) 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.



*Water op straat: overlast?*



## 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. Het effect van een goed doorlatende bodem wordt hierin dus niet meegenomen. 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.

In de G en W scenario's verandert het gemiddelde maximale neerslagtekort weinig. Daarbij moet ook bedacht worden dat planten het beschikbare water bij hogere CO<sub>2</sub> concentraties in de lucht, zoals we verwachten voor 2050, efficiënter kunnen gebruiken. Dit effect wordt niet meegenomen in de formule van Makkink voor potentiële verdamping. De getallen in Tabel 2.2 overschatten dus mogelijk enigszins het gemiddelde maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar in de toekomst.

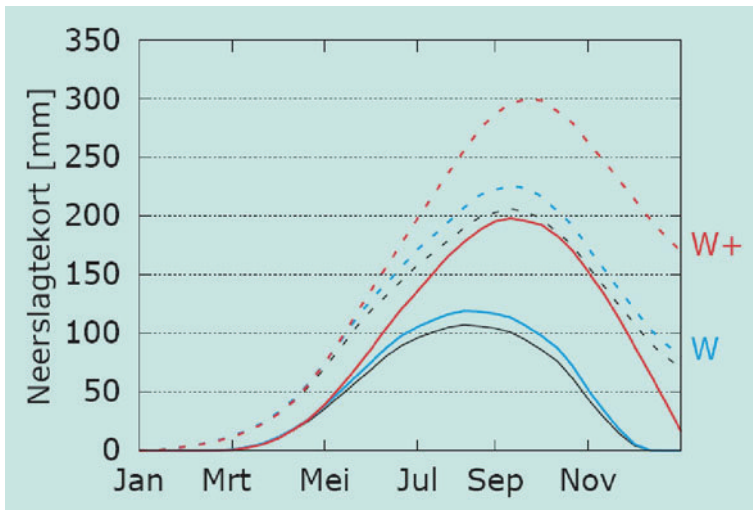
### *Ruimtelijke patronen*

De jaarlijkse potentiële verdamping verschilt binnen Nederland. Aan de kust is deze hoger dan meer landinwaarts (KNMI, 2002 p. 59). Het gemiddelde neerslagoverschot/tekort (in de wintermaanden een neerslagoverschot) laat ook duidelijke ruimtelijke verschillen zien. Aan de kust van Groningen is het neerslagtekort in de zomermaanden wat groter dan meer landinwaarts. In Drenthe is het neerslagtekort in de zomermaanden kleiner dan in de kustprovincies. Door deze ruimtelijke verschillen wordt het maximale neerslagtekort per jaar op de verschillende KNMI-stations op andere tijdstippen in het jaar behaald.

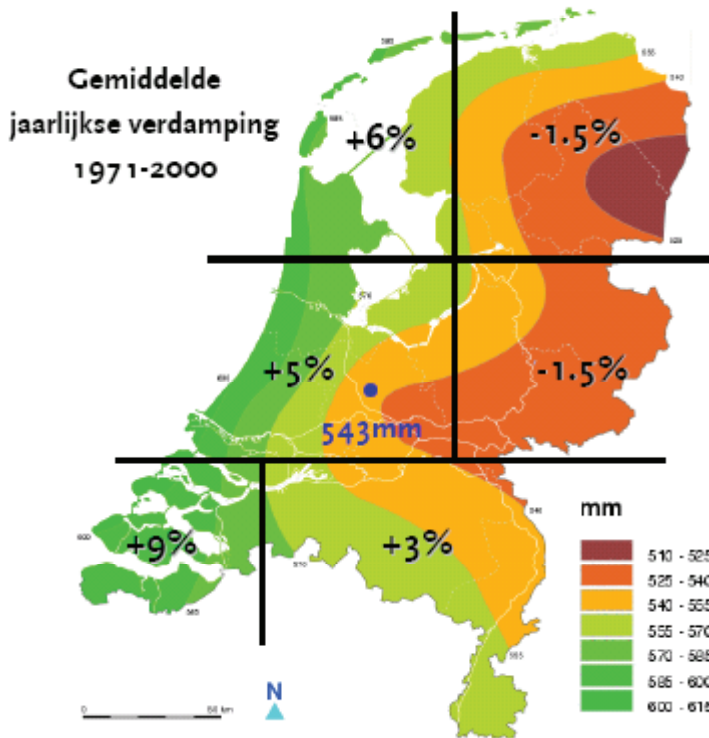
Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

- 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.



*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 de helft van de jaren lager is dan de doorgetrokken lijn en in de andere helft hoger dan de doorgetrokken lijn. Voor de onderbroken lijn geldt dat het cumulatieve neerslagtekort in 9 van de 10 jaren onder deze lijn ligt en in 1 op de 10 jaren erboven.*



*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.*

### 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 (herhalingstijd eens in de 6-7 jaar). 1976 was het droogste jaar in de afgelopen eeuw met een neerslagtekort gemiddeld in Nederland van 361 mm (herhalingstijd eens in de 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.

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

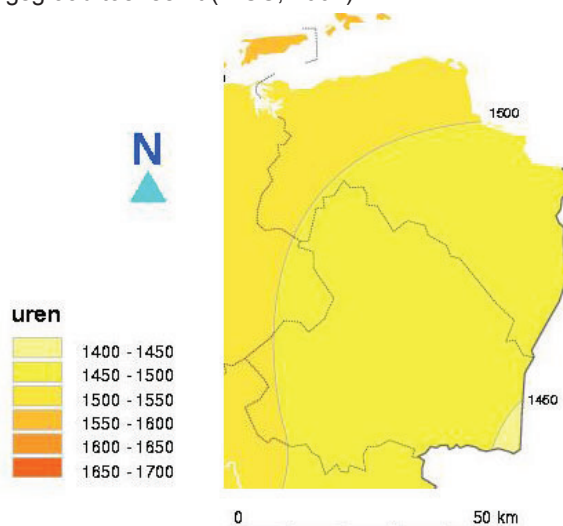
## 2.5 Zonneschijn

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 overgangsgedebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt, en Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt (IPCC, 2007).



Figuur 2.14 Jaarlijkse zonne-uren (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

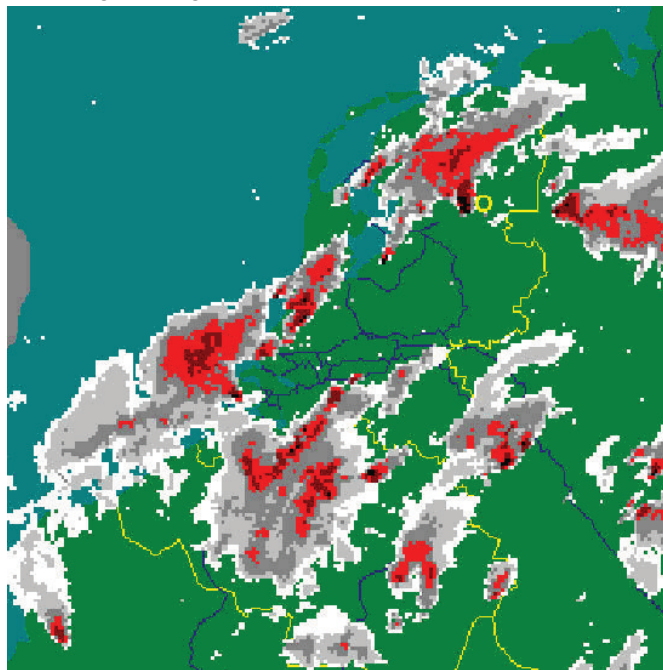
De KNMI'06 scenario's geven wel informatie over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneschijn en het aantal regendagen (of de neerslagduur), maar deze relatie is niet in elk seizoen of elke maand even duidelijk (zie '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 zonneshijnduren. 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 zonneshijn. 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 zonneshijnduur. Op maandbasis is het gemiddeld aantal zonneshijnduren 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)). In de toekomst zal dit globale ruimtelijke patroon niet veranderen.

Op **14 juni 2007** werden sommige plaatsen in Nederland getroffen door zware onweersbuien. In Hoogeveen werd flinke schade aangericht door zware windstoten, veroorzaakt door een zogenaamde downburst. Ook ontstond er wateroverlast door grote neerslaghoeveelheden in korte tijd. De neerslag had echter een zeer lokaal karakter: op één meetstation is ruim 50 mm gevallen, maar op een ander station op slechts enkele kilometers afstand viel "slechts" rond de 20 mm. Onderstaand figuur geeft een beeld van de neerslag op die dag, vlak voor de hevige neerslag in Hoogeveen.



*Figuur 2.15 Neerslag-radarbeeld van 14 juni 2007, vlak voor de hevige neerslag in Hoogeveen (aangegeven met de gele cirkel; hoe donkerder, hoe heviger de neerslag).*

Dit soort onweersbuien ontstaan in de zomermaanden vrijwel ieder jaar. Ze hebben echter een sterk lokaal karakter (zie ook figuur 2.15). Daardoor kan een neerslaghoeveelheid die bijvoorbeeld eens in de 50 jaar valt voor een individuele plaats heel bijzonder zijn, maar dit soort wateroverlast en schade door zware onweersbuien komt vrijwel elk jaar wel ergens in Nederland voor. Daardoor zijn er regelmatig berichten over lokale wateroverlast door grote neerslaghoeveelheden. Wateroverlast kan ook optreden bij niet al te grote neerslaghoeveelheden. Zo kan een te klein gedimensioneerde waterafvoer, verstoppingen, te weinig bergingsmogelijkheden op straatniveau of andere problemen leiden tot wateroverlast.

In alle klimaatscenario's neemt de kans op extreme neerslaghoeveelheden toe. Een hoeveelheid zoals op 14 juni in Hoogeveen zal in de toekomst dan ook vaker voorkomen (maar wordt ook weer niet heel normaal!). Of met buien samenhangende verschijnselen zoals windstoten, hagel en bliksem ook zullen toenemen, valt nog niet te zeggen. Voor een individuele plaats in Nederland zal het optreden van zeer zware onweersbuien zoals bij Hoogeveen ook in de toekomst uitzonderlijk blijven.

## 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*

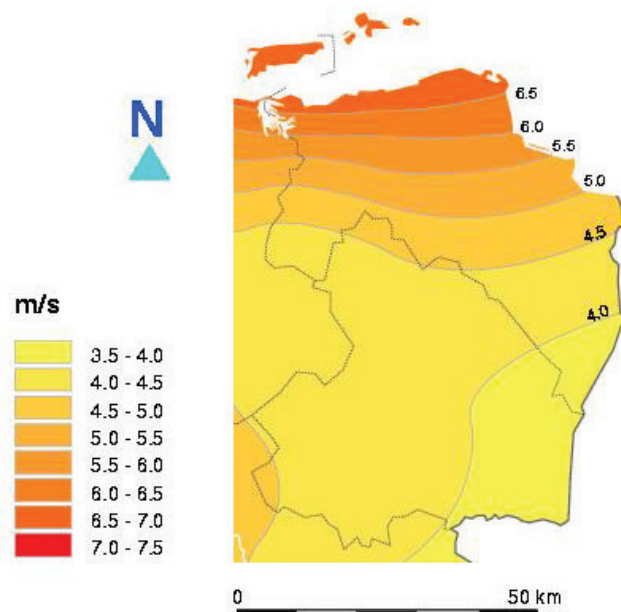
Op basis van de huidige kennis bestaat het vermoeden dat de veranderingen in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten klein zullen zijn. Er bestaan echter nog veel onzekerheden met betrekking tot wind en stormen. Voor het lokale windklimaat is een eventuele verandering van de ligging van de 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).

Stormvloedan 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 stormvloedan uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloedan wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging (zie 2.8).

### *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. Dit patroon zal in de toekomst blijven bestaan.



Figuur 2.16 Gemiddelde jaarlijkse windsnelheid (bron: [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl))

## 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.

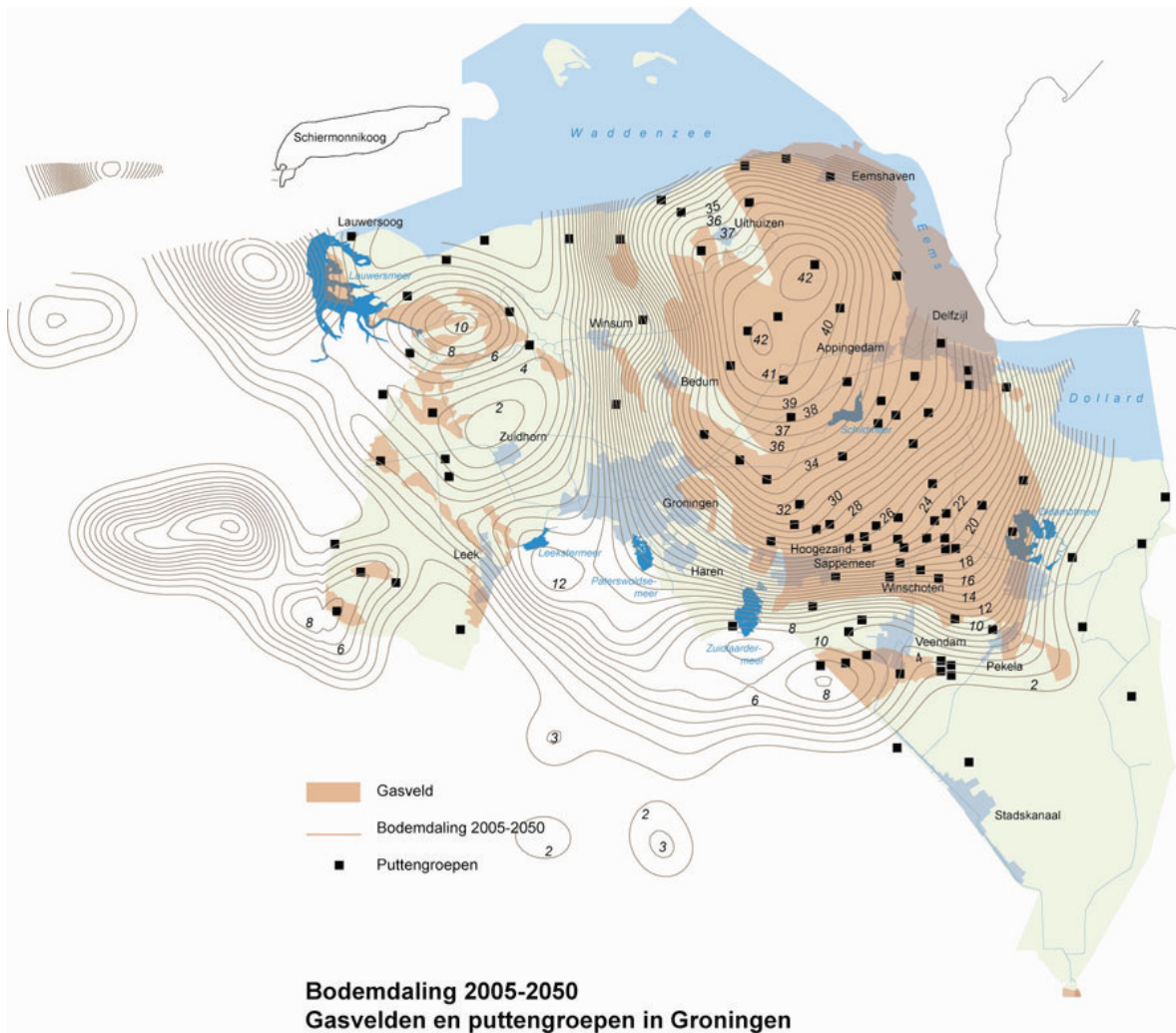
In de KNMI'06 scenario's wordt de absolute zeespiegelstijging gepresenteerd, wat ongeveer overeenkomt met de verandering in de stand ten opzichte van NAP (Figuur 2.16). Om de relatieve verandering van het zeeniveau ten opzichte van de Nederlandse bodem te verkrijgen, moet de bodembeweging nog worden opgeteld bij de scenario's.



*Figuur 2.17 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.



Figuur 2.18 Bodemdaling 2005-2050, gasvelden en puttengroepen in de provincie Groningen (bron: provincie Groningen)

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

Thema	Trend	Gevolg	Paragraaf
<b>Watersysteem</b>			
- Overstromingsrisico's Groningen	- Zeespiegelstijging	- Overstromingsrisico's veranderen o.a. door klimaatverandering	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
- Verandering regionale watersystemen	- Verandering in neerslag en verdamping	- Wijziging grondwaterstanden en grondwaterstroming - Gebieden met intensieve ontwatering volgen seizoensverandering - Verandering bij peilbeheerste gebieden beperkt.	3.14
- Waterkwaliteit	- Temperatuurstijging - Droogte in de zomer - Toename hevige buien	- Gunstigere omstandigheden voor blauwalg - Vaker riooloverstort - Drinkwatervoorziening onder druk	3.1.5
<b>Stedelijk gebied</b>			<b>3.2</b>
- Wateroverlast	- Toename hevige buien	- Vaker water op straat	3.2.1
- Watertekort	- Neerslagtekort in de zomer	- 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
<b>Landelijk gebied</b>			<b>3.3</b>
- Ruimtedruk	- Veel vraag naar ruimte	- Ruimtedruk neemt toe	3.3.1
- Wateroverlast	- Toename neerslag in winter - Intensere buien zomer	- Meer wateroverlast - Overlast op recreatieterreinen	3.3.2
- Verdroging	- Neerslagtekort in de zomer - Toename verdamping	- Verzilting	3.3.3
<b>Landbouw</b>			<b>3.4</b>
- 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
<b>Natuur</b>			<b>3.5</b>
- 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
<b>Infrastructuur</b>			<b>3.6</b>
- Wateroverlast droge infrastructuur	- Intensere buien	- Verkeersoverlast	3.6.1
- Temperatuur	- Temperatuurstijging	- Meer spoorvorming - Meer berm- en bosbranden	3.6.2
<b>Recreatie</b>			<b>3.7</b>
- 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.

#### 3.1 Watersysteem

Klimaatverandering zal voor het watersysteem onder meer de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

- De overstromingsrisico's kunnen door klimaatverandering veranderen.
- Door temperatuurstijging en stilstaand water worden de omstandigheden voor blauwalg guntiger.
- Door meer intense buien kan het aantal riooloverstorten toenemen, dit is slecht voor de waterkwaliteit

##### 3.1.1 Veiligheid/overstromingsrisico's in Groningen

Gaan de overstromingsrisico's vanuit zee 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 (risico = kans maal gevolg).

Groningen heeft te maken met overstromingskansen van uit de Waddenzee, de Eems en de Dollard.

De maatgevende waterstanden in de Waddenzee, de Eems en de Dollard veranderen onder invloed van Klimaatverandering. In de Waddenzee, Eems en Dollard worden de waterstanden door de zeespiegelstijging hoger. 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).

Voor het ontwerp van de dijken, die het land moeten beschermen tegen het water, worden behalve deze maatgevende waterstanden nog een aantal andere factoren mee genomen. Afhankelijk van de economische waarde in het 'achterland' zijn normen voor 'overschrijdingskansen' van de maatgevende waterstanden voor dijken afgesproken. In Groningen wordt de norm van 1/4.000 gehanteerd. Een norm van 1/4.000 wil zeggen dat de dijk een waterstand met een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4.000 per jaar veilig moet kunnen keren. Bij het dijkontwerp wordt dan niet alleen rekening gehouden met de maatgevende waterstand maar o.a. ook met golfhoogte en -oploop onder invloed van wind. Veranderingen in wind en storm zijn dus ook belangrijke redenen voor het aanpassen van de kustverdediging. Vooralsnog verwacht het KNMI dat de veranderingen in wind en storm gering zullen zijn (zie paragraaf 2.6).

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 kans op overstromingen niet toeneemt.

In het project Veiligheid Nederland in Kaart worden de huidige 'kansen' op dijkdoorbraken berekend (Zie [www.hulpdeskwater.nl/projectvkn/](http://www.hulpdeskwater.nl/projectvkn/)). Bij het berekenen van deze kansen is wel rekening gehouden met de meest

waarschijnlijke combinatie van waterstanden en keringsituatie.

### *Samenvattend*

Onder invloed van klimaatveranderingen veranderen de overstromingsrisico's, 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 maar enkele studies beschikbaar.

## 3.1.2 *Effecten van klimaatverandering op de Groningse Waddenzee<sup>1</sup>*

### *Zeespiegelstijging leidt 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. Wanneer de zeespiegel te snel stijgt, kan de sedimentatie deze niet meer 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). Als de stormfrequentie en intensiteit toenemen, hoewel daar op basis van de analyses voor het de KNMI'06 scenario's geen aanwijzingen voor bestaan, kan dat tot extra verhoging van waterstanden leiden. Voor de Waddenzee wordt een aantal belangrijke gevolgen verwacht:

- **Achteruitgang wadplaten.** In het scenario van 60 cm zeespiegelstijging zal het oppervlak zandplaten met enkele procenten afnemen, terwijl bij 85 cm stijging de aanvoer van zand vanuit de Noordzeekustzone niet langer voldoende is om de zandplaten op hoogte te houden.
- **Achteruitgang kwelders.** Door mogelijk sterkere golfwerking kan afslag plaatsvinden aan de randen van kwelders. Bij 60 cm zeespiegelstijging kan de opslibbing van kwelders bij hoogwater de zeespiegelstijging onvoldoende bijhouden. Deze kwelderregressie speelt vooral bij de eilandkwelders. Langs de Groninger kust zullen de kwelders minder last hebben van afslag en regressie.
- **Achteruitgang bestaande flora en fauna.** 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 zal 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 vis kan ontregeld raken. De soortensamenstelling van de visfauna zal veranderen, maar de kennis hierover is vooralsnog beperkt.

Een toename van zachte winters heeft een negatief effect op schelpdierpopulaties en op de vogelfauna. Dit komt 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, waarbij piekafvoeren belangrijk zijn. Door de stijgende zeespiegel zal dit echter steeds moeilijker worden. Verdubbeling van de spuicapaciteit vanuit het IJsselmeer is reeds in studie. Op kleinere schaal speelt dit ook bij het Lauwersmeer en de Eemsmond. In de zomer neemt het aantal extreem droge perioden waarschijnlijk toe, waardoor juist minder zoet water naar zee zal worden afgevoerd.

Door toenemende piekafvoeren van zoet water zullen de zoet-zoutovergangen lokaal (tijdelijk) scherper worden. Mogelijk zijn veel 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.

### *Gevolgen voor de kustveiligheid*

- **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, wash-overs en

<sup>1</sup> Onderstaande tekst is grotendeels gebaseerd op twee recente rapporten (MNP, 2005 en RIKZ, zonder jaartal).

sluffers).

### 3.1.3 *Prioritering bij lage rivierafvoer*

Wellicht is de verdeling van rivierwater in droge periodes niet meer passend in de toekomstige situatie.

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.

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 als de gezondheid in gevaar is)
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 *Veranderingen regionale watersystemen*

#### *Grondwaterstanden en afvoeren*

Klimaatveranderingen hebben gevolgen voor de regionale watersystemen. Door verandering in neerslag en verdamping verandert de grondwateraanvulling waardoor de grondwaterstanden en de grondwaterstroming veranderen. Daardoor zullen de afvoeren naar sloten en beken wijzigen. Naast deze directe hydrologische effecten zijn er indirecte hydrologische effecten. Een voorbeeld is dat door de toename van de droogteschade in de landbouw bij vooral de +-scenario's, de grondwateronttrekkingen voor beregening kunnen toenemen waardoor de grondwaterstanden in de zomer extra dalen.

Het patroon van hydrologische veranderingen in ruimte en tijd is sterk afhankelijk van de eigenschappen van de regionale systemen en kan zonder gebruik van regionale hydrologische modellen moeilijk worden gekwantificeerd. De hierna volgende analyse is gebaseerd op een kwalitatieve analyse van de resultaten van een beperkt aantal regionale studies (o.a. Van Walsum, pers. meded. en Tauw, 2007)

#### *Vrij-afwaterende gebieden*

De hydrologische veranderingen in de vrij-afwaterende gebieden van Drenthe en Groningen zijn sterk afhankelijk van het 'geheugen' van het hydrologische systeem. 'Geheugen' wil bijvoorbeeld zeggen dat een droog zomerhalfjaar doorwerkt in het winterhalfjaar.

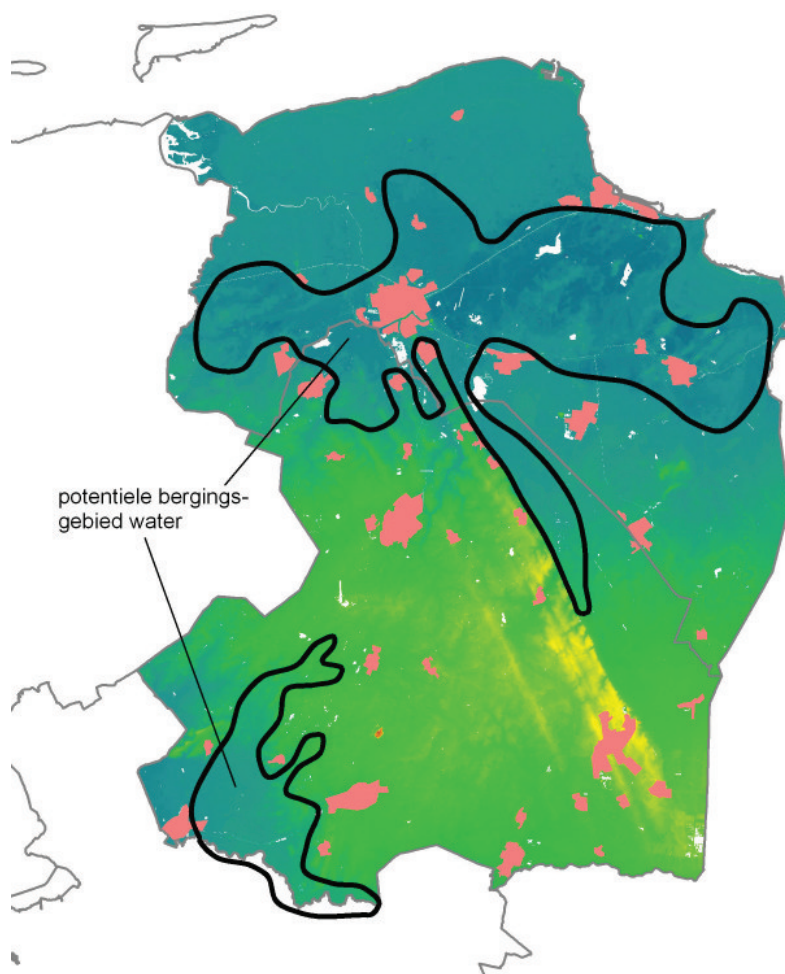
Gebieden met intensieve ontwatering die niet worden gevoed vanuit hoger gelegen gebieden volgen de seizoensveranderingen: meer neerslag in de winterperiode betekent hogere grondwaterstanden en meer afvoer in de winter; een hoger neerstagtekort in het zomerhalfjaar betekent lagere grondwaterstanden en minder afvoer in de zomer. Vooral bij het W+-scenario neemt de dynamiek van het hydrologisch systeem in dit type gebieden aanzienlijk toe. Bij het W-scenario resulteert de hogere neerslag in hogere grondwaterstanden en hogere afvoeren.

In gebieden zonder zichtbare ontwatering zal bij vooral het W+-scenario de grondwateraanvulling van het regionaal systeem afnemen waardoor de grondwaterstanden aanzienlijk dalen. Daardoor zal de grondwaterstroming naar kwelgebieden afnemen. Bij het W-scenario overtreft de hogere neerslag de hogere verdamping waardoor de grondwateraanvulling enigszins toeneemt, met hogere grondwaterstanden tot gevolg.

In gebieden met intensieve ontwatering die gevoed worden vanuit hoger gelegen gebieden (zoals de beekdalen in Drenthe en De Hunze aan de oostkant van De Hondsrug) neemt bij vooral het W+-scenario's de kwelintensiteit af waardoor de grondwaterstanden in de zomer verder uitzakken en de kans op droogval van beken toeneemt. In de winter zullen de grondwaterstanden wat lager blijven waardoor de afvoeren ook enigszins lager worden omdat de bodem droger de winter ingaat en de afname van de kwel groter is dan de toename van de neerslag. In het W-scenario neemt de kwel juist toe en neemt de kans op droogvallen van beken af.

Door het frequenter optreden van zware buien komt er vaker water op het land en op straat te staan waardoor de piekafvoeren toenemen.

Een conservatieve schatting is dat 10% meer neerslag overeenkomt met 10 mm meer te bergen water, als de afvoercapaciteit niet toeneemt. Geschat wordt dat dit een verdubbeling betekent van ten opzichte van de nu geplande bergingsmogelijkheden.



Figuur 3.1 Potentiële waterbergingsgebieden in Groningen en Drenthe (bron: expertmeeting, maart 2008)

**Peilbeheerste gebieden**

In de peilbeheerste klei- en zavelgebieden in het noordelijke deel van Groningen wordt de verandering van de dynamiek van de grondwaterstanden beperkt: door de intensieve ontwatering (via drainbuizen) heeft een toename van de neerslag een gering effect op de hoogste grondwaterstanden. Wel kunnen door de goede capillaire eigenschappen de grondwaterstanden in vooral het W+-scenario enkele decimeters worden verlaagd maar dat heeft een gering effect op de regionale grondwaterstroming.

In het peilbeheerste veenkoloniaal gebied wordt de verandering van de dynamiek van de grondwaterstand door de intensieve ontwatering eveneens beperkt. Wel neemt bij het W+-scenario de verdamping toe waardoor

de grondwaterstanden in de zomer extra dalen.

Door het frequenter optreden van zware buien komt er vaker water op het land en op straat te staan waardoor de piekafvoeren toenemen.

### *Regionale watervoorziening*

Delen van de provincies Groningen en Drenthe worden in de zomerperiode voorzien van Rijnwater vanuit het IJsselmeer. De afvoeren van de Rijn bij vooral het W+-scenario kunnen in droge zomers lager worden waardoor de kans bestaat dat er eerder wordt gekort op de watervoorziening.

### *Drinkwatervoorziening*

De drinkwaterbehoefte van Groningen en Drenthe wordt momenteel voor het grootste gedeelte voorzien vanuit grondwaterwinningen. De mogelijk negatieve gevolgen van deze winningen voor landbouw en natuur zullen door de klimaatverandering vooral bij de +-scenario's toenemen omdat de grondwateraanvulling dan afneemt. Het aandeel grondwaterwinning in het neerslagoverschot neemt bij gelijkblijvende omvang toe waardoor het effect van vermindering van het neerslagoverschot volledig terecht komt in de restpost. Daardoor zullen de effecten op grondwaterstand en kwel die er nu al zijn extra worden versterkt. Dit geldt vooral voor gebieden aan weerszijden van gebieden zonder zichtbare ontwatering, zoals de Hondsrug.

Een deel van de drinkwaterbehoefte wordt gedekt uit oppervlaktewater (bijvoorbeeld de inname van water uit de Drentse Aa bij De Punt). De afvoeren zullen in de winter enigszins toenemen maar de afvoeren in de zomer zullen vooral bij de +-scenario's aanzienlijk afnemen omdat deze afvoer zijn te relateren aan het neerslagoverschot. Dit betekent dat de kans bestaat op meer behoefte aan buffercapaciteit om de zomerbehoefte te kunnen dekken of eerder uitwijken naar de grondwaterwinningen (waardoor genoemde effecten bij de grondwaterwinning worden versterkt). Ook is de verwachting dat de vraag naar drinkwater (en water voor sproeien van gazons e.d.) bij de +-scenario's zal toenemen waardoor de behoefte aan buffercapaciteit groter zal worden.

### 3.1.5 *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 stilstaand water, 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 zonder beleidsinterventies toenemen. Bovendien zorgt afspoeling van nutriënten door neerslag weer voor betere omstandigheden voor blauwalg.

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

#### **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 dus afnemen.

## 3.2 **Stedelijk gebied**

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

- Het stedelijk gebied zal zich moeten aanpassen aan het verwerken van extreme buien
- De drinkwatervoorziening komt door temperatuurstijging en watertekort onder druk te staan.
- Hittestress als gevolg van stijgende gemiddelde temperatuur en het vaker voorkomen van extremen zal toenemen. Echter de steden in Groningen en Drenthe zijn klein, het verschijnsel zal daarom niet vaak optreden

## 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. De stedelijke gebieden zijn thans 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 herhalingstijd 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.

### *Adaptatieopgave*

De afvoercapaciteit van de transportsystemen is niet eenvoudig te vergroten, daarom is meer ruimte nodig in de 'haarvaten' van het stedelijke watersysteem. Het water moet 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*

### *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 kan worden aangevuld.

## 3.2.3 *Hittestress in de stad*

Als gevolg van een stijgende temperatuur zal hittestress vaker voorkomen. In alle KNMI'06 scenario's stijgt de temperatuur van de warmste zomerdag sneller dan de gemiddelde zomertemperatuur. Dit is met name het geval in de G+ en W+ scenario's. Vooral in deze scenario's zullen de extremen toenemen.

### *Meteorologische waarnemingen in de stad*

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Het KNMI verricht echter niet standaard metingen in steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten (de WMO-standaard vereist in een landelijke omgeving te meten).

De beperkte metingen die er wel zijn geven bijvoorbeeld voor het centrum van Utrecht rond 1970-1975 een gemiddelde temperatuur die ca. 1,1 °C hoger is dan op het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag. Op individuele dagen kan het verschil tussen het stadscentrum en het platteland echter veel groter zijn. Bij een stad met 1 miljoen inwoners is het maximale verschil op dagbasis ca. 7-8 °C, bij 100.000 inwoners ca. 5-6 °C. De grootste plaatsen in de provincies Groningen en Drenthe zijn Groningen (ruim 180.000 inwoners), Assen (ruim 60.000 inwoners), Emmen (ongeveer 60.000 inwoners) en Hoogeveen (ruim 50.000 inwoners). Voor

de grootte van het hitte-eiland-effect is het relevanter om te kijken naar agglomeraties i.p.v. de individuele plaatsen. De steden zijn dus niet echt groot en daarom zal het verschil tussen platteland en het centrum van de stad niet heel groot zijn. Hittestress zal niet vaak een probleem zijn in beide provincies. Echter het maximale verschil zal dus voor deze plaatsen, afhankelijk van de grootte van de plaats/agglomeratie, liggen tussen de 4 °C tot iets meer dan 6 °C.

#### *Warmte eiland*

Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte-eilanden (ook wel hitte-eilanden genoemd) ontwikkelen. De sterkte van dit effect neemt toe met 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 geabsorbeerd 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.

#### 3.2.4 *Luchtkwaliteit*

Weersomstandigheden zoals windrichting en zonneshijn 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 zonneshijn). 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 landelijke gebied in zijn geheel optreden, beschouwd. In paragraaf 3.4 en 3.5 worden landbouw en natuur apart behandeld.

In het landelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben.

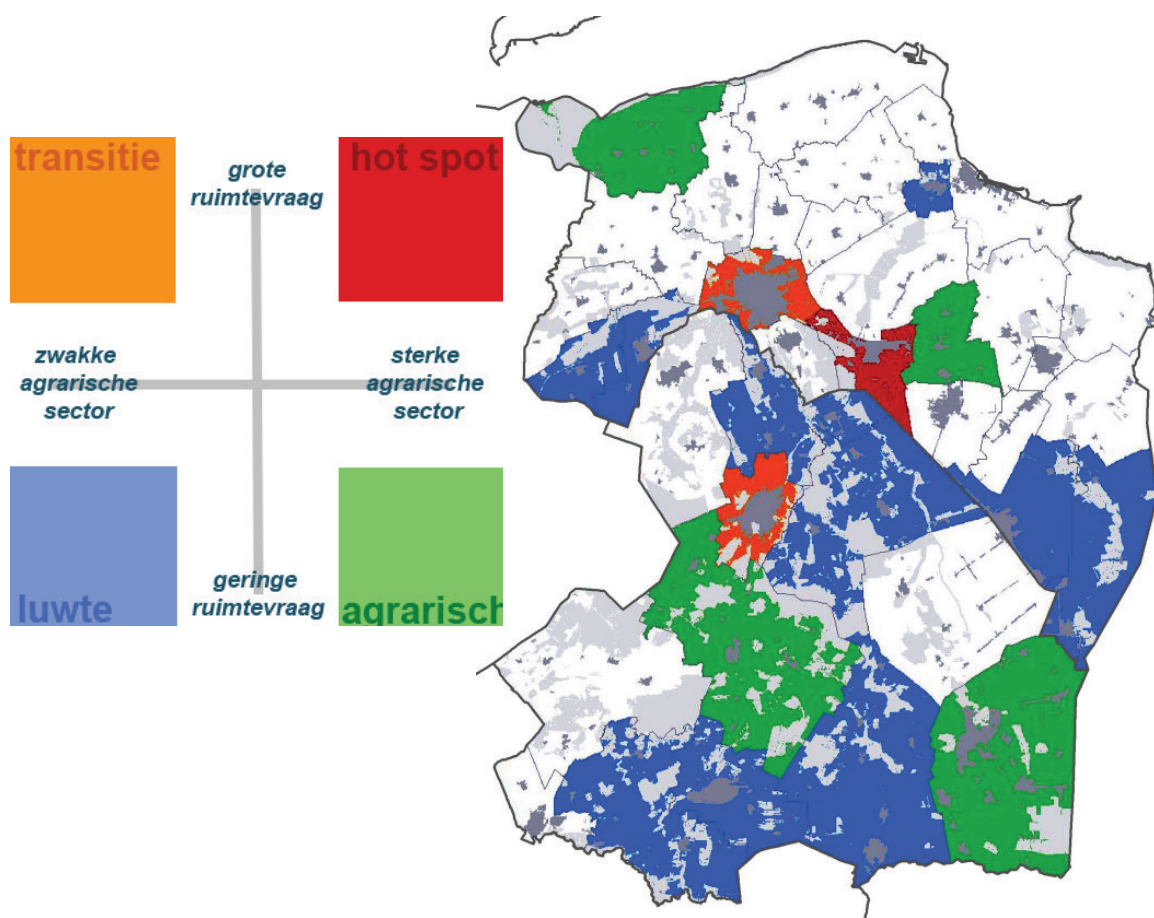
- Het landelijk gebied zal meer wateroverlast krijgen.
- In het landelijk gebied leidt daling van de grondwaterstand in de zomer tot een grotere vraag naar oppervlaktewater voor peilhandhaving, beregening en doorspoeling voor het tegengaan van verzilting. Tegelijkertijd stijgt de behoefte aan oppervlaktewater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

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

#### 3.3.1 *Ruimedruk in de provincies Groningen en Drenthe*

In het rapport 'Waar gebeurt het?' (Agricola et al., 2008) zijn gemeenten in Nederland getypeerd wat betreft de verwachte ruimtelijke veranderingen in de nabije toekomst. Daartoe is een denkraam ontwikkeld waarin de vraag naar ruimte geconfronteerd wordt met het mogelijke aanbod. Ruimtevragers zijn: natuur, water, recreatie en toerisme of stedelijke druk (diffuus en concrete plannen). Het aanbod is afkomstig van de land- en tuinbouw, zij het dat die meer of minder weerstand kan bieden afhankelijk van hoe sterk die is. Gemeenten zijn gescoord in vijf categorieën en in een kaartbeeld weergegeven: hot-spotgebieden (sterke landbouw, grote vraag naar ruimte), transitiegebieden (zwakke landbouw, grote ruimtevraag), luwtegebieden (zwakke landbouw, kleine ruimtevraag), agrarische gebieden (sterke landbouw, nauwelijks vraag naar ruimte) en overige gebieden. In Groningen/Drenthe komen alle typen gebieden voor. Elk type gebied kent zijn eigen problematiek. Het gevecht om de ruimte is het grootst in hot-spotgebieden.

Er is in het rapport geen rekening gehouden met gevolgen van klimaatverandering en de consequenties daarvan voor de ruimtevraag en het aanbod aan ruimte. Per aspect van klimaatverandering en gebied waar dit speelt, moet dit beoordeeld worden.



Figuur 3.2 Ruimtedruk in de provincies Groningen en Drenthe

### 3.3.2 Wateroverlast Landelijk gebied

#### Wateroverlast landelijk gebied: winter

De 10-daagse neerslagsom met een herhalingstijd van 10 jaar neemt in het W-scenario toe met 8% en bij het W+-scenario met 12%. Hierdoor neemt de kans op wateroverlast in het landelijke gebied, als gevolg van onvoldoende afwateringscapaciteit toe. Dit geldt vooral voor polderachtige gebieden met een kort hydrologisch geheugen. Voor de vrij-afwaterende gebieden is de verandering in de maatgevende afvoeren ook afhankelijk van de hydrologische veranderingen buiten de maatgevende periode.

Wat dit betekent voor de wateropgave is zonder hernieuwde berekeningen niet goed aan te geven. Een conservatieve schatting is dat de 10% meer neerslag overeenkomt met 10 mm vasthouden of bergen, hetgeen een aanzienlijke verzwarende betekenis heeft.

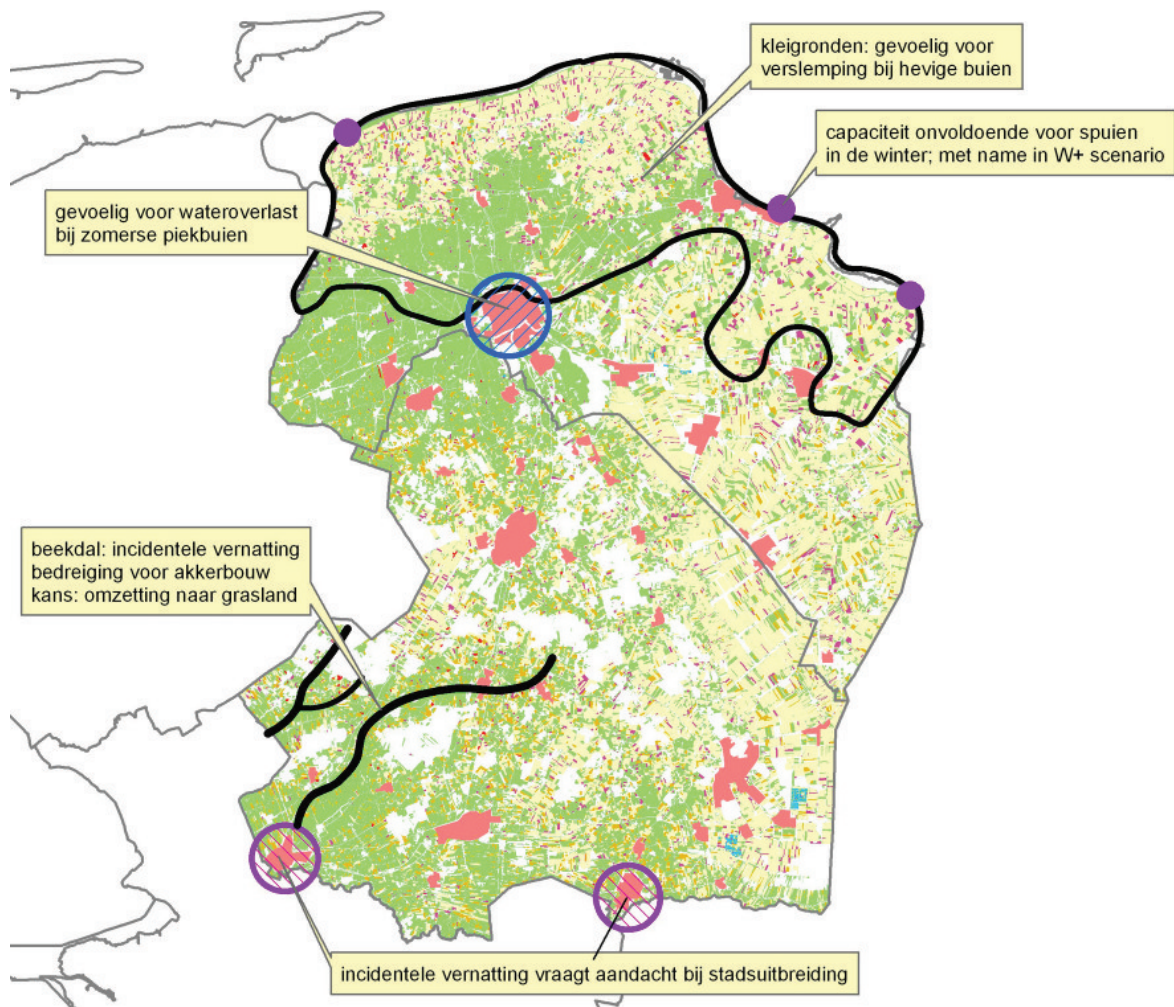
Veel waterschappen zijn bezig, vóór 2015, hun watersysteem WB21-proof te maken. In veel gevallen wordt hierbij overgedimensioneerd omdat wordt ontworpen voor de situatie die pas in 2050 zal optreden. De KNMI-scenario's geven aan dat er bij het W-scenario 4 to 8% meer water te verwerken zal zijn ten opzichte van het midden-scenario van WB21. Dit scenario is gebruikt bij bepaling van de wateropgave en komt ongeveer overeen met het G-scenario. Bij overdimensionering zal deze extra hoeveelheid water voorlopig nog te verwerken zijn maar de kans bestaat dat in de periode na 2015 extra maatregelen nodig zijn.

De grootte van het overlast is mede afhankelijk van de hoeveelheid verhard oppervlak in het gebied. 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).

#### Wateroverlast landelijk gebied: zomer

De frequentie van buien met hoge neerslaghoeveelheden neemt toe. Hierdoor zal er meer wateroverlast zijn in het groeiseizoen.



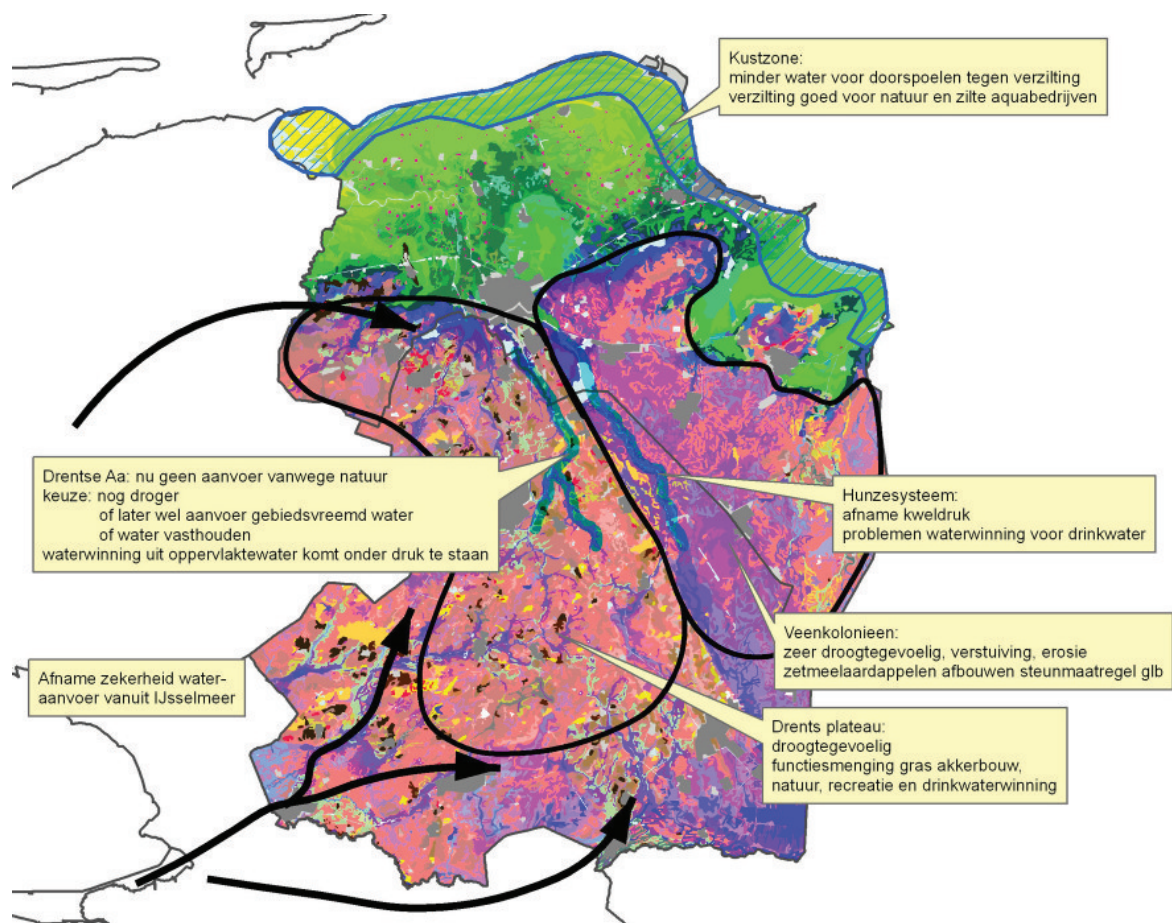


Figuur 3.3 Vernatting in de provincies Groningen en Drenthe (bron: expert sessie, maart 2008)  
(Verslemping: dichtslaan van de bovenste laan van de bodem)

Als maat voor wateroverlast als gevolg van hevige neerslag is het aantal dagen in de zomer genomen dat er meer dan 15 mm neerslag valt. Bij dergelijke neerslaghoeveelheden bestaat er een gerede kans dat de infiltratiecapaciteit van de bodem of de ontwateringscapaciteit van de percelen onvoldoende is. In dat geval kunnen er plassen op het land komen te staan of wordt de grondwaterstand te hoog. Het aantal dagen met meer dan 15 mm neerslag in de zomer neemt volgens de kaarten in figuur 2.9 in het W-scenario toe met circa 3 dagen (van circa 9 tot circa 12 dagen) en in het W+-scenario met circa 2 dagen. Bij grasland leidt dit tot het vaker verloren gaan van snedes en bij bouwland tot het vaker geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Ook recreatieterreinen (bijvoorbeeld campings of evenemententerreinen) zullen vaker last hebben van wateroverlast.

### 3.3.3 Verdroging in het landelijk gebied

Alle scenario's laten een opwarming zien in 2050. Deze opwarming varieert in de zomer van 0,9 oC tot 2,8 oC, ten opzichte van het klimaat in 1990. De opwarming heeft een toename van de jaarlijkse verdamping van tot gevolg. Maar ook de neerslag verandert. Per saldo zal betekenen dit dat het maximale neerslagtekort in een 10%-droog jaar toeneemt van 205 mm in de huidige situatie tot 225 mm bij het W-scenario en 300 mm bij het W+-scenario (figuur 2.12). Vooral voor het W+-scenario zijn dit veranderingen die aanzienlijke gevolgen kunnen hebben voor de droogteschade in de landbouw en de verdroging van natuur.



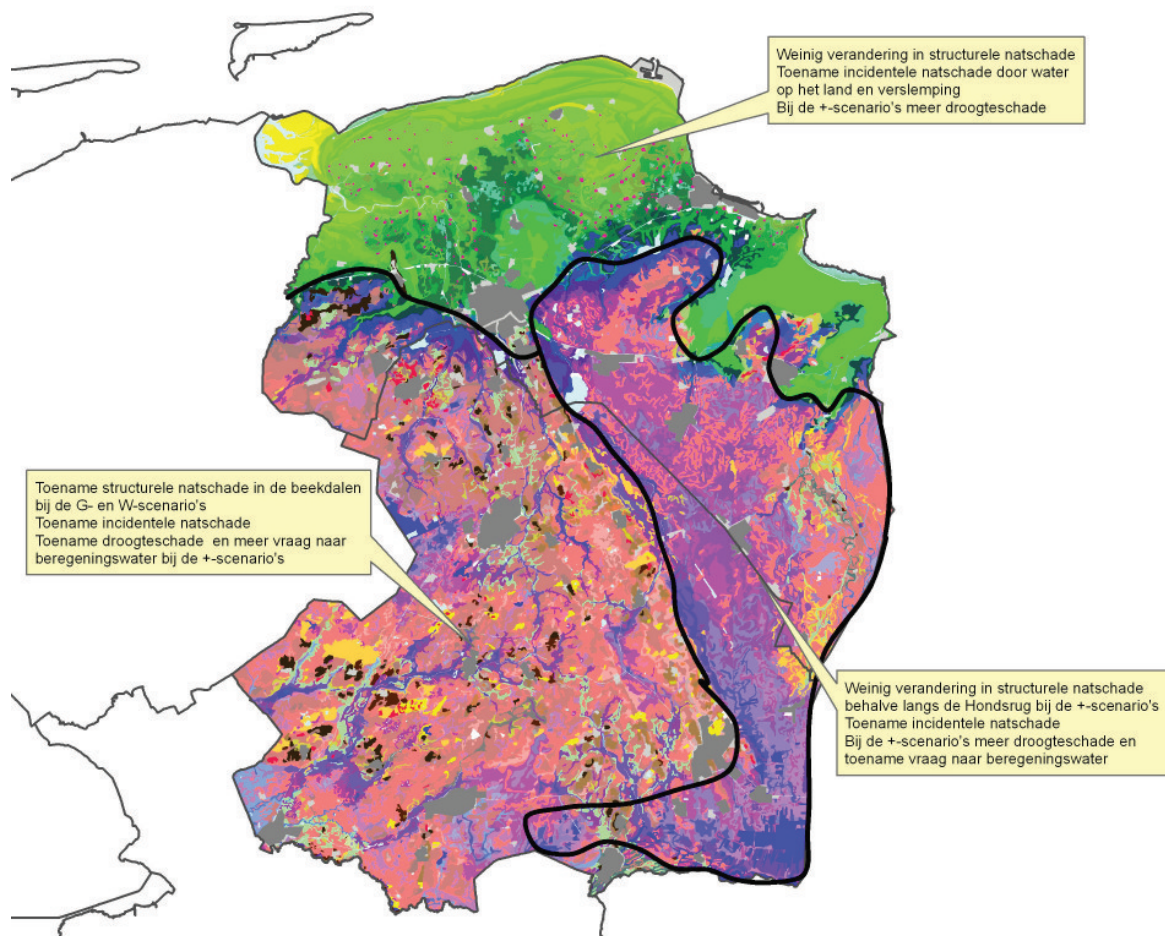
Figuur 3.4 Verdroging bij het G+- en W+-scenario in de provincie Groningen en Drenthe, (bron: expertmeeting, maart 2008)

### 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 groeiseizoen. Bij grasland zal het groeiseizoen (en daarmee de (potentiële) productie) toenemen. Bij gewassen zoals tarwe, maïs, aardappelen (hoewel deze bij temperaturen boven de 30 °C last krijgen van hittestress) 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.

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 de G+ en W+ scenario's. Voor de G en W scenario's is dat nog niet duidelijk. Hitte of langdurige droogte kunnen groeiachterstand of droogteschade aan gewassen veroorzaken. Zware regenval kan velden tijdelijk onbereikbaar 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%.



Figuur 3.5 Nat- en droogteschade in de landbouw (Bron: expertmeeting, maart 2008)

### 3.4.1 Structurele en incidentele klimaatverandering

De structurele klimaatverandering heeft op landbouw een relatief gering effect. Over het algemeen zullen de zachtere winters de groeiseizoenen verlengen. Dit kan productieverbetering opleveren. Ook de hogere temperaturen kunnen leiden tot productieverbetering. Daarnaast neemt echter wel de ziektedruk toe door:

- Zachtere winters, waardoor de ziekten makkelijker kunnen overleven,
- Oprukken van nieuwe soorten uit het zuiden van zowel ziekten en plagen als ook onkruiden,
- Versnelling van de reproductie door verkorting van de regeneratiecyclus bij temperatuursverhoging,
- Doorbreken van resistenties van gewassen door de hogere temperaturen.

De incidentele gevolgen van klimaatverandering hebben echter een veel belangrijker effect op de landbouw. Met name de toenemende kans op zware buien, hittegolven of langdurig natte of droge perioden hebben een impact. Hitte of langdurige droogte kunnen groeiachterstand of droogteschade aan gewassen veroorzaken.

### 3.4.2 Wateroverlast in de winter

#### Natschade in de grondgebonden landbouw

Door veranderingen in de neerslaghoeveelheden zal de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) veranderen en daarmee de kans op natschade. In alle scenario's neemt de gemiddelde neerslag per winterhalfjaar toe met 4% in het W-scenario tot 14% in het W+ scenario. De effecten op de hoogste grondwaterstanden zullen daarom in het W-scenario beperkt zijn, maar in het W+-scenario duidelijk meer. 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*

Incidentele natschade in de landbouw is vooral het gevolg van zware neerslag die de infiltratiecapaciteit van de grond overschrijdt. Als maat voor incidentele natschade tijdens het groeiseizoen is het aantal dagen per jaar genomen dat er meer dan 15 mm/dag valt. Uit figuur 2.9 is af te leiden dat dit aantal dagen toeneemt van ca. 10 in het huidige klimaat tot 13 bij het W-scenario en 12 in het W+-scenario. Door toename van de hoge neerslagpieken zal er frequenter een situatie ontstaan dat water op het land komt te staan en oppervlakkig afstroomt. Zware regenval kan velden tijdelijk onberijdbaar maken voor (oogst)machines of gewassen tijdelijk onder water zetten waardoor schade optreedt. In het jaar 2000 bijvoorbeeld was er een opbrengstderving van 10% door incidentele wateroverlast. Bij grasland leidt dit tot het vaker verloren gaan van snedes en bij bouwland tot het vaker geheel of gedeeltelijk verloren gaan van de oogst. Buiten het groeiseizoen is dit voor de landbouw niet zo bezwaarlijk, maar de kans op piekbelasting van nutriënten op het oppervlaktewater neemt wel toe. Een deel van de akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen wordt in het winterhalfjaar geogst. De kans dat er door te natte omstandigheden niet kan worden geogst neemt toe.

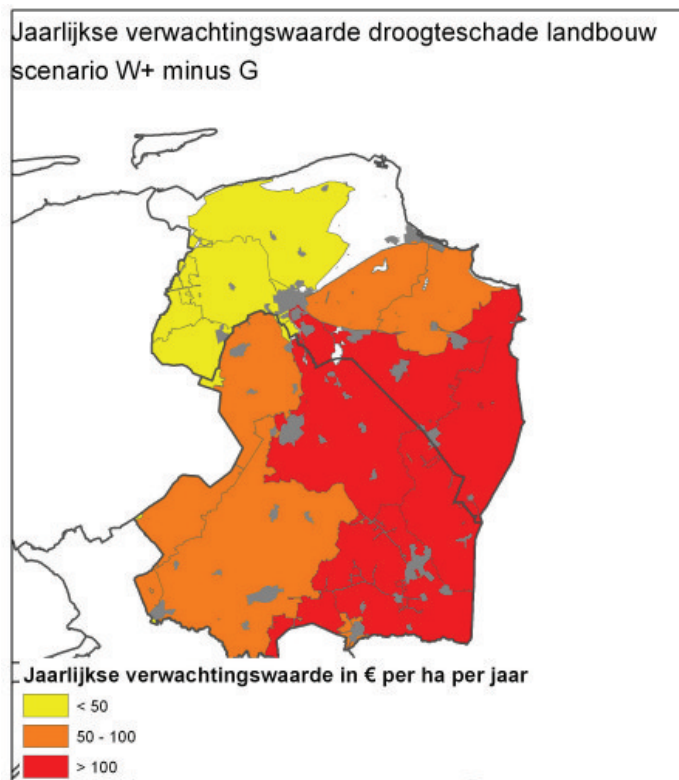
3.4.3 *Droogteschade grondgebonden landbouw*

Vooral in de W+-scenario's neemt het neerslagtekort in het zomerhalfjaar aanzienlijk toe. Dit heeft gevolgen voor de landbouw.

In de Droogtestudie (RIZA, 2006) is de droogteschade berekend die in 2050 kan optreden bij de 4 klimaatscenario's. Daarbij is rekening gehouden met de verschuivingen in landbouwarealen als gevolg van maatschappelijke ontwikkelingen. Er is geen rekening gehouden met de effecten van een hoger CO<sub>2</sub>-gehalte op de watergebruiksefficiëntie waardoor minder water nodig is om dezelfde gewasopbrengsten te behalen.

In figuur 3.6 is per district de verandering van de jaarlijkse verwachtingswaarde (JVW) van de geldelijke landbouwkundige droogteschades ten opzichte van het G-scenario (waarbij de effecten op de droogteschade beperkt zijn) weergegeven. Vergelijking met de huidige situatie is helaas niet mogelijk omdat is gerekend met te verwachten veranderingen in landbouwarealen en prijzen van landbouwproducten.

Het W+-scenario laat een behoorlijke toename zien van de droogteschade. Daarbij is gerekend met de huidige mogelijkheden van beregening. Indien door restricties ten aanzien van grondwateronttrekking of verminderde wateraanvoermogelijkheden de beregening niet op het huidige peil kan blijven neemt de droogteschade, vooral bij het W+-scenario, nog meer toe.



Figuur 3.6 Verandering van de jaarlijkse verwachtingswaarde per district voor droogteschade in het W+-scenario ten opzichte van het G-scenario (Bron: Royal Haskoning, 2007)

#### 3.4.4 *Verziltingschade grondgebonden landbouw*

In de Droogtestudie is eveneens berekend welke schade de landbouw ondervindt als gevolg van verzilting van het oppervlaktewater, doordat de zoute kwel (als gevolg van zeespiegelrijzing en/of maaiveldsdaling) en de zoetwatervoorziening verandert) In het kader van de Droogtestudie (RIZA, 2006) zijn verziltingschades voor de 4 klimaatscenario's berekend. De schades zijn over het algemeen verwaarloosbaar.

#### 3.4.5 *Ziekten en plagen in de akkerbouw*

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.

##### *Gras*

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

##### *Maïs*

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

##### *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), aaltjes (waaronder stengelaaltjes), erwinia 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).

##### *Glastuinbouw*

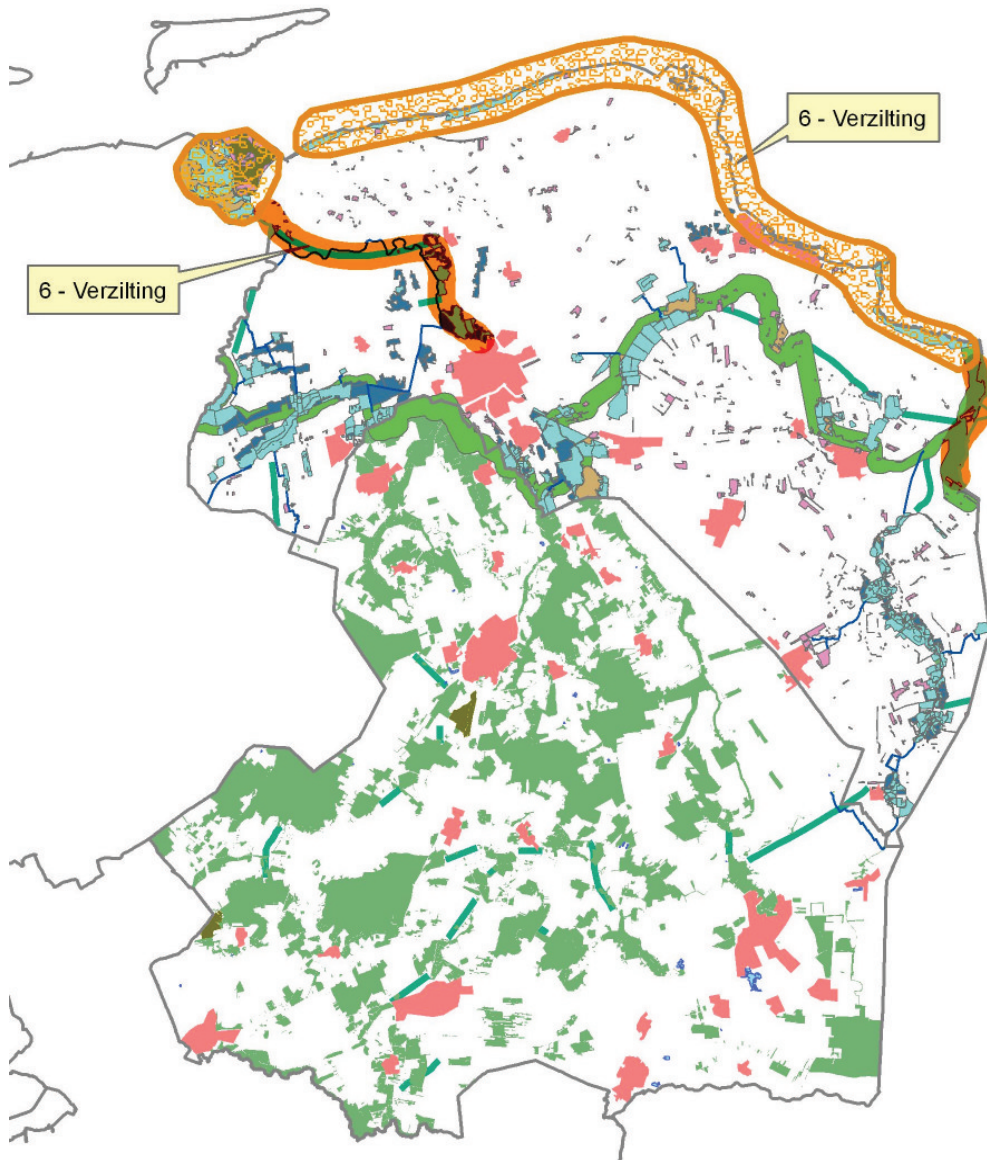
De glasteelt is gevoelig voor hagelschade. Daarnaast zal de ziektedruk toenemen. In de intensieve tuinbouw is over het algemeen sprake van monocultuur. Hierdoor neemt in de kas het risico op ziekten en plagen met de jaren toe. Het overstappen op wisselteelten en het werken met rotaties van gewassen is 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).



*Figuur 3.7 Verzilting in de provincie Groningen*

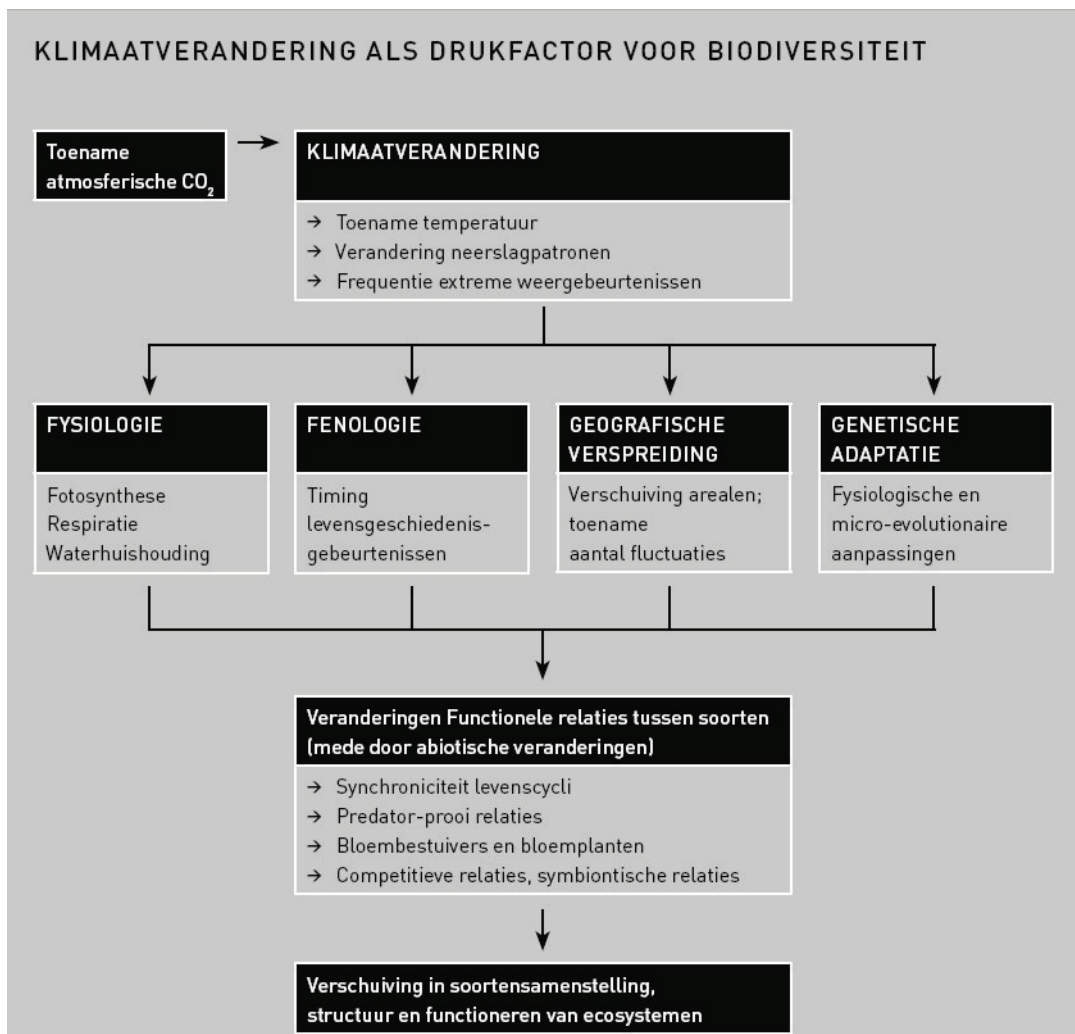
## 3.5 Natuur

### 3.5.1 Effecten op natuur - algemeen

Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie, de fenologie (de leer van de invloed van klimaat en bodem op de groei van planten en dieren), de geografische verspreiding en de genetische adaptatie van soorten (zie Figuur 3.8), 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.

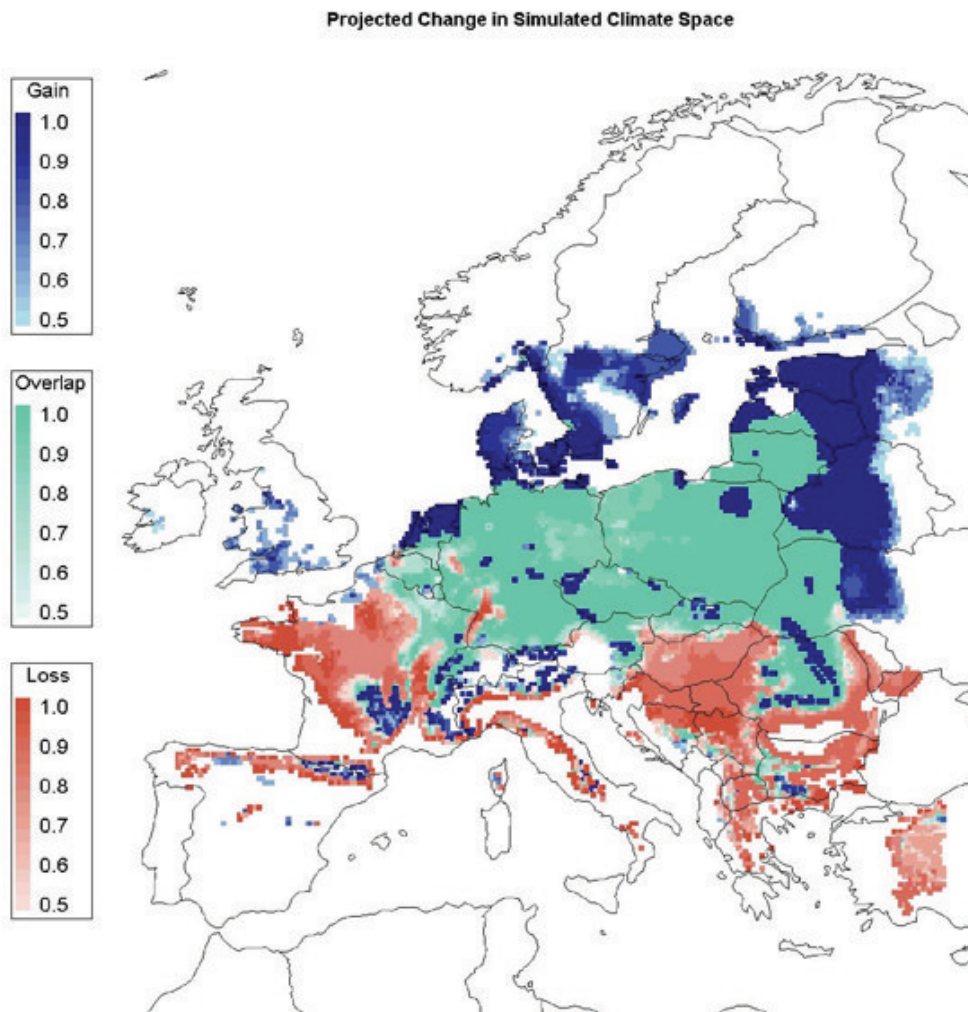
Klimaatverandering zal voor Nederland naar verwachting een aantal belangrijke gevolgen hebben. Deze worden in onderstaande paragrafen nader toegelicht en gespecificeerd voor Groningen en Drenthe.

- **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 zeeleipolders 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). Echter, verzilting kan ook een kans zijn. In dit gebied komen van nature brakke milieus voor, die door doorspoeling zijn verdwenen.
- **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. 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 3.10). 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 het voorbeeld in figuur 3.9). 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 beneden.

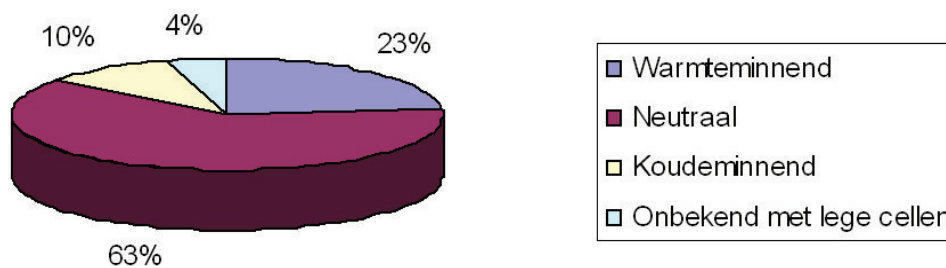


Figuur 3.8 Samenvatting process die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000; uit Vos et al., 2007).





Figuur 3.9 Verwachte verandering van de ligging van de klimaatvelop van de Middelste Bonte specht bij een veranderend klimaat (Berry et al., 2007).



Figuur 3.10 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.

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 soortgroepen
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 zomertemperatuur (mei, juni, juli)	Jaarlijkse maximum temperatuur
Gemiddelde zomerneerslag (mei, juni, juni)	Geaccumuleerd jaarlijkse bodemwatertekort
Gemiddelde winterneerslag (december, januari, februari)	Geaccumuleerd jaarlijkse bodemwateroverschot
Gemiddelde zomer waterbeschikbaarheid (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)<sup>2</sup>

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

#### 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 genereerd.

#### 3.5.2 Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Groningen en Drenthe

Figuur 3.11 geeft de in Groningen en Drenthe voorkomende fysisch-geografische regio's weer. De belangrijkste zijn de Hogere zandgronden (geel), het Zeekleigebied (donkergroen) en het Getijdengebied (zeegroen). Verder komen voor het Laagveengebied (bruin), Afsloten zeearmen (Lauwersmeer) en de Duinen.

#### Versterkte verdroging

Groningen en Drenthe kennen een groot aantal natte gebieden met hoge natuurwaarden, zoals de Natura2000 gebieden Fochteloërveen, het Leekstermeergebied, het Zuidlaardermeergebied, het Bargerveen en Dwingelderveld. Eén van de problemen waarmee deze gebieden te kampen hebben is de verdroging als gevolg van ontwatering van omliggend (landbouw)gebied.

Verdroging blijft –in ieder geval op de korte termijn– een bedreiging, waarvoor maatregelen nodig zijn. Verwacht kan worden dat natuur in Groningen en Drenthe die nu al te lijden heeft onder deze verdroging, als gevolg van klimaatverandering in nog sterkere mate hieronder zal lijden. Natuurtypen als beeksystemen, bossen op arme gronden, moeras, natte heide en hoogveen zijn hier zeer gevoelig voor.

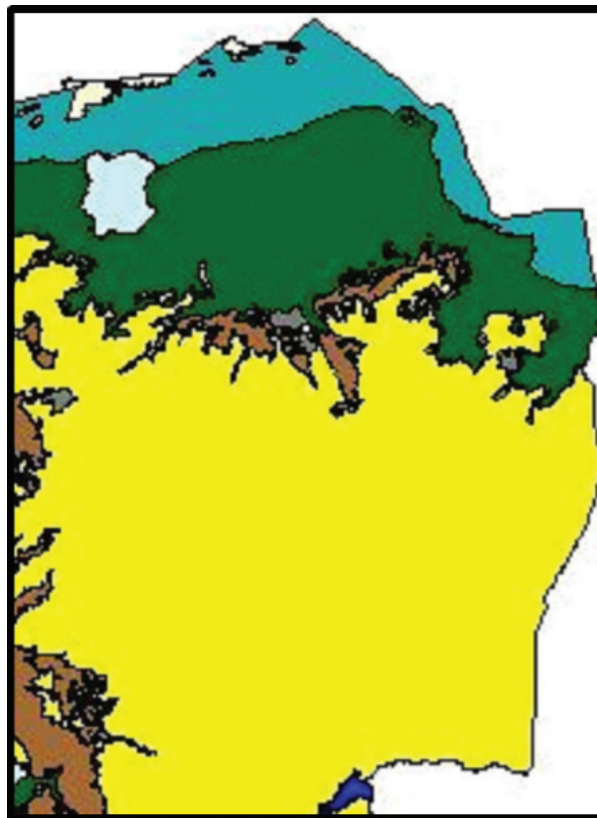
<sup>2</sup> Het gebruikte klimaatscenario is het scenario gegenereerd door het Hadley CM3model onder het A2 emissie scenario van het IPCC (Special Report on Emissions Scenarios; [www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm)).

Verder kan verdroging afgeleide effecten met zich meebrengen, zoals eutrofiering, verzuring (Lamers, 2001 en Lucassen, 2004). Deze effecten treden in vrijwel alle natuurgebieden met een hoge sulfaatbelasting (door aanvoer van oppervlaktewater of vervuild grondwater) op.

De verwachting is dat extreem warme en droge perioden zullen toenemen. Veel natuurtypen zijn hiervoor in meer of mindere mate gevoelig. In Drenthe en Groningen behoren beken, bossen van bron en beek, bossen van laagveen en klei, moeras, natte schraallanden, natte heide en hoogveen en zoete stilstaande wateren tot de gevoeligste natuurtypen voor warmtestress en droogtestress.

Bossen van bron en beek komen vooral op de hogere zandgronden van Groningen en Drenthe voor. Op de natuurtypenkaart (let op: dit gaat over de EHS en hoeft nog niet een gerealiseerd natuurtype te zijn) zijn voorbeelden van bos van bron en beek in Drenthe: Oosterbos nabij Emmen/Klazienaveen, Zoersche Landen (Exloosche Langen) ten oosten van Exloo en Oosterholten/Weesplagen ten WZW van Wezuperbrug. In Groningen vinden we dit natuurtype bijvoorbeeld ten noordwesten van Oude Pekela. Blom et al. (2008) karakteriseert dit natuurtype als zeer gevoelig voor warmte- en droogtestress met als toelichting: 'Toename verdamping, verruiging door droogval en mogelijk oppervlakteverlies.'

Bossen van laagveen en klei liggen vooral in de provincie Groningen. Grotere eenheden vinden we in het Lauwersmeergebied en kleinere gebiedsjes liggen verspreid over het Noord-Groningse kleigebied. In het Gronings/Drenthse laagveengebied vinden we bos van laagveen in onder meer de Onnerpolder en de Oostpolder, ten zuidoosten van Haren respectievelijk te noorden van Noordlaren. Blom et al. (2008) karakteriseert dit natuurtype als zeer gevoelig voor warmte- en droogtestress met als toelichting: 'toename verdamping kan leiden tot verdroging (ongunstig voor vochtige bossen) en verruiging of tot meer toestroom van oppervlaktewater (vaak van minder goede kwaliteit).'



Figuur 3.11 Fysisch-geografische regio's in Groningen en Drenthe (naar Bal et al., 2001). Geel=hoge zandgronden; donkergroen=zeekleigebied; zeegroen=getijdegebied; bruin= laagveengebied.

### Overstroming

Beekdalen—vaak met hoge natuurwaarden—zijn karakteristiek voor Drenthe en in mindere mate ook Groningen. Voorbeelden hiervan zijn de Drentse Aa, Hunze en Westerwoldse Aa. Hogere overstromingsfrequenties als

gevolg van klimaatverandering of berging van oppervlaktewater in beekdalen (adaptatie voor water) vormt met name een bedreiging voor gevoelige natuur in beekdalen, zoals blauwgraslanden en broekbossen (Lucassen, 2004). De kwaliteit van het overstromingswater is hiervoor onvoldoende, waardoor interne eutrofiëring kan optreden. Overstroming met water van regenwaterkwaliteit is naar verwachting voor veel natuurtypen minder problematisch waar het gaat om ongewenste effecten als interne eutrofiëring. Diepe overstroming met regenwater kan echter voor met name minder mobiele faunasoorten (of tijdens broedseizoen) problemen opleveren.

**Biodiversiteit**

Het verschuiven van arealen van soorten op (inter)nationaal niveau, betekent op regionaal/lokaal niveau dat sommige soorten het slechter zullen gaan doen (als Nederland in de rode zone van figuur 3.9 is gelegen; koudeminnende soorten), sommige beter (als Nederland in de blauwe zone van figuur 3.9 is gelegen; warmteminnende soorten) en het klimaat zal voor sommigen soorten geschikt blijven (in de groene zone van figuur 3.9; neutrale soorten). Het verschuiven van arealen van soorten kan lokaal effect hebben op het behalen (of niet) van Natura 2000 en EHS doelen.

Tabel 3.4 Enkele voorbeelden van soorten behorend bij hoge zandgronden en hun verwachte respons op klimaatverandering (voor zover bekend). 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: van der Veen et al., in voorbereiding).

<b>Zoogdieren</b>	Noordse woelmuis, grijze grootoorvleermuis, waterspitsmuis, baardvleermuis, meervleermuis
<b>Vogels</b>	zwarte stern, <b>roerdomp</b> , <b>steenuil</b> , geoorde fuut, watersnip, <b>nachtzwaluw</b>
<b>Amfibieën en reptielen</b>	<b>knoflookpad</b> , kamsalamander, <b>boomkikker</b> , <b>heikikker</b> , <b>gladde slang</b> , levenbarende hagedis
<b>Vissen</b>	kleine modderkruiper, beekprik, biermpje, bittervoorn, rivierdonderpad
<b>Planten</b>	<b>drijvende waterweegbree</b> , <b>grote biesvaren</b> , <b>waterlobelia</b> , <b>knolsteenbreek</b> , <b>beenbreek</b> , <b>witte rapunzel</b> , <b>heidekartelblad</b>
<b>Mossen en Korstmossen</b>	tonghaarmuts, kielmos, gewoon hauwmos, hoogveenveenmos, gebogen rendiermos
<b>Dagvlinders</b>	<b>pimpernelblauwtje</b> , gentiaanblauwtje, <b>bont dikkopje</b> , <b>grote weerschijnvlinder</b> , bruine eikenpage, spiegeldikkopje
<b>Libellen</b>	hoogveenglanslibel, gewone bronlibel, speerwaterjuffer, <b>venwitsnuitlibel</b> , beekoeverlibel
<b>Kevers</b>	boszandloopkever, Duitse zandloopkever
<b>Sprinkhanen</b>	grote wrattenbijter, veenmol, moerassprinkhaan, <b>veldkrekel</b>
<b>Overig</b>	veenmier, late hommelmot, knotszweefvlieg, medicinale bloedzuiger

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 Groningen / Drenthe zijn de onderstaande effecten te verwachten:

*Grote hoogveencomplexen en natte heide*

De ecosystemen hoogveen en natte heide kenmerken zich door een relatief groot aandeel koudeminnende doelsoorten. 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 zijn deze ecosystemen relatief soortenarm en dan het effect van het eventuele verdwijnen van deze soorten relatief groot zijn op het functioneren van het ecosysteem.

Het is niet geheel duidelijk of er bij het veranderende klimaat in de huidige hoogveen- en heide gebieden de benodigde abiotische (hydrologische) omstandigheden kunnen worden gehandhaafd (zie beneden onder 'adaptatiemogelijkheden'). Als dat mogelijk is, zullen de koudeminnende soorten zich waarschijnlijk het langste handhaven in de grootste /sterkste gebieden.

### *Hoge zandgronden*

Ook het ecosysteem droge bossen kent relatief veel koudeminnende natuurdoelsoorten, waarvan de verwachting is dat ze het slechter zullen gaan doen als gevolg van klimaatverandering. Voor een aantal soorten, behorend bij hoge zandgronden, zoals die ook voorkomen in Drenthe en Groningen, is de respons op klimaatverandering opgenomen in tabel 3.4.

### *Beeksysteem*

In beekdalen is het aandeel van koudeminnende natuurdoelsoorten kleiner dan in bovengenoemde ecosystemen en meer 'gemiddeld' ten opzichte van andere ecosystemen in Nederland. Deze zijn niet in de responsanalyse meegenomen omdat ze geen natuurdoelsoort zijn. Voor deze soorten kan ook worden verwacht dat ze te lijden zullen hebben van klimaatverandering. Verwacht wordt dat het effect op het beeksysteem in Groningen/Drenthe dus groter is dan uit de huidige analyse blijkt.

### *Moerassen*

Op Europees nivo is de verwachting dat soorten van moeras de grootste problemen krijgen met het verschuiven van geschikte klimaatenvolven. Er is weinig moerashabitat aanwezig, en de moerasgebieden die er zijn zijn vaak klein en versnipperd. Met name in Groningen komen veel moerasgebieden voor, echter vaak klein en versnipperd. Het Lauwersmeergebied is hiervoor een belangrijk gebied.

Er is nog geen 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

### *Hoogveen*

Voor meer informatie over de gevolgen van klimaatverandering, in combinatie met stikstofdepositie, op hoogveen wordt verwezen naar Heijmans et al.2008.

### 3.5.3 *Adaptatiemogelijkheden*

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 (waaronder de natte as in Groningen) 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 de 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 (1°C) 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 de barrièrewerking van wegen en spoorlijnen op te heffen. Hiermee kan de verschuiving van binnenkomende soorten zo goed mogelijk worden geacomodeerd, 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 gradienten 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 Groningen en Drenthe nog de volgende opgaven en vragen voor:

### *Grote hoogveencomplexen en natte heide*

Een belangrijke vraag is of de benodigde abiotische (hydrologische) omstandigheden bij een veranderend klimaat in de huidige hoogveen- en heide gebieden kunnen worden gehandhaafd. Uit een recente studie (Heijmans et al., 2008) blijkt dat grote veranderingen in de vegetatiesamenstelling van Nederlandse hoogvenen niet per sé hoeven op te treden. Vaatplanten en veenmossen houden elkaar in evenwicht. Vaatplanten worden bevoordeeld door de verwachte temperatuurstijging, waardoor de beschikbaarheid van nutriënten toeneemt. Veenmossen daarentegen profiteren in sterkere mate van de stijging in de concentratie CO<sub>2</sub> en de verwachte neerslagtoename. Hoge stikstofdepositieniveaus kunnen echter verstoring werken, omdat ze vaatplanten zoals Pijpenstrootje extra bevoordelen.

Een goede strategie kan zijn om primair in te zetten op de grootste gebieden met de beste kwaliteit; daarmee kunnen karakteristieke koudeminnende soorten zich waarschijnlijk het langste handhaven.

### *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, WUR).

### *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, zoals het Lauwersmeergebied, te verbinden en aan te sluiten op habitat in het Duitsland is voor dit ecosysteem 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 Groningen, de studie van van der Gaast et al zal meer specifiek kunnen aangeven waar de meest geschikte plekken zich zullen bevinden. In de kleinere moerasgebieden, zoals die met name in Groningen voorkomen, is de kans op het lokaal verdwijnen van soorten, die vervolgens gekoloniseerd raken met nieuwe soorten, groot, 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, een belangrijk positief effect heeft op de biodiversiteit in deze gebieden.

### *Beken*

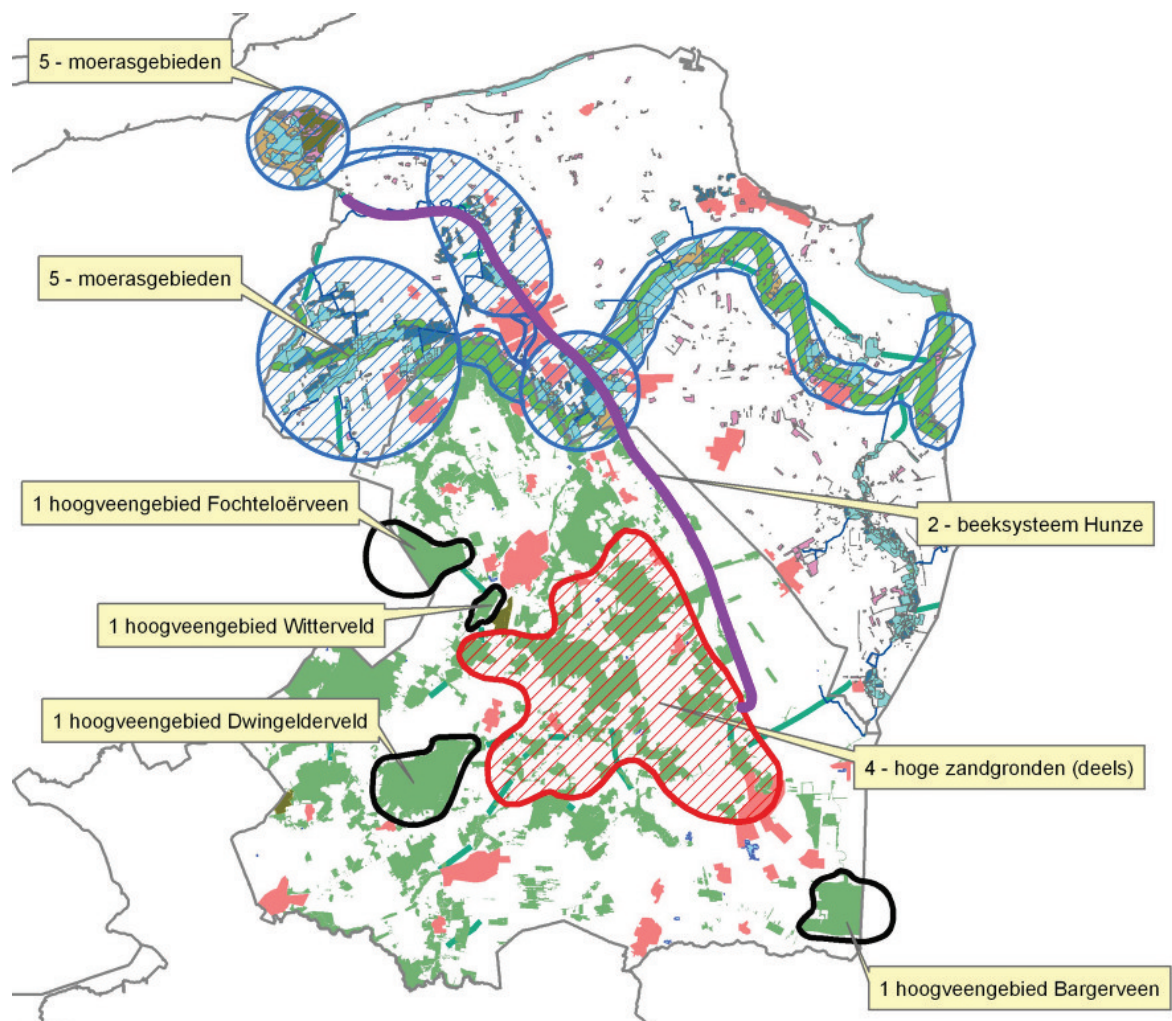
Korte termijn maatregelen in bijvoorbeeld het Hunzesysteem, zijn maatregelen die de ruimtelijke knelpunten (te kleine gebieden, verbindingen) kunnen oplossen. Of dit voldoende is, is nog niet bekend.

Voor de beken in Groningen en Drenthe geldt in het algemeen dat er een aantal ruimtelijke knelpunten voorkomt, met name wanneer beken samenkomen in stedelijk gebied, bijvoorbeeld de Reest en de Oude Vaart, die samen komen bij Meppel. Ook bij Coevorden en ten zuiden de stad Groningen komen waterlopen

samen in stedelijk gebied. Hier ligt een opgave voor de combinatie van stad en natuur. Tussen een aantal beekdalsystemen (bijvoorbeeld bij Groningen stad, Westerwolde en zuidelijk Westerkwartier) liggen opgaven voor connectiviteit die interprovinciaal moeten worden opgepakt.

Wanneer deze stedelijke gebieden passeerbaar gemaakt kunnen worden voor beeksoorten, worden populaties uit verschillende beken/waterlopen met elkaar verbonden (grotere populaties betekenen een kleinere kans op uitsterven) kunnen koudeminnende soorten langer standhouden en kunnen warmteminnende soorten hun leefgebied makkelijker uitbreiden.

Het Handboek Robuuste Verbindingszones geeft de benodigde randvoorwaarden van robuuste verbindingen voor onder andere soorten van beken (Broekmeyer en Steingrover, 2001). Een effectieve verbinding hoeft niet voor alle soorten te bestaan uit een aaneengesloten corridor van natuurlijke beek oevers, maar kan ook (voor beperkte lengtes) bestaan uit “stapstenen” die binnen bepaalde afstanden van elkaar zijn gelegen



Figuur 3.12 Natuurgebieden in Groningen en Drenthe

### 3.6 Infrastructuur

Voor infrastructuur zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben. In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

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

- Toename hoge temperaturen in de zomer kunnen andere eisen stellen aan het materiaal (voorkom smeltend asfalt)
- Afname van het aantal vorstdagen/winterse dagen waardoor de winterse neerslag (=gladheid/verkeershinder) zal afnemen. Daarom zal er minder gestrooid hoeven worden en zullen kapotgevroren wegen door opdooi minder voorkomen.

### 3.6.1 *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. Dit leidt tot:

- 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' aangepast dient te worden. Aanpassing heeft gevolgen voor ontwerpspecificaties (zoals afwateringshoek, pompen, waterbergingen e.d.). Nader onderzoek is nodig.

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 paragraaf 3.6.2 *Temperatuur en infrastructuur*) kan het probleem van verkeershinder groter maken.

#### **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 van extreme buien, droogte in de zomer, erosie en bermbranden stelt andere eisen aan wegen, kunstwerken en de groene inrichting eromheen.

### 3.6.2 *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.

Bermbranden 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

Klimaatverandering biedt veel kansen voor meer buitenrecreatie. Hogere extreme temperaturen maken het verantwoord gebruik van zwemwater echter ook risicovoller. Een warmer klimaat kan de toeristische attractiviteit verhogen.

#### **Temperatuur en recreatie**

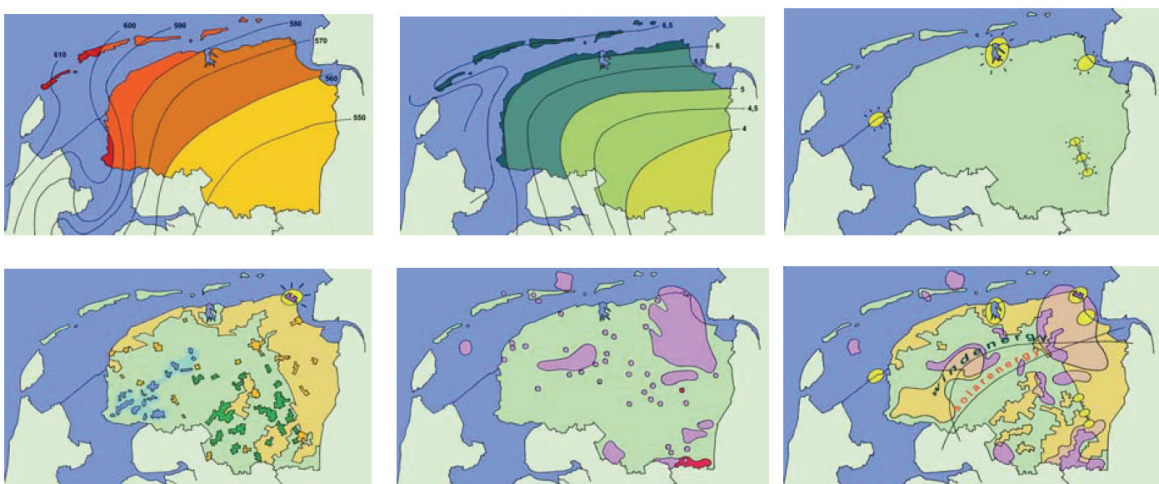
In alle scenario's zal de temperatuur toenemen en daarbij het aantal warme, zomerse en tropische dagen toenemen.

Bij een toenemende temperatuur zullen er meer dagen komen die geschikt zijn voor recreatie. De mogelijkheid tot verantwoord gebruik van zwemwater wordt kritischer, vanwege de toename aan blauwalg.

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 en het toerisme. In de zomervakantie zullen er meer aangename dagen zijn om bijvoorbeeld naar de sprookjesbos Zuidlaren te gaan. Kanttekening is wel dat er ook meer tropische dagen zullen zijn, waarop een dagje in een pretpark wellicht te warm is. Het aanleggen van meer watergerelateerde attracties kan hieraan tegemoet komen. Bij een toenemende temperatuur neemt in stilstaande wateren de kwaliteit van zwemwater af. Daarnaast nemen de zwembehoefte toe bij warm weer. Mensen zullen meer geconcentreerd van de zwemwaterlocaties gebruik maken. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik risicovoller. De waterkwaliteit zal echter door de uitvoering van de Kaderrichtlijn Water wel verbeteren. Het uitgangspunt zal dan beter zijn. Daarnaast neemt de aanwezigheid van teken, processierupsen en mogelijk nieuwe soorten toe. Blootstelling aan deze soorten bij buitenrecreatie kan een toename aan specifieke ziekten, zoals de ziekte van Lyme, betekenen.

### 3.8 Energiepotentiekaarten<sup>3</sup>

Tijdens het onderzoek van Grounds for Change [Noorman et al., 2006; Roggema et al., 2006] is de methodiek van energiepotentiekaarten ontstaan. Dat zijn kaarten waarop wordt aangegeven waar verschillende energetische kansen liggen, gebaseerd op klimatologische, geofysische en cultuur-technische eigenschappen van een gebied. In Grounds for Change werden voor Noord-Nederland een zonnepotentiekaart, een windpotentiekaart, een waterpotentiekaart, een biomassapotentiekaart en een ondergrondpotentiekaart gemaakt. De energiemixkaart ten slotte gaf een overlap van alle potentiekaarten bij elkaar. Zie figuur 3.13.



Figuur 3.13 Energiepotentiekaarten vanuit het Grounds for Change project, van links naar rechts en van boven naar onder: zonnepotentiekaart, windpotentiekaart, biomassapotentiekaart, ondergrondpotentiekaart

<sup>3</sup> Kaarten en teksten uit deze paragraaf komen voort uit Dobbesteem et al, (2007) en Roggema (2008)

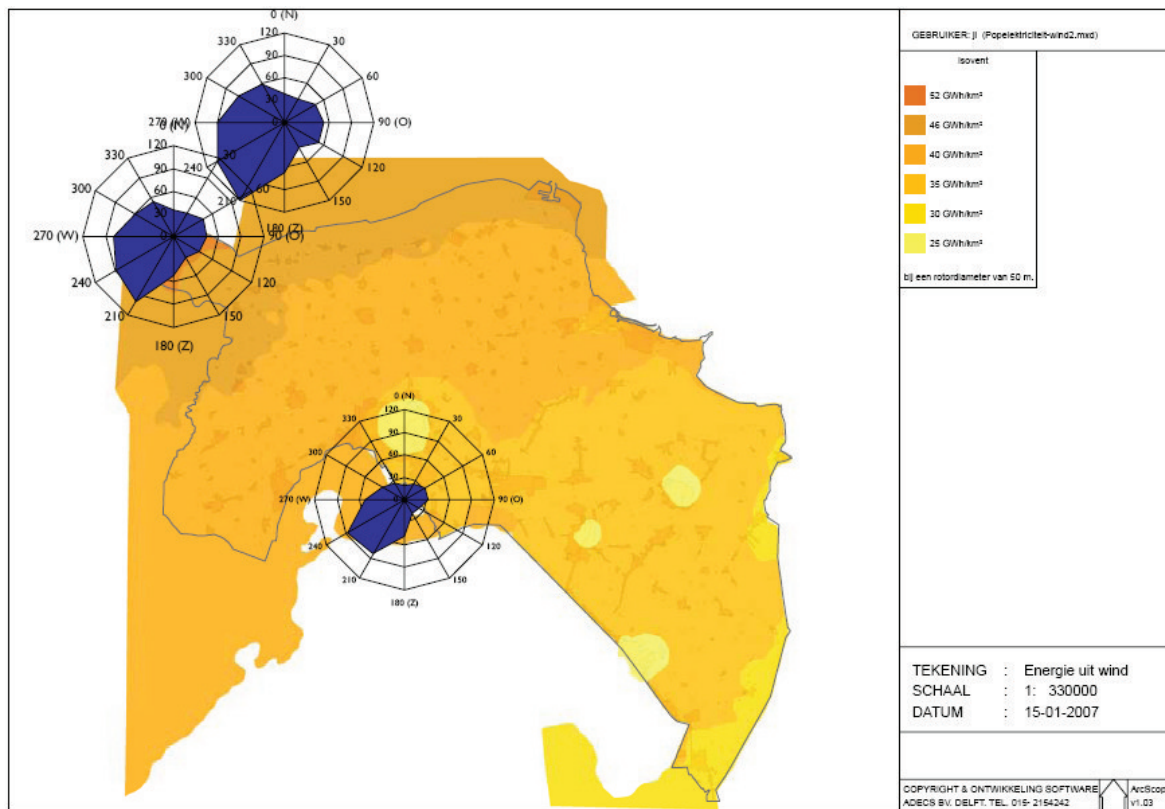
en de energiemixkaart, een overlapkaart van alle voorgaande potentiekaarten. (Dobbelsteen et al, 2007)

De energiepotentiekaarten geven met name in de energiemixkaart een aardig beeld van hoe 'rijk' en streek is aan energiepotenties. Uit deze energiemixkaart van Noord-Nederland bleek al dat het noordoosten van Groningen zowel geschikt is voor zon, wind, biomassa en gas uit de ondergrond. Grote delen van Drenthe daarentegen moeten zich beperken tot hoogstens biomassa.

Over de methode van energiepotenties en de resultaten daarvan in Grounds for Change is inmiddels wetenschappelijk gepubliceerd [Dobbelsteen et al., 2006a; Dobbelsteen et al., 2006b]. Dit POP-energieonderzoek bood de mogelijkheid om de nog rudimentaire methode nader uit te werken en toe te spitsen op de provincie Groningen. Daarvoor is de methodiek ook enigszins aangepast: voor het POP hebben we de potentiekaarten niet gebaseerd op de bron (zon, wind, water, etc.) – deze zijn uitgewerkt als basiskaarten die algemene karakteristieken aangeven – maar op het doel (het leveren van elektriciteit en warmte bijvoorbeeld, ongeacht van welke bron afkomstig). In feite zijn de potentiekaarten voor het POP daarmee een uitsplitsing van de energiemixkaarten uit Grounds for Change.

**Elektriciteit uit wind**

Groningen heeft relatief grote windsnelheden en dientengevolge ook een groot potentieel voor winning van elektriciteit uit wind. Figuur 3.14 geeft een beeld van de energie die jaarlijk kan worden gewonnen met grote turbines die gemiddeld 100 m hoog zijn (met een rotordiameter van ongeveer 100 m). De blauwe winddiagrammen geven de potentiële windopbrengsten uit verschillende windrichtingen op drie locaties: Eelde, Lauwersoog en Huibertgat. Te zien is dat de potenties het grootst zijn aan de Waddenkust, vooral bij het Lauwersmeer, en verder in Hunsingo, het Westerkwartier en Fivelingo. Grote windparken kunnen daarom het beste in deze streken worden gerealiseerd.



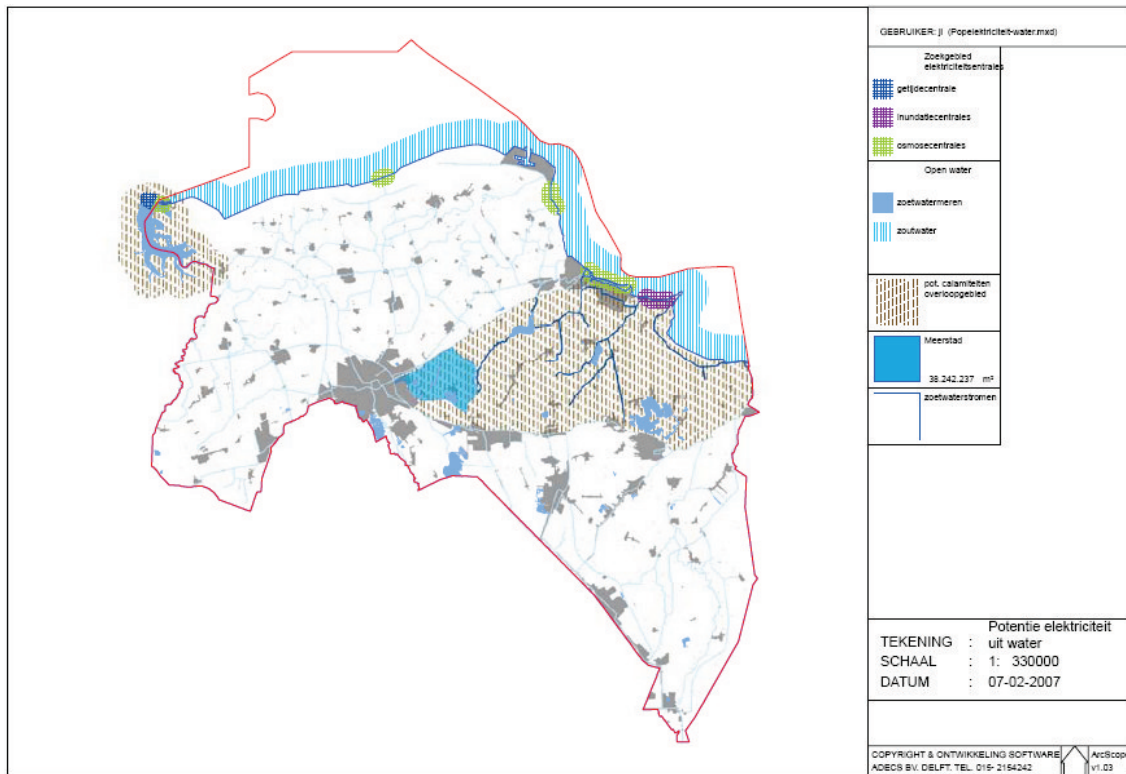
Figuur 3.14 De energie die jaarlijks uit de windsnelheid gehaald kan worden, berekend voor 100 m hoogte (o.b.v. Senternovem) en windrozen met de energieopbrengst per windrichting, voor Eelde, Lauwersoog en Huibertgat (Bron: Dobbelsteen et al, 2007)

**Elektriciteit uit water**

Groningen heeft door zijn ligging aan zee een gunstige positie in Nederland om iets met water te doen, maar daarmee is de provincie gelijktijdig ook kwetsbaar. Zeker in het proces van klimaatverandering en zeespiegelstijging wordt de dreiging van de zee steeds groter. Zoals al besproken in hoofdstuk 01 is niet de zeespiegelstijging in een stabiele situatie een probleem, maar geldt dat voor extreme stormsituaties. Het zou wat dat betreft gunstig zijn als bescherming tegen klimaatcalamiteiten gepaard kan gaan met energiewinning.

Figuur 3.15 geeft een aantal mogelijkheden daarvoor. Op deze kaart staan aangegeven:

- Een getijdencentrale bij het Lauwersmeer, gecombineerd met een centrale voor blue energy bij Zoutkamp, waar het zoete water van het Reitdiep in de dan zoute Lauwerszeearm stroomt.
- Andere locaties voor blue energy liggen bij andere uitstroompunten van zoet in zout water, met name in Delfzijl, waar het Eemskanaal uitstroomt in de Dollard.
- Een inundatiecentrale tussen Delfzijl en Termunten; het achterliggende gebied is het laagst gelegen van de hele provincie en daarmee het meest geschikt als overloopgebied voor calamiteiten.



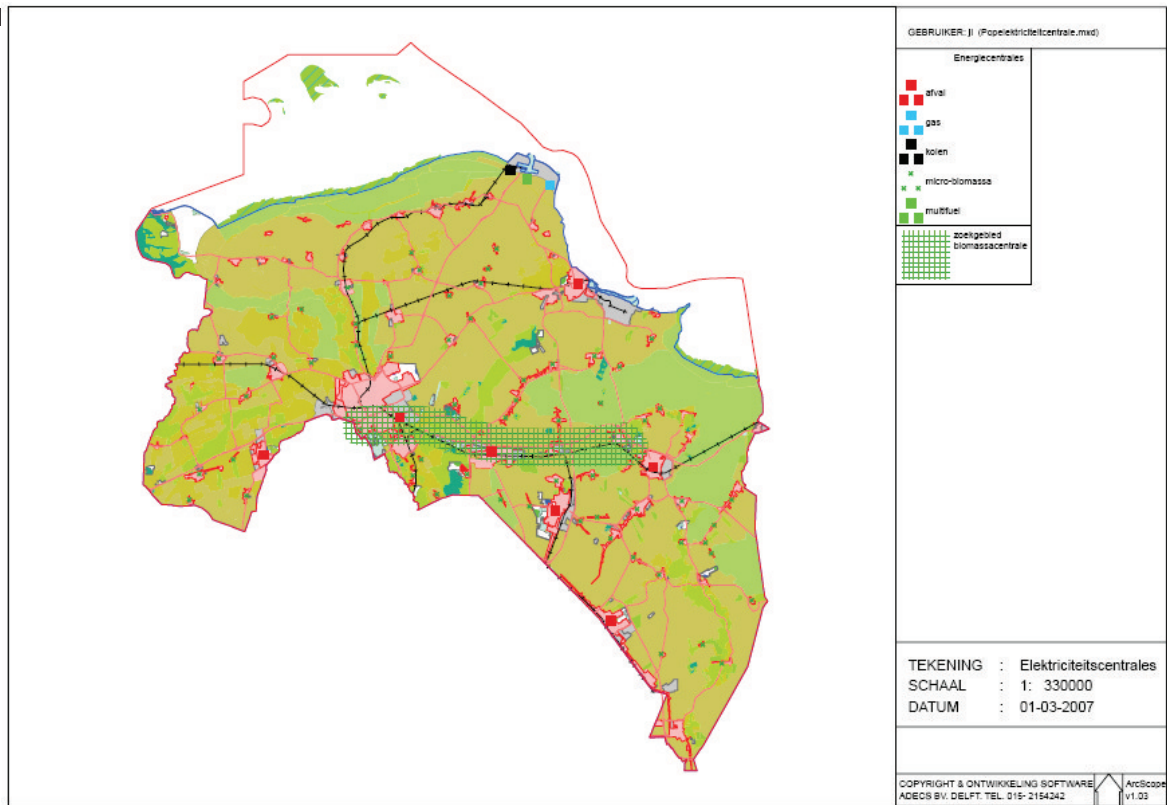
Figuur 3.15 Potenties voor winning van elektriciteit uit water

### Elektriciteit uit biomassa, afval en schoon fossiel

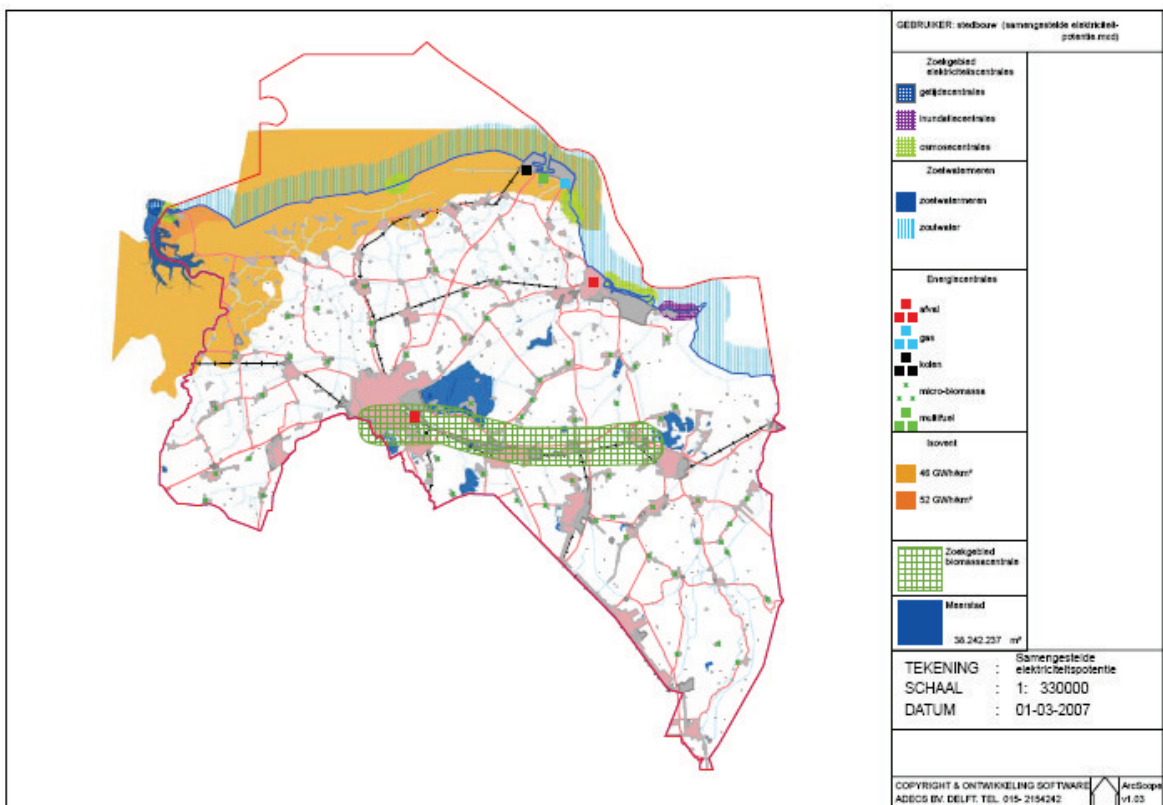
Figuur 3.16 geeft de potenties weer van elektriciteitsproductie uit biomassa, afval en schone fossiele vergassingstechnieken. Op deze kaart staan de mogelijke centrales met hun specifieke brandstoffen als punten aangegeven. Voor de multifuelcentrale (eventueel een schoon fossiele vergasser) is een locatie bij de Eemshaven (naast de al aanwezige gasgebaseerde Eemscentrale) vanwege de bulkaanvoer van kolen en biomassa het meest voor de hand liggend. Op het niveau van de stad zijn afvalgebonden centrales mogelijk in Groningen-stad en Delfzijl. Waarschijnlijk hebben afvalcentrales in kleinere kernen (bijvoorbeeld Hoogezand-Sappemeer, Winschoten, Veendam, Stadskanaal en Leek) een te klein toeleveringsgebied voor een rendabele centrale, tenzij in de toekomst kleinere WKK-achtige centrales mogelijk zijn.

Figuur 3.16 laat op de ondergrond de Ecologische Hoofdstructuur en landbouwgebieden zien, kortom de plekken waar biomassa vandaan komt. De kaart geeft ook een zoeklocatie weer voor een biocentrale, en daaraan verbonden biocluster. Zoals al besproken kan bio-energie worden gedistribueerd via het bestaande elektriciteitsnet, aardgasnet, wegen en kanalen. De bestaande kanalen in de Veenkoloniën kunnen worden gebruikt als hoofdstructuur voor biomassa uit het achterland. Een grote bio-energiecentrale (en het biocluster) zou nabij de kanalen moeten worden gesitueerd. Ergens aan de A7-zone lijkt dan een logische keuze. Om het gebied ten noorden van de A7 te verbinden met deze nieuwe biocentrale, zou een verlenging van het Musselkanaal wenselijk zijn.

Een biocluster rondom een biocentrale kan ook bij Eemshaven worden gesitueerd, vanwege de industriële afnemers van bio-energie of bioproducten [Welle, 2007]. In dat geval ligt het cluster echter minder centraal voor 48 Naar een energiegestuurd Omgevingsplan Groningen regionale aanvoer van eigen biomassa. En de door industrie afgenomen bio-energie beperkt zich vooralsnog tot stroom, en daarvoor is situering nabij niet nodig. Dit blijft een discussiepunt. Ten slotte zijn er op decentraal niveau, op de schaal van dorpskernen en boerderijcomplexen kleinere bio-WKK's mogelijk, of WKK's die draaien op multifuel in de zin van biomassa en afval. Ook als in de grotere kernen in de toekomst minder onbruikbaar afval wordt geproduceerd, kan in



Figuur 3.16 Potenties voor winning van elektriciteit uit fossiele bronnen, biomassa en afval en locaties voor verschillende krachtcentrales daarvoor.



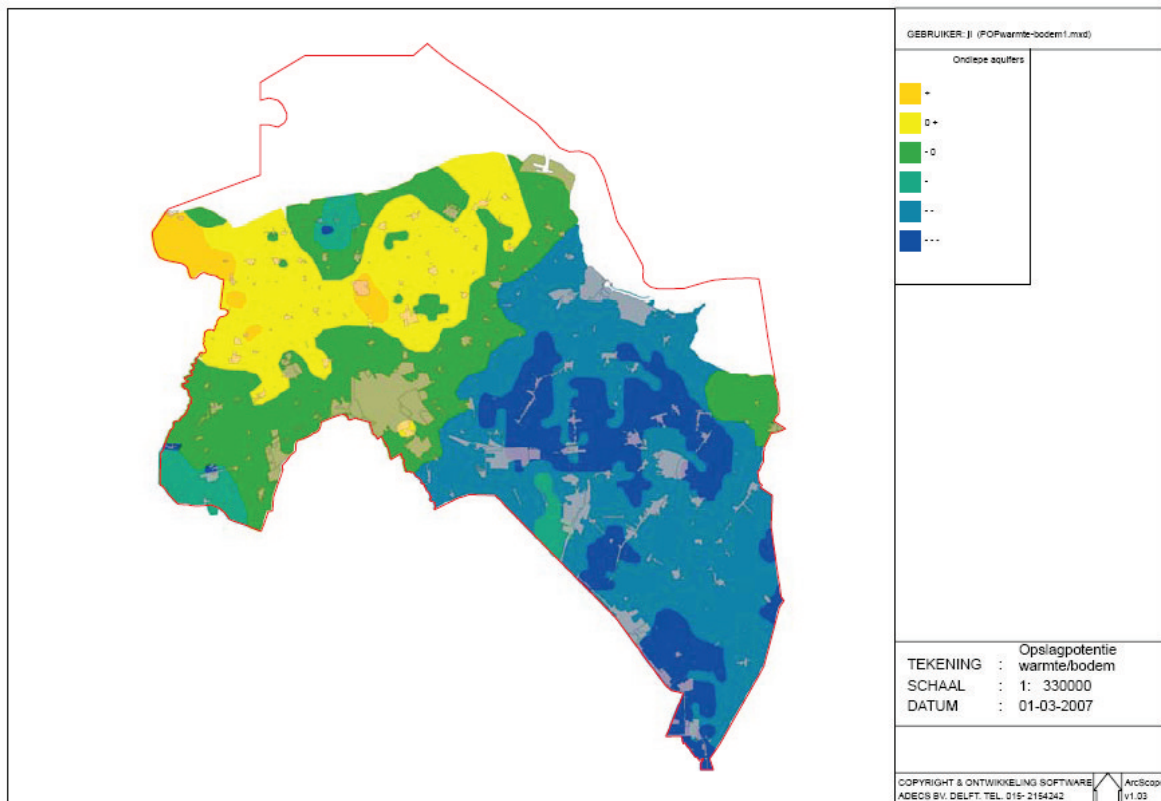
Figuur 3.17 Potenties voor winning van elektriciteit door verschillende krachtcentrales.

### Potentiekaart voor elektriciteit

Figuur 3.17 geeft een overlapbeeld van de belangrijkste elektriciteitspotenties. Daarin is het gebied met de grootste windpotentie langs de kust aangegeven, de zoeklocatie voor de biomassacentrale en het bijbehorende cluster en ook zijn de locaties voor watergerelateerde centrales aangegeven. Met blokjes zijn de verschillende centrale elektriciteitsinstallaties aangegeven.

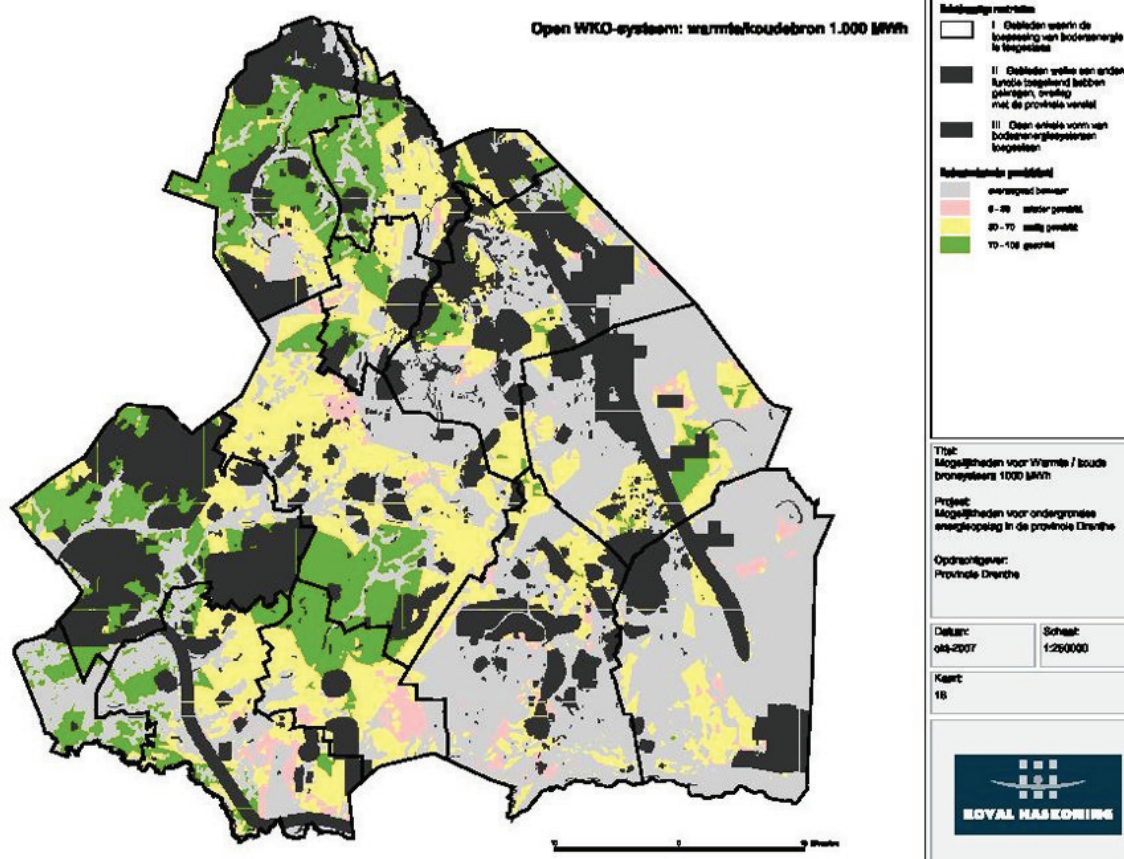
### Warmte en koudeopslag in de ondiepe bodem

Uit figuur 3.18 blijkt een potentieverloop vanuit het zuidoosten van Groningen naar het Lauwersmeergebied. Dat betekent dat rondom het Lauwersmeer meer mogelijkheden bestaan om warmte en koude in de ondergrond op te slaan, en dus om hier functies te situeren die een wisselend patroon van vraag en aanbod van warmte en koude. Daarbij kan worden gedacht aan woningen, vakantiewoningen en andere recreatievoorzieningen, maar ook bepaalde seizoensgebonden industriële activiteiten. De ongeschiktheid voor warmte/koudeopslag in het oosten van Groningen wijst er omgekeerd op dat daar vraag- en aanbodpatronen door een weloverwogen mix van ruimtelijke functies op elkaar moeten worden afgestemd, dus dat restwarmte- of -koudestromen optimaal moeten worden ontworpen door ruimtelijke ingrepen. Een tweede mogelijkheid is het transport van warmte en koude naar gebieden met een reversibel vraagpatroon. Een derde mogelijkheid ten slotte is vaste warmte en koudeopslag in de ondergrond, waarbij aquifers niet nodig zijn.



Figuur 3.18 Geschiktheid van de bodem voor warmte- en koudeopslag in ondiepe aquifers (o.b.v. TNO)

Figuur 3.19 geeft het open WKO-systeem voor de provincie Drenthe.



Figuur 3.19 Open WKO-systeem van de provincie Drenthe.

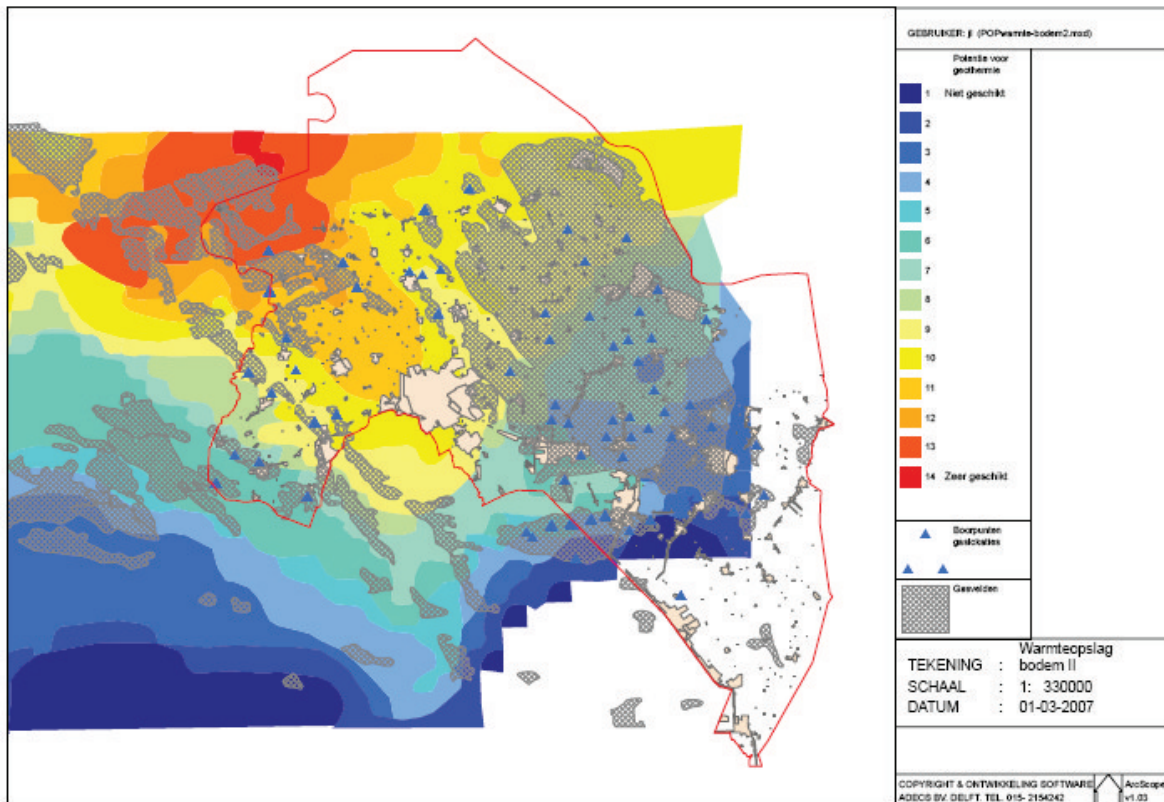
**Geothermie uit diepere aardlagen**

Figuur 3.20 is belangrijk in die zin, dat te zien is dat nabij het Lauwersmeer goede mogelijkheden aanwezig zijn voor het halen van aardwarmte uit de diepe bodem. Die kan gedaan worden via gasvelden – en dus de daarvoor aangelegde gaslocaties - die in de loop der tijd verlaten worden en vervolgens volstromen (inwateren) met water uit diepe aquifers. Blijft een gasveld droog, dan is ook onttrekking van aardwarmte mogelijk, maar dan indirect, via het invoeren en weer terugpompen van water vanaf de oppervlakte. Bij droogblijvende velden ligt het echter voor de hand om deze in te zetten voor CO<sub>2</sub>-opslag of opslag van andere gassen.

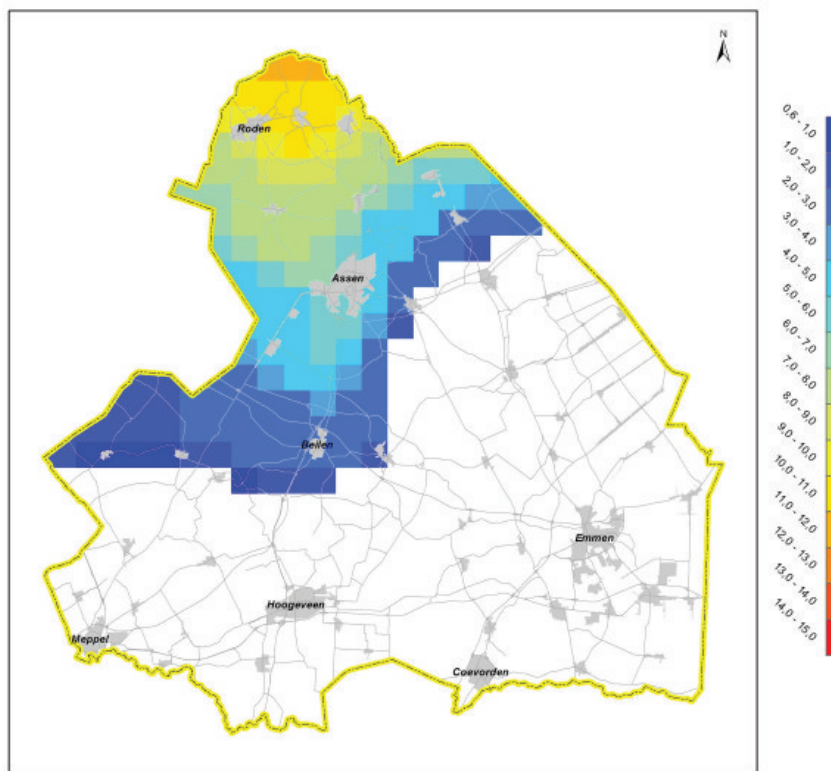
Ruimtelijke consequentie van het ophalen van aardwarmte is dat er rondom de voormalige gaslocaties potenties ontstaan voor woningbouw, vakantieparken, kúroorden, tropische zwembaden en warmtevragende industriële processen. Omdat we al zagen dat ook de opslagpotentie voor warmte en koude nabij het Lauwersmeer groot is, kan het hoogwaardige water van rond de 100 °C na een paar gebruiksstappen ook worden opgeslagen in ondiepe aquifers.

Geothermie kan op meer plekken worden benut dan alleen rondom aardgasboorpunten; overal kan een leiding worden geslagen naar 1 km en dieper. Dan wordt de investering in geothermische winning echter een stuk duurder, waarmee de economische haalbaarheid afneemt.

Figuren 3.21 en 3.22 geven de potentie van aardwarmte uit de aquifers van respectievelijk Slochteren en Trias weer voor de provincie Drenthe.

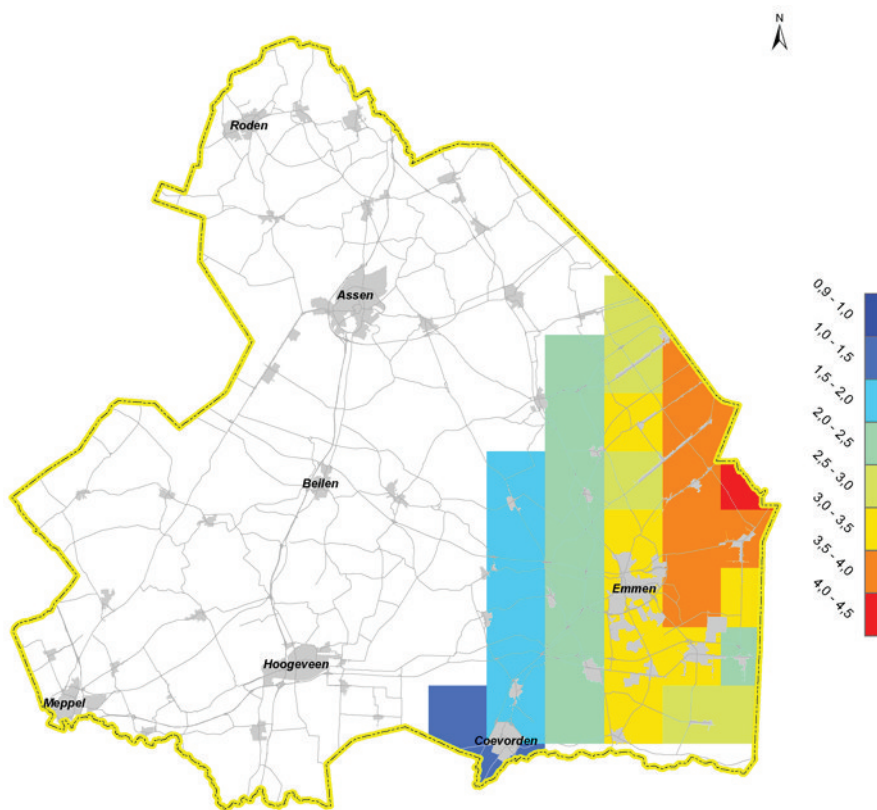


Figuur 3.20 Geschiktheid van de bodem voor aardwarmte uit diepe aquifers (o.b.v. TNO en NAM)



Aardwarmte potentie uit Slochteren aquifers (GJ/m<sup>2</sup>)

Figuur 3.21 Aardwarmte potentie uit Slochteren aquifers (GJ/m<sup>2</sup>)



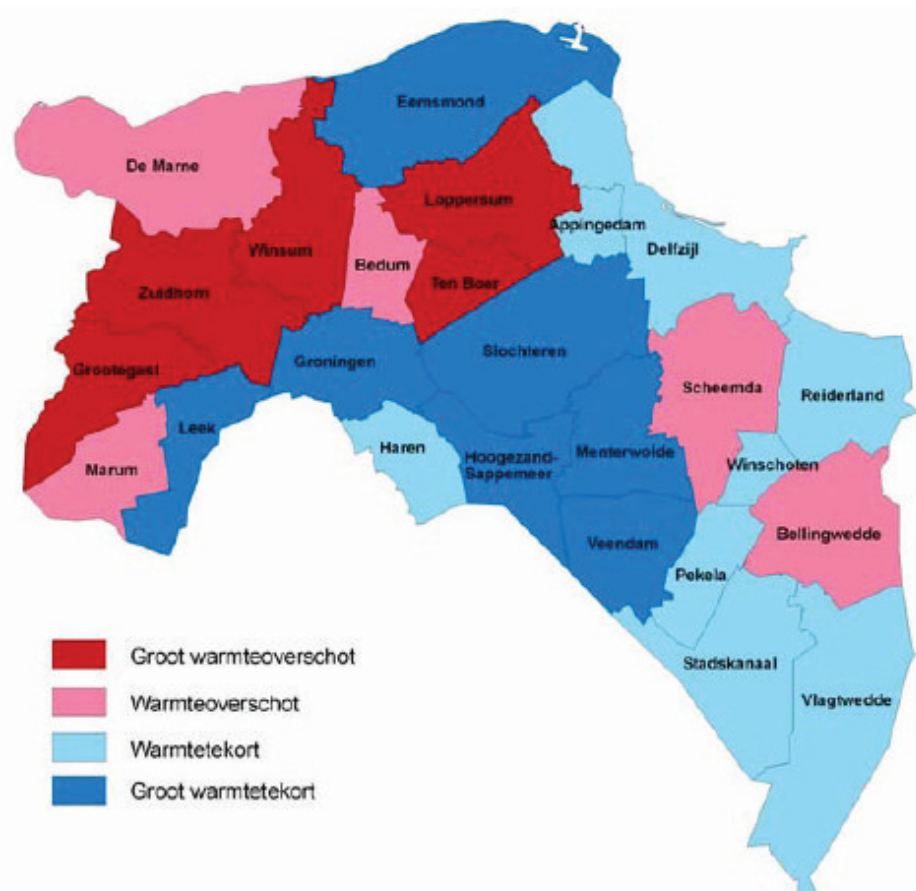
Figuur 3.22 Aardwarmte potentie uit Trias aquifers (GJ/m<sup>2</sup>)

**Warmte van biomassa en mest**

Warmte kan ook worden gewonnen uit verbranding van biomassa (direct of via vergisting van mest of plantaardig materiaal). Daarvoor is inzicht nodig of er lokaal een overschot of tekort aan warmte bestaat, of er potentiële afnemers zijn en of een eventueel overschot aan warmte anderszins kan worden afgezet. Dit pleit voor een menging van agribedrijven en woningen in de buurt van veehouderijen: dus niet alleen veehouderijen, maar ook woningen en akkerbouwers die gebruik kunnen maken van de producten van mestvergisting.

In figuur 3.23 zijn warmte overschotten en -tekorten per Groningse gemeente weergegeven. Hierin is te zien dat met name in het noordwesten van de provincie een overschot aan warmte bestaat, terwijl de verstedelijkte kern rondom de stad Groningen een tekort kent. Juist in het westelijke deel van de provincie zijn veel melkveehouderijen, zodat daar mestvergistingsinstallaties gebouwd zouden kunnen worden, maar dan moeten wel warmtevragende woningen worden gebouwd die deze warmte kunnen afnemen, want op dit moment is er blijkbaar een overschot. Dat overschot betekent overigens niet dat alle restwarmte nuttig wordt besteed. Dat betekent dat in dit deel nieuwbouwwontwikkelingen mogelijk zouden zijn, nabij deze leveranciers van warmte en stroom. Dit sluit aan bij de lokale mogelijkheden om warmte uit geothermie te halen.





Figuur 3.23 Warmtesaldo van de verschillende Groningse gemeenten, voor mestvergiftigingsaanvragen (KNN Milieu, 2006a)

### Potentiekaart

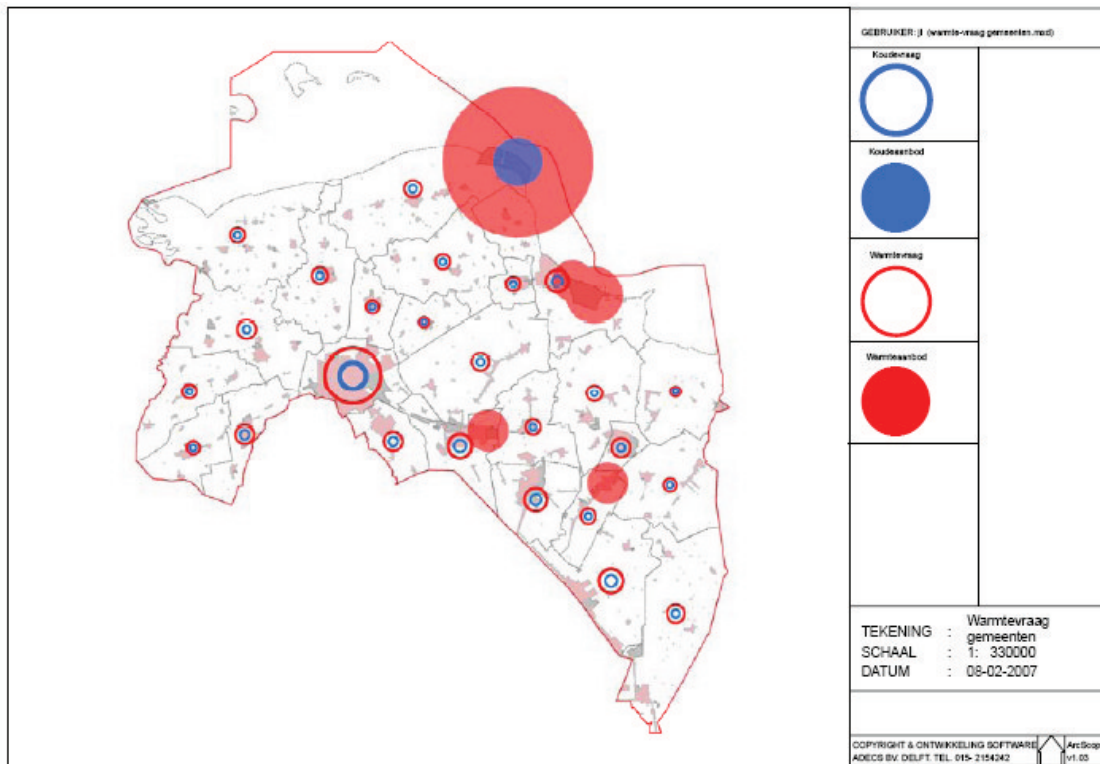
Figuur 3.24 geeft een totaaloverzicht van de warmte- en koudevraag (holle rode of blauwe cirkels) per gemeente (woningen en bedrijven opgeteld) en het warmte- en koudeaanbod (volle rode of blauwe cirkels) vanuit de industriegebieden. De grootte van de cirkel geeft het energieniveau aan en zegt dus niets over de temperatuur waar vraag naar is. Duidelijk herkenbaar is het enorme warmteoverschot van de Eemshaven (die doorgaans in lucht of zee verdwijnt), maar ook is daar al de LNG-aanlanding geplaatst, waardoor een stukje van het overschot kan worden weggenomen. Er bestaan vermoedens dat vanuit de industrie die direct aan Groningen grenst ook warmteaanbod mogelijk is, maar daarover zijn geen concrete gegevens gevonden. Hetzelfde geldt voor lokale industrie op kleine bedrijventerreinen.

Met figuur 3.24 is voor te stellen dat veel energie kan worden bespaard door overschotten en tekorten beter op elkaar af te stemmen, maar dat vereist ruimtelijke ingrepen. Een overschot aan warmte kan worden weggenomen door functies zoals warmtebehoevende bedrijven, glastuinbouw en woningen. Dat is op decentraal niveau, in de kleinere kernen in de ommelanden, goed mogelijk door een juiste combinatie van woningen en bedrijven.

Een stad als Groningen moet eigenlijk een grote warmteproducent aan zich gekoppeld krijgen of de stad zou het overschot uit de Eemshaven naar haar toe getransporteerd moeten krijgen. Met huidige technieken treedt daarbij teveel warmteverlies op, maar nieuwe technieken gebaseerd op warmteconcentratie zouden dat in de toekomst mogelijk kunnen maken.

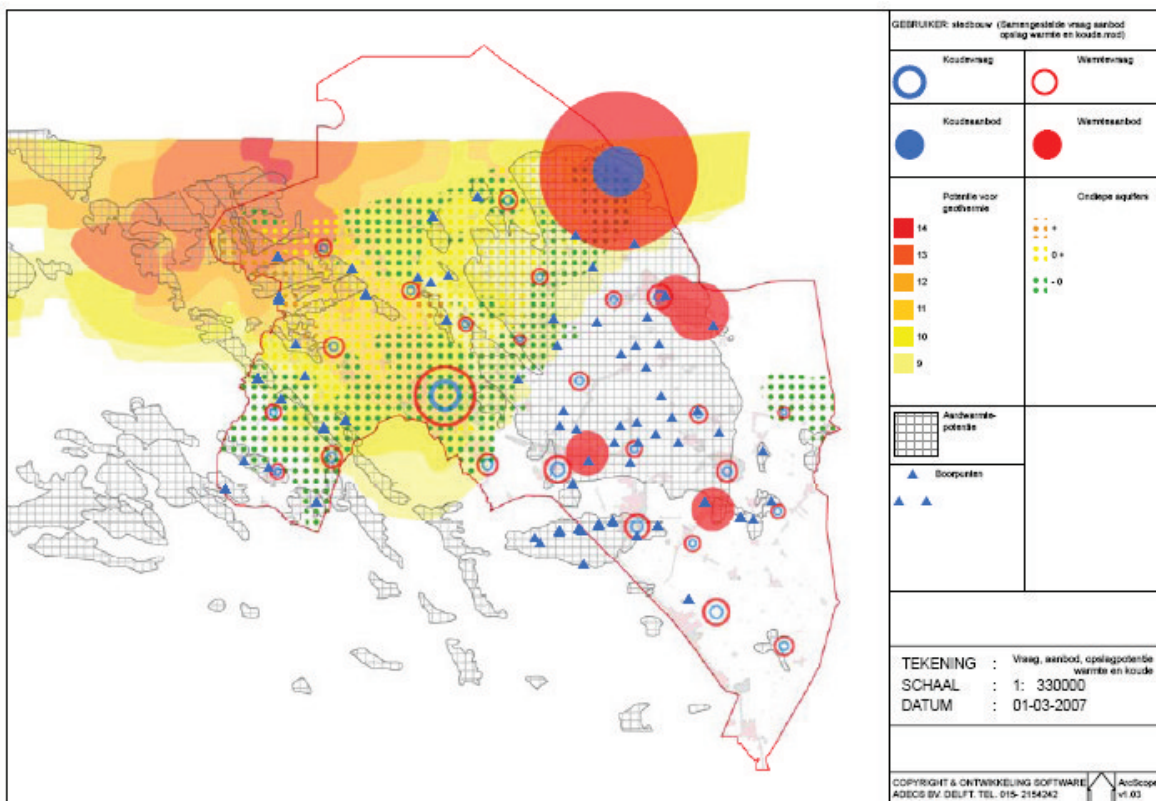
Langs de A7, waarbij voor het gemak Veendam en de Pekela's worden betrokken, is nu al tegelijkertijd aanbod en vraag van warmte te constateren. Die zouden met elkaar in balans gebracht kunnen worden.

Bij een reus als de Eemshaven en de Delfszijlse industriegebieden moeten gericht ruimtelijk beleid worden gevoerd, waarbij grootschalige kassenbouw en woningbouwprojecten geïnitieerd kunnen worden om de warmtebalans te vereffenen. In Delfzijl is men daar ook nadrukkelijk naar op zoek. Echter, om dit aanbod ook te leiden naar een vraag uit de markt, zullen het voor de gewenste ondernemers en bewoners aantrekkelijke gebieden moeten worden, en dat is nu nog niet altijd het geval. Hier ligt een grote kans.



Figuur 3.24 Vraag en aanbod van warmte en koude, door woningen, bedrijven en de grote industriegebieden.

Potentiekaart voor warmte en koude



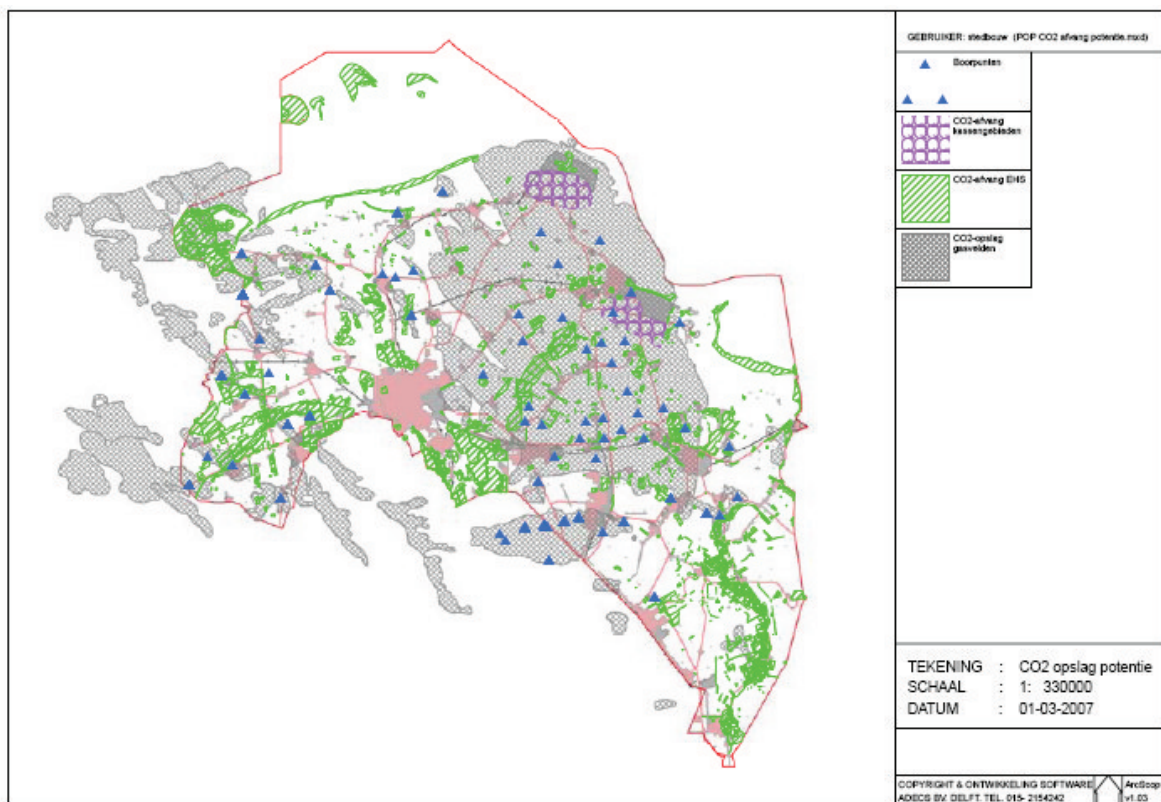
Figuur 3.25 Potentiekaart voor warmte en koude

Figuur 3.25 geeft een overlapbeeld van de belangrijkste potenties voor warmte en koude. Vanuit deze kaart is gebiedsgericht te constateren:

- Het noordwesten van Groningen rondom het Lauwersmeer heeft veel warmtepotentie: er kan warmte uit geothermie worden gehaald en warmte en koude kan goed worden opgeslagen in ondiepe aquifers. Dat maakt functies mogelijk met voornamelijk warmtebehoefte en wisselende warmte- en koudevraagpatronen mogelijk, zoals warmtevragende industrie, kassen, (recreatieve) woningen en tropische zwembaden.
- In Middag-Humsterland en het Zuidelijk Westerkwartier is zoals al besproken is ook veel warmteaanbod vanuit voornamelijk veehouderijen aanwezig. Dat maakt lokaal kleine nieuwbouw nabij veehouderijen mogelijk. Lokale voorziening van warmte gebaseerd op biomassa kan ook worden bereikt op het Hogeland en in het Centraal Weidegebied.
- In Groningen zou een warmteaanbieder gesitueerd moeten worden om in de warmtevraag binnen de stad te kunnen voorzien. Groningen-stad kan ook nog gebruik maken van warmte en koude-opslag in ondiepe aquifers.
- Het enorme warmteoverschot in de Eemshaven kan alleen duurzaam worden opgelost door het toevoegen van functies die veel warmte vragen, zoals zware industrie, glastuinbouw en woningen. Maar er valt ook te denken aan tropische zwembaden en küroorden. Seizoensopslag in de bodem is bij Eemshaven mogelijk.
- In Delfzijl kan het warmteoverschot het beste worden afgevangen door glastuinbouw en woningen.
- Langs de A7-zone kunnen vraag en aanbod van warmte worden afgestemd door de aanwezige warmteproductie en -vraag.
- De Veenkoloniën en Westervolde vertonen weinig warmtevraag en -aanbod. In dit gebied kunnen warmtestromen het beste decentraal gesloten worden door biomassa uit de landbouw plaatselijk in te zetten in vergistings- en WKK-installaties.

#### Potentiekaart voor CO<sub>2</sub>-afvang

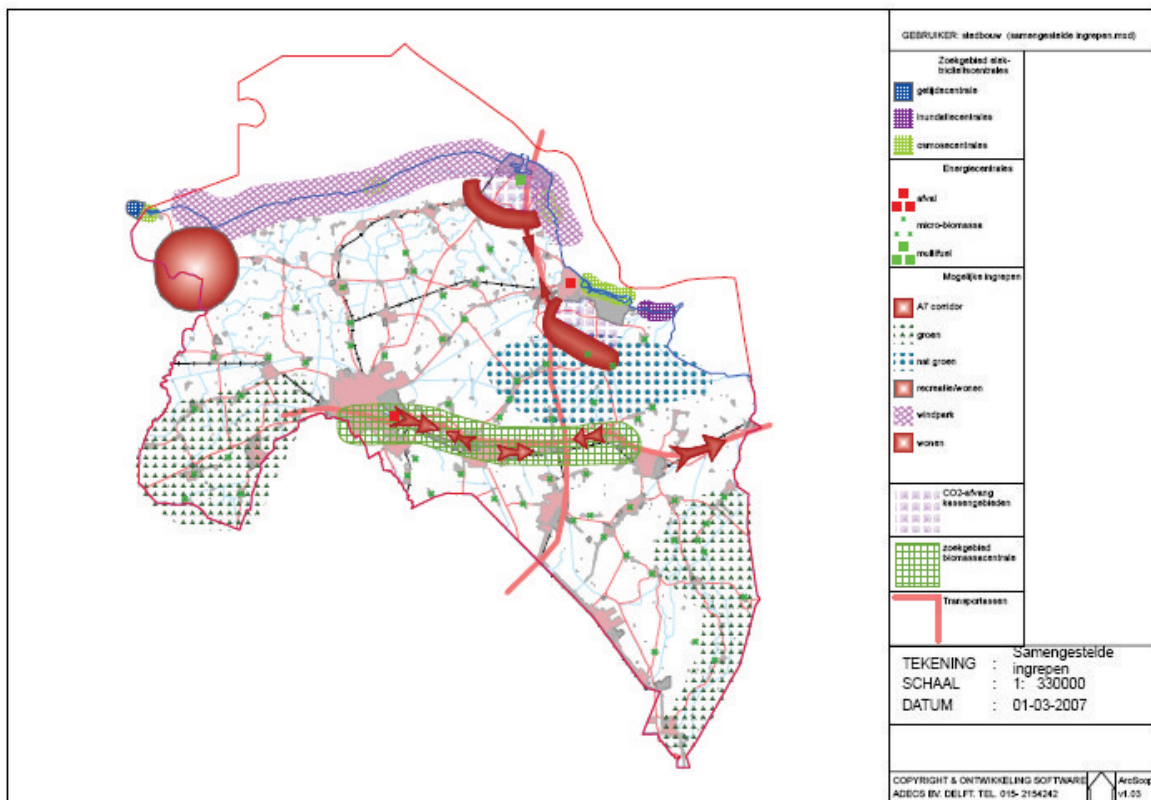
Figuur 3.26 vat de potenties voor CO<sub>2</sub>-afvang samen in een overzichtskaart met aan te leggen groen, glastuinbouw en opslag in gasvelden.



Figuur 3.25 Potenties voor CO<sub>2</sub>-gebruik in glastuinbouw, CO<sub>2</sub>-compensatie door groenaanleg en CO<sub>2</sub>-opslag in lege aardgasvelden.

**De ingrepenkaart**

Figuur 3.26 geeft een overzicht van geselecteerde ingrepen die worden voorgesteld in het Provinciaal Omgevingsplan van Groningen. Deze ingrepen zijn gebaseerd op de grootste potenties voor verschillende energievormen - brandstoffen, elektriciteit en warmte of koude. De voorgestelde maatregelen zijn het logische gevolg van het analyseproces van basiskaarten naar potentiëkaarten, waarbij de grootste potenties in ruimtelijke ingrepen zijn vertaald.



Figuur 3.26 Voorgestelde ingrepen vanuit het oogpunt van energiepotenties en optimale inzet van restwarmte en -koude

De ingrepen in deze figuur vallen samen te vatten in de volgende onderdelen:

- Nieuwe krachtcentrales
- Biomassagebaseerde ingrepen
- Warmtecascade en woningbouw
- CO<sub>2</sub>-afvangmaatregelen

**Nieuwe krachtcentrales**

Op de kaart van figuur 3.26 worden langs de kust zones met nieuwe elektriciteitsopwekkende maatregelen voorgesteld: windparken, getijdencentrale en osmosecentrales. Door middel van blokjes worden locaties aangegeven voor krachtcentrales: multifuel (groen) in Eemshaven vanwege de aanvoer van verschillende energiebronnen en productie van syngas, of afval (rood) in de grootste bebouwingskernen van Groningen-Stad en Delfzijl. Kleine groene kruisjes geven een indicatie van decentrale energieopwekking (via biovergisting en bio- WKK) op dorpskern- of boerderijniveau.

**Biomassagebaseerde ingrepen**

De groene zone langs de A7 geeft de zoeklocatie voor een biocentrale en bijbehorend biocluster: de meest geschikte locatie uit oogpunt van transport vanuit de Noord-Nederlandse landbouwgebieden en voor doortransport naar de Eemshaven, naar de rest van Nederland en Duitsland.

**Warmtecascade en woningbouw**

Grenzend aan de industriegebieden van Eemshaven en Delfzijl wordt glastuinbouw voorgesteld voor de inzet van CO<sub>2</sub> en afname van warmte. Deze kunnen op energie- en CO<sub>2</sub>-neutrale wijze hoogwaardig voedsel produceren om het verlies aan landbouwgrond voor voedsel - vanwege de verbouw van energiegewassen - te

compenseren. Grenzend aan of verbonden met de kassen zijn nieuwe woningbouwgebieden bij Eemshaven en Delfzijl, die restwarmte uit de kassen gebruiken. Deze twee gebieden kunnen met elkaar worden verbonden langs 'het balkon van de Dollard'. Een deel van de Delfzijlse nieuwbouw kan als experimentele bouw worden gesitueerd in het calamiteitenoverloopgebied van het Duurswold en Noordelijke Oldambt.

Een derde nieuwbouwgebied voor met name vakantie- en recreatiewoningen kan vanwege de goede mogelijkheden voor warmtewinning en –opslag worden gesitueerd aan het Lauwersmeer, bij Zoutkamp. Een vierde gebied voor nieuwbouw strekt zich uit langs de A7. Deze zone leent zich voor menging van bedrijven en woningen, waarbij warmte- en koudevraag op elkaar kan worden afgestemd.

### *CO2-afvangmaatregelen*

Ten slotte geeft figuur 45 gebieden waar uitbreiding van natuurgroen voor CO2-binding en biomassa-productie kan plaatsvinden: in het Zuidelijk Westerkwartier, met veenweidebegroeiing (bijv. populieren, wilgen, elzen en riet), de Westerwolde, met beekzandgrondbegroeiing (bijv. eiken, esdoorns en beuken), en het Duurswold en Noordelijke Oldambt, met brakkegrondbegroeiing (bijv. duinvalleibegroeiing, grassen en waddenplanten), dit vanwege de overloopfunctie van het gebied.

## REFERENTIES

- 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., Beije H.M., Fellingier M., Haveman R., Van Opstal A.J.F.M. & Van Zadelhoff F.J. 2001. *Handboek Natuurdoeltypen*. Tweede, geheel herziene editie. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- 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.
- 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.
- 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-Zandstra, M.; Paulissen, M.P.C.P.; Vos, C.C.; Agricola, H.J. (2008), *Effecten van klimaatverandering op landbouw en adaptatiestrategieën*, Wageningen: Plant Research Internation, (Rapport/Plant Research Internation 182), 38p.
- Broekmeyer, M. & E. Steingröver (eds.) 2001. *Handboek Robuuste Verbindingen; ecologische randvoorwaarden* [Manual Robust Corridors; ecological guidelines]. Alterra, Wageningen, The Netherlands.
- Dobbelsteen, Dr. A.A.J.F. van den, Ir. S.C. Jansen, Dr.Ir. A. van Timmeren, Naar een energiegestuurd omgevingsplan Groningen, 2007.*
- 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.
- Heijmans, M.M.P.D., D. Mauquoy, B. van Geel & F. Berendse (2008). Long-term effects of climate change on vegetation and carbon dynamics in peat bogs, Journal of Vegetation Science, 19(3): 307-320.*
- Hughes, L. 2000. *Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?* Trends in Ecology and Evolution 15: 56-61.
- 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.
- 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 Schuivenbeek*. Monitoring stroomgebieden 8-II. Rapport 1387 Alterra, Wageningen.
- 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. *Modeling 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.
- 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
- MNP (2005). *Effecten van klimaatverandering in Nederland*. Rapport 773001034. Milieu- en Natuurplanbureau, 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.
- 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.
- RIKZ (zonder jaartal). *Klimaatverandering en de Waddenzee*. Samenvatting van het rapport 'Het klimaat het primaat?'. RIKZ, Haren.
- Roggema, Rob (2008), *Tegenhouden of meebewegen*, WEKA Uitgeverij B.V./NIBE Publishing bv.
- 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 het toekomstige klimaat. Verkenning van de hydrologische effecten en economische schade in de KNMI'06 klimaatscenario's*. Rijkswaterstaat/RIZA, Eindrapport 9S6323
- 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.
- Stuyt, L.C.P.M., 2007. *Kansen voor zilte aquacultuur in Nederland, met speciale aandacht voor visteelt op land*. Rapport Alterra (in voorbereiding).
- Veen, M. et al., in voorbereiding. *Klimaat respons database*. Alterra, Wageningen UR.
- Vries, C.J. de, 2007, *Zeehavens blijven goed bereikbaar ondanks klimaatverandering*, Bureau Voorlichting Binnenvaart.
- Wergroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Landinrichtingsdienst, Utrecht.

## BEGRIPPENLIJST

Ecotoop: een ruimtelijk begrensde, min of meer homogene landschappelijke eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling wordt bepaald door abiotische, biotische en anthropogene condities ter plaatse (uit Bal et al. 2001).

Ellenberggetal: indicatiegetallen voor plantensoorten, ontwikkeld door de Duitser Heinz Ellenberg (1913-1997). Het 'Ellenbergstelsel' classificeert standplaatskenmerken waarbij plantensoorten voorkomen en berust op veldbiologische (en ten dele experimentele) waarnemingen. Er zijn Ellenberggetallen voor de klimaatfactoren licht, temperatuur en continentaliteit en de bodemfactoren vocht, zuurgraad, stikstofgehalte, zoutgehalte en resistentie tegen zware metalen. Elke plantensoort heeft voor deze factoren een getal toegewezen gekregen dat correspondeert met één van de klassen waarin de betreffende factor is ingedeeld. Hierdoor is het mogelijk "gemiddelde" standplaatscondities af te leiden uit de Ellenberggetallen voor de individuele plantensoorten die op een bepaalde plek voorkomen.

Fysisch-Geografische Regio (afgekort FGR): deel van Nederland dat op macroschaal te onderscheiden is op basis van kenmerkende eigenschappen van geomorfologie, bodem en oppervlaktewater (uit Bal et al. 2001).

Glycofyt: een plant die is aangepast aan milieus met een laag zoutgehalte en niet kan groeien of zich voortplanten in een omgeving met een hoog zoutgehalte.

Habitat: kenmerkend leefgebied van een soort (uit Bal et al. 2001).

Habitatrichtlijn: de Habitatrichtlijn van de Europese Unie richt zich, evenals de Vogelrichtlijn, op natuur waarvoor Europa op wereldschaal een bijzondere verantwoordelijkheid draagt, bijvoorbeeld omdat beoogde diersoorten en plantensoorten niet buiten dit werelddeel voorkomen. De regeling omvat een lijst van natuurtypen (habitattypen, Bijlage I) en soorten (onder meer Bijlage II) die internationaal bescherming behoeven (Janssen & Schaminée 2003).

Halofyt: een plant die kan groeien en zich voortplanten in een milieu met een hoog zoutgehalte.

Natuurdoeltype (afgekort NDT): een in het natuurbeleid nagestreefd type ecosysteem dat een bepaalde biodiversiteit en een bepaalde mate van natuurlijkheid als kwaliteitskenmerken heeft. In nagenoeg-natuurlijke typen krijgen grootschalige, landschapsvormende natuurlijke processen (bijvoorbeeld erosie- en sedimentatieprocessen) de vrije loop. Begeleid-natuurlijke typen wijken hiervan af doordat de mens één of enkele landschapsvormende processen bijstuurt, zonder in detail in te grijpen op het niveau van ecotopen. Bij half-natuurlijke typen staat het kleinschalig bevorderen van specifieke successiestadia en de daarvan afhankelijke doelsoorten centraal. Dit leidt tot een landschapspatroon dat tot op ecotoopniveau door de mens wordt bepaald. In natuurgebieden op het land is dit de meest voorkomende beheersstrategie.

Multifunctionele afgeleiden onderscheiden zich van de andere natuurdoeltypen door een zodanige mate van menselijk gebruik dat de natuurkwaliteit die er gerealiseerd kan worden, geringer is dan bij een optimaal beheer volgens een van de eerste drie beheersstrategieën. Multifunctionele afgeleiden zijn afgeleid van de overige drie categorieën natuurdoeltypen (uit Bal et al. 2001).

Saliniteit: totale ionenconcentratie van een watermonster of waterlichaam. De saliniteit wordt bijna volledig bepaald door de kationen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  en  $\text{K}^{+}$  en de anionen  $\text{HCO}_3^{-}$  of  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{Cl}^{-}$  (Bloemendaal et al. 1988).

Zoutindicerende (planten)soorten: soorten die voorkomen op locaties waar meer of minder hoge zoutconcentraties in de bodem aanwezig zijn. Bij hoge zoutconcentraties in bodem(vocht) worden de zoutindicerende plantensoorten ook wel halofyten genoemd.



## 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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](http://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

In het waterbeleid is gebruik gemaakt van de WB21 klimaatscenario's uit 2000. In bovenstaande tabel 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/centraal" 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).

Variabele	laag WB21	midden WB21	G '06	hoog WB21	W '06	hoog droog WB21*	G+ '06	W+ '06
<b>Temperatuur (°C)</b>								
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
<b>Neerslag zomer (%)</b>								
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
<b>Neerslag winter (%)</b>								
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
<b>Potentiële evaporatie (%)</b>								
Jaarlijks	+2	+4		+8		+8		
Zomer (JJA)			+3		+7	+24	+8	+15
<b>Zeespiegel (cm)</b>								
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".

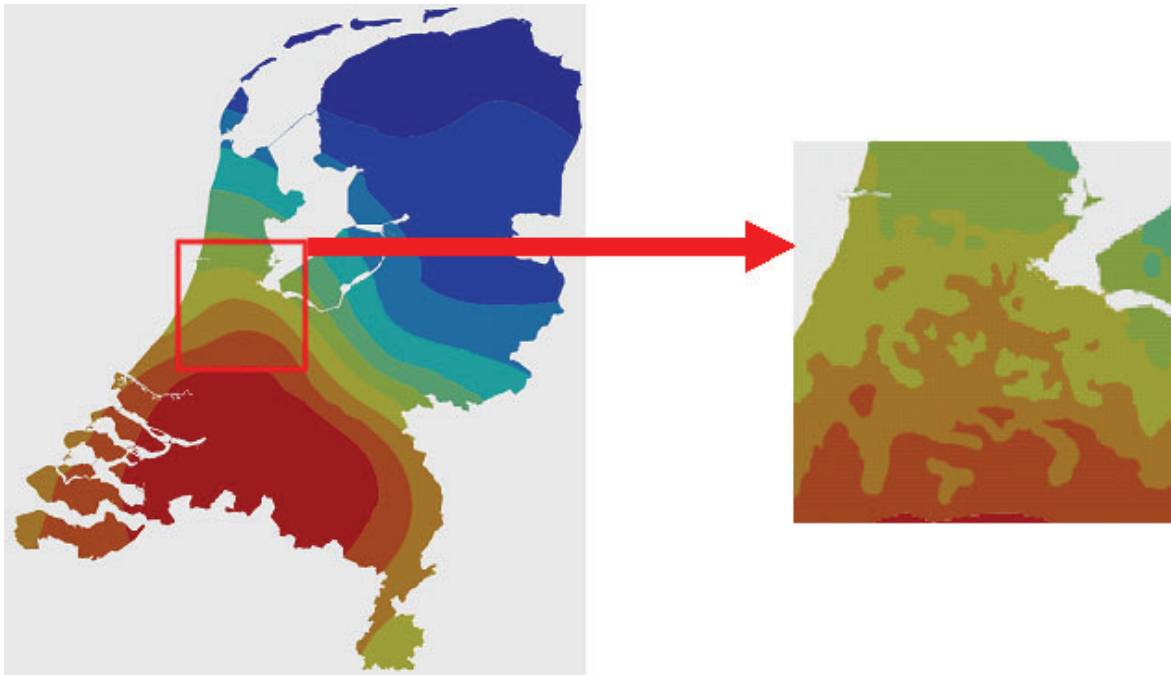
#### Verschillen

- 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*

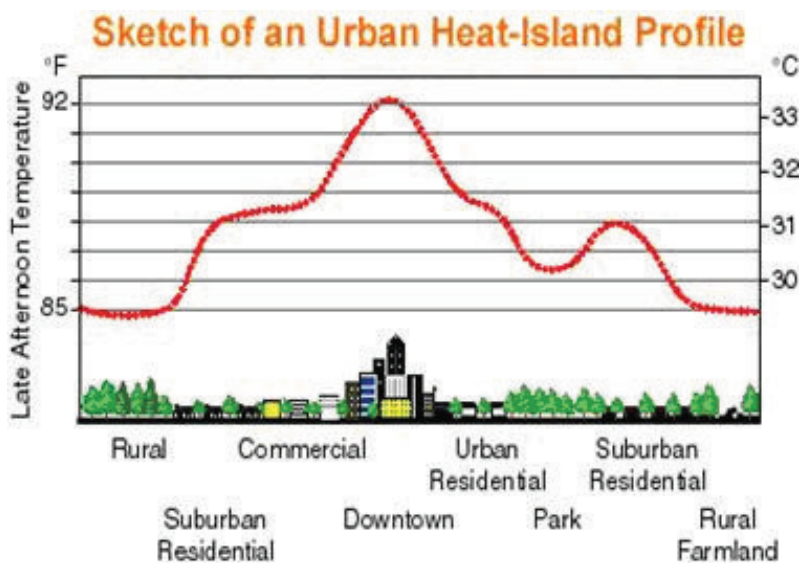
Het is bekend dat zich boven steden zgn. warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt 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 5oC. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht ca. 1,1oC 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 lijzijde (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'.

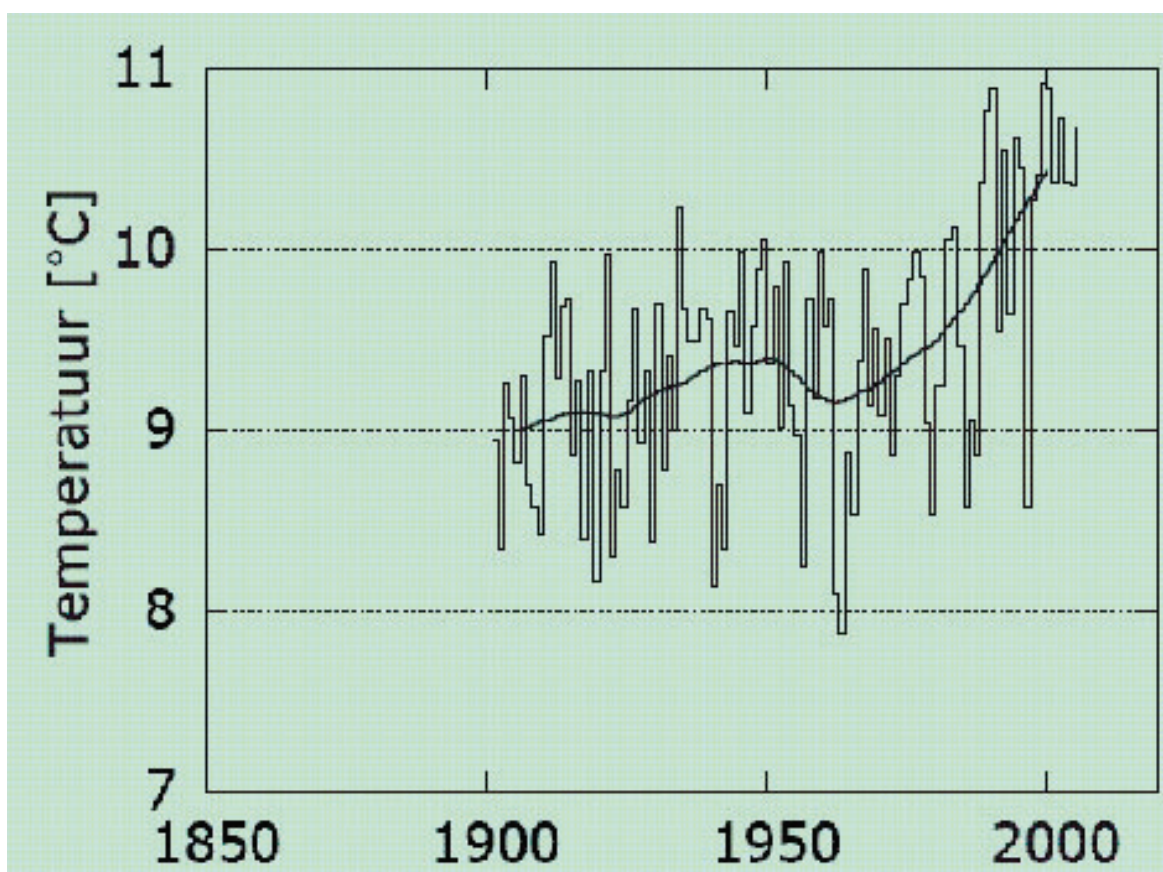
## BIJLAGE 4 WAARGENOMEN VERANDERINGEN IN NEDERLAND

### Temperatuur

In ons land is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld  $1,2^{\circ}\text{C}$  gestegen (Figuur B5 1). Hetzelfde patroon aan veranderingen in de gemiddelde jaartemperatuur is terug te vinden in de metingen in Eelde (metingen vanaf 1945). 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.

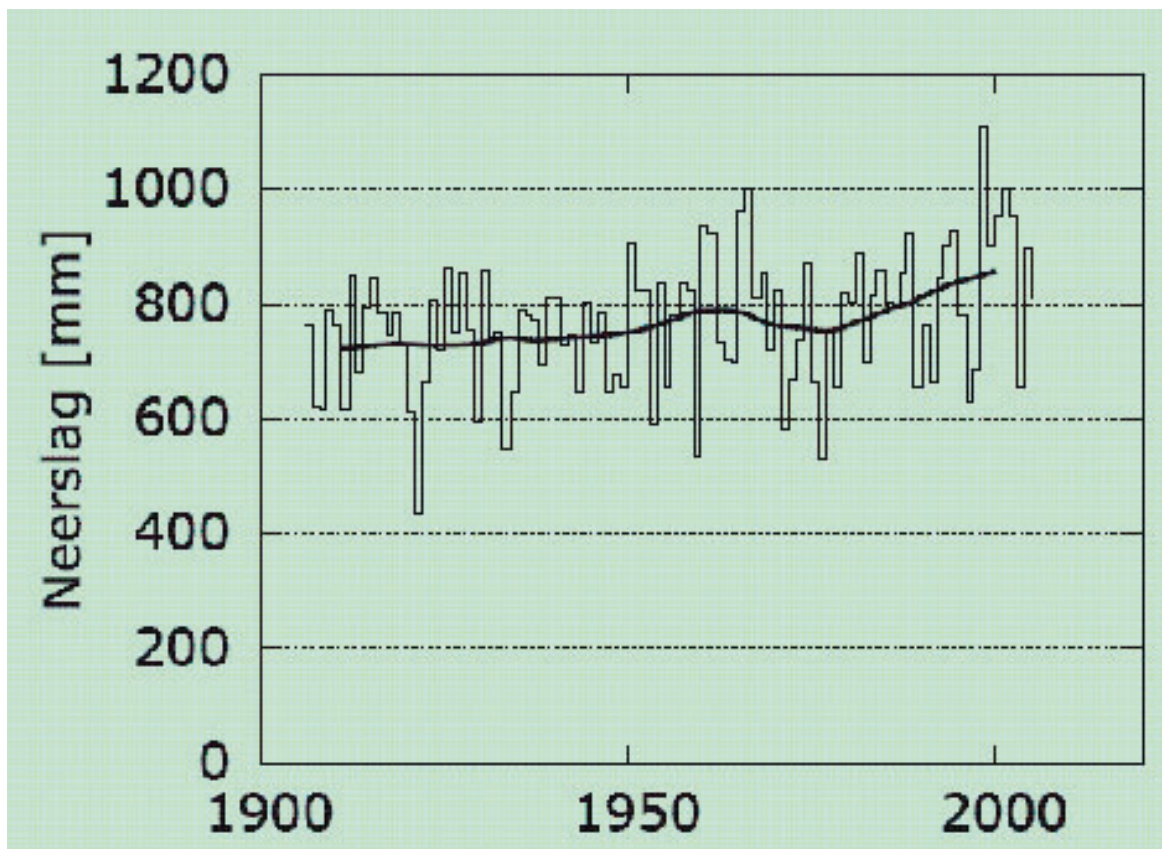


Figuur B4.1 Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

*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.



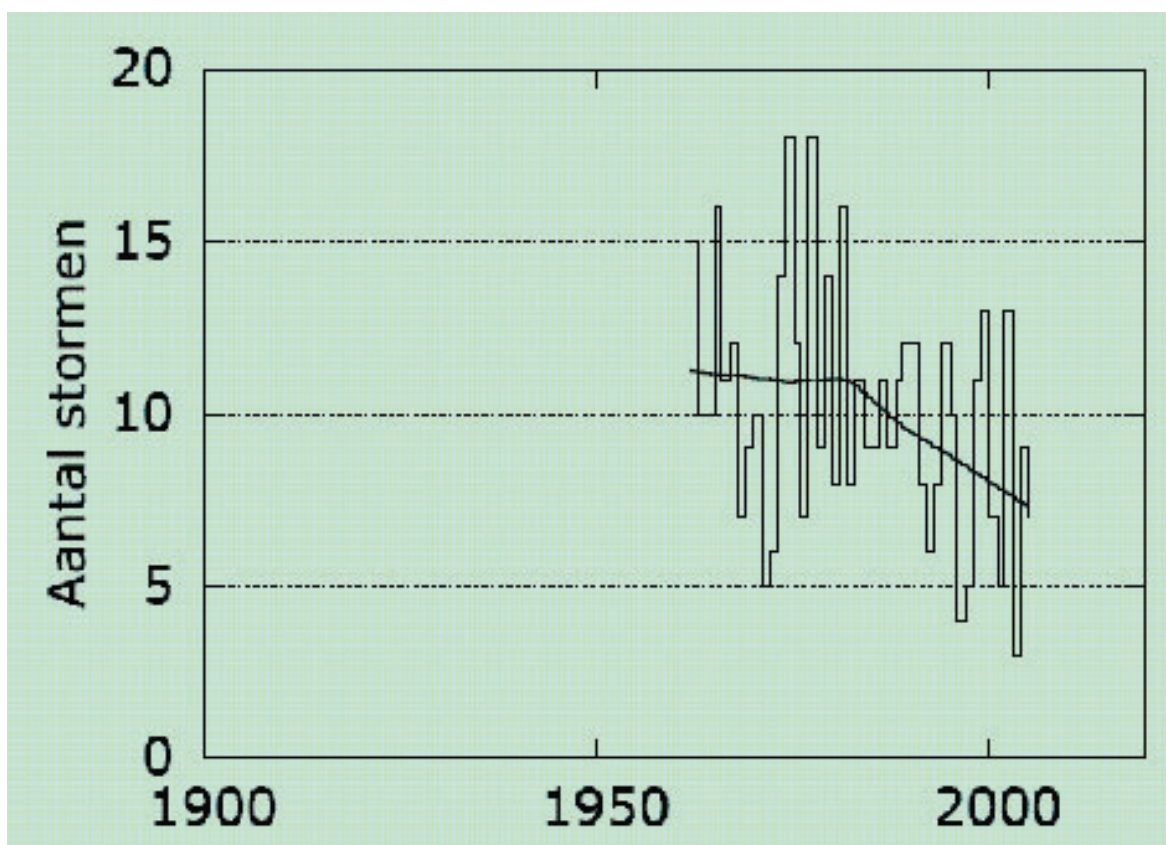
*Figuur B4.2 Jaarlijkse neerslag in Nederland (gemiddelde van 13 KNMI-neerslagstations) tussen 1906 en 2005. De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.*



### 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 B5 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.

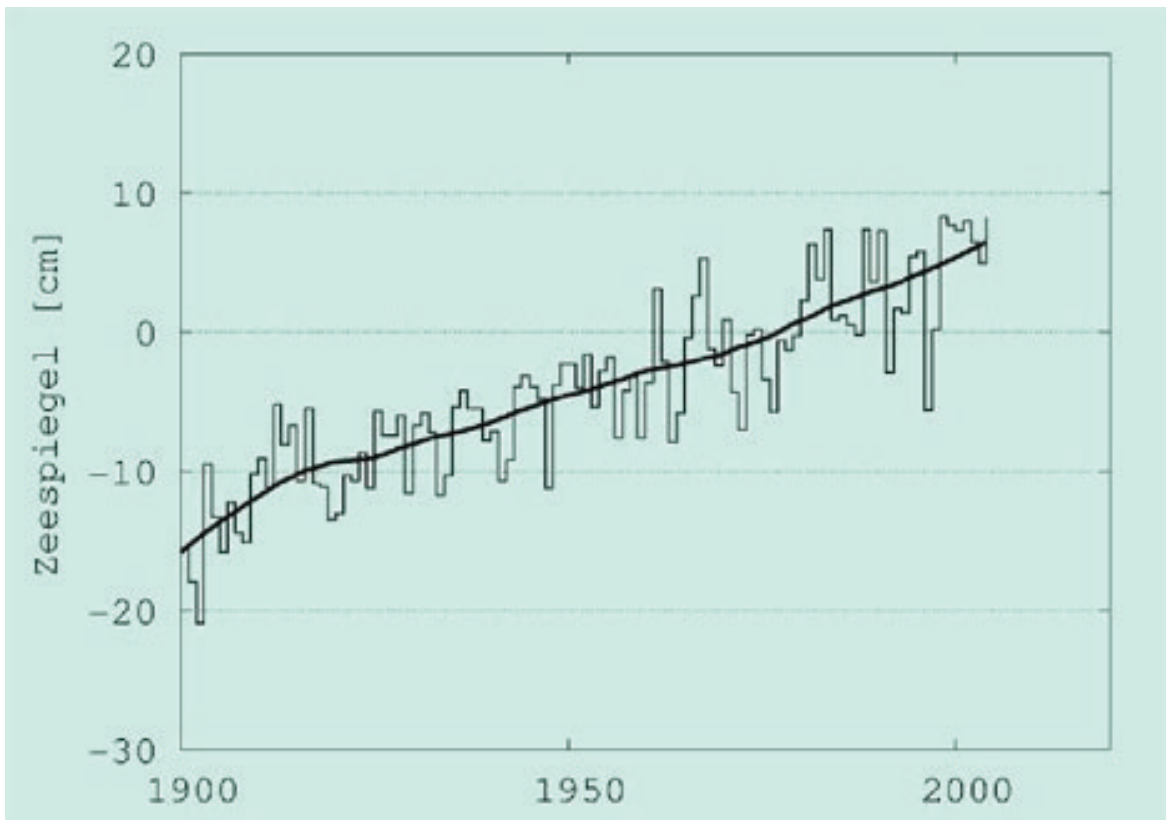


Figuur B4 3 Aantal 'stormen' in Nederland (vanaf windkracht 6 in het binnenland en 7 aan de kust) tussen 1962 en 2005 (gemiddelde van 13 stations). De dikke zwarte lijn volgt een voortschrijdend 30-jaar gemiddelde.

*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 opstuwung 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.*

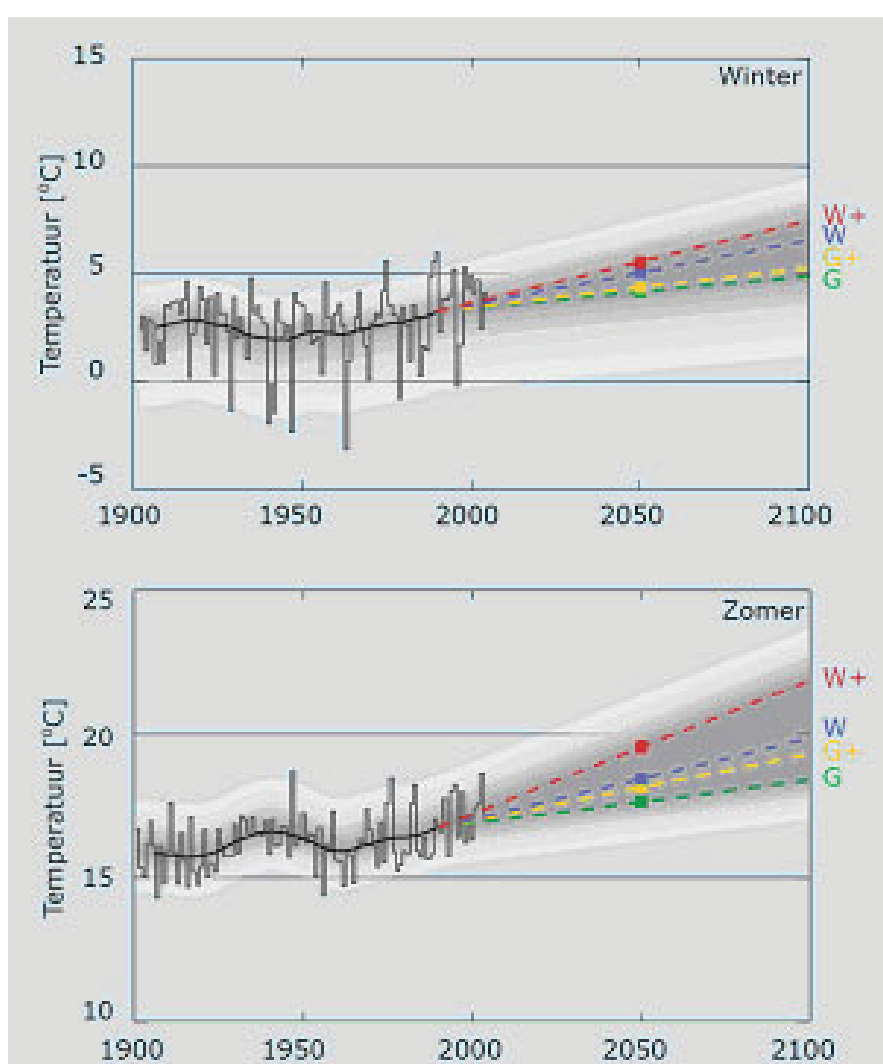
## BIJLAGE 5 PRIMAIRE EFFECTEN: KAARTEN EN ADDITIONELE INFORMATIE

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 rond Eelde. Deze gegevens zijn gegenereerd met behulp van het transformatieprogramma op [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](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 vooralsnog gelijk gehouden aan de huidige situatie. Uit waarnemingen van de afgelopen 25 jaar blijkt dat de minimum- en maximumtemperatuur ongeveer even snel stijgen (IPCC, 2007), maar het is niet onmogelijk dat de temperatuurschommeling per etmaal wel verandert in de toekomst. De bewolgingsgraad heeft een duidelijke invloed op de temperatuurschommeling per etmaal. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Nederland in het overgangsgedebied 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 Eelde 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/](http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/)).

	1976-2005	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
<b>Gemiddelde maximum dagtemperatuur (°C)</b>					
winter	4,9	5,8	6,1	6,7	7,2
lente	12,9	13,8	14,2	14,7	15,4
zomer	21,1	22,0	22,6	22,9	24,0
herfst	13,6	14,5	14,9	15,4	16,3
<b>Gemiddelde minimum dagtemperatuur (°C)</b>					
winter	-0,4	0,5	0,7	1,4	1,9
lente	3,7	4,6	4,9	5,5	6,2
zomer	10,8	11,7	12,2	12,6	13,7
herfst	5,9	6,9	7,3	7,8	8,6
<b>Gemiddelde jaarlijkse hoogste maximumtemperatuur (°C)</b>					
	31,9	33,0	33,9	34,1	36,0
<b>Gemiddelde jaarlijkse laagste minimum temperatuur (°C)</b>					
	-12,5	-11,4	-10,9	-10,3	-9,3

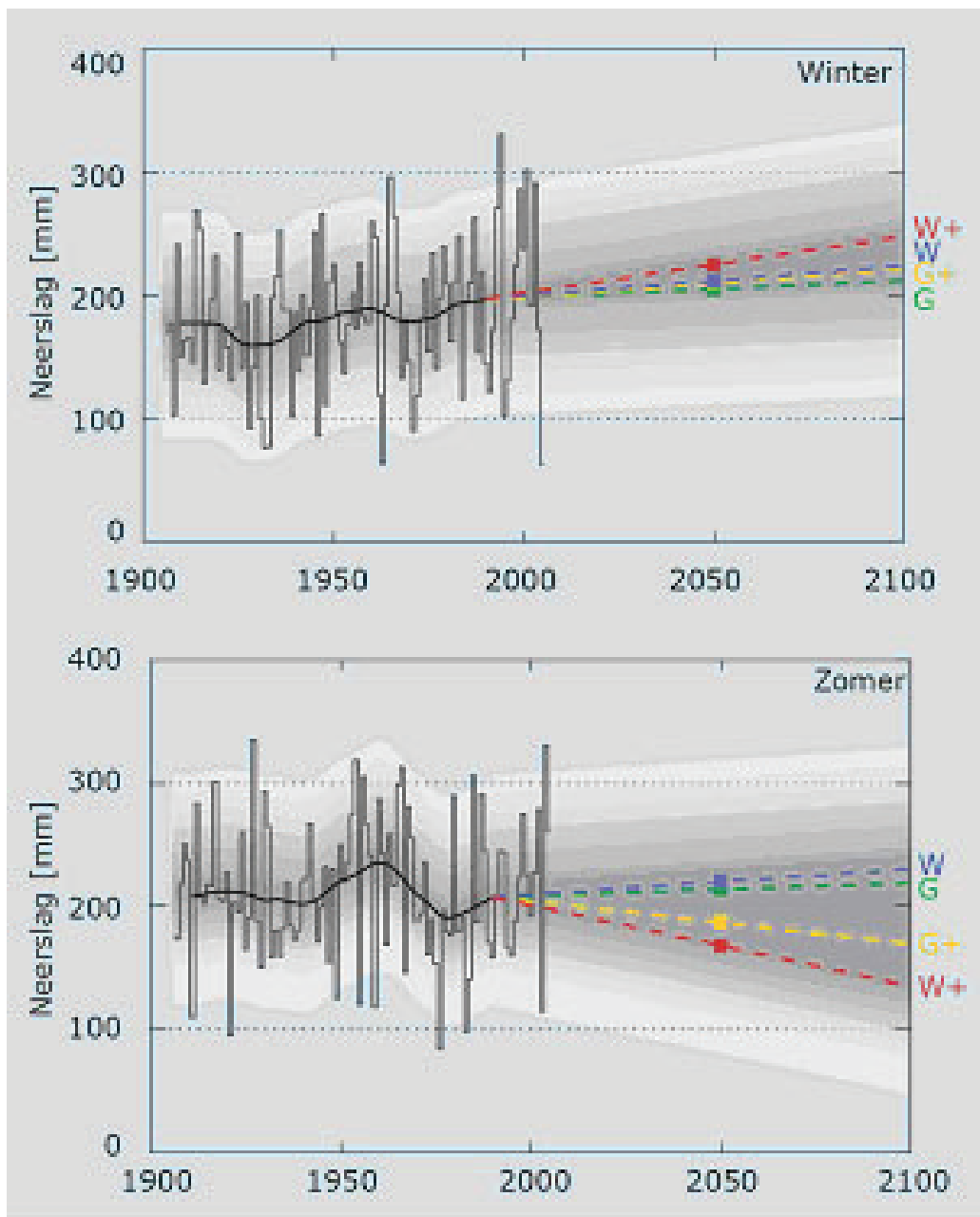
\* De verandering in 2100 ten opzichte van het klimaat rond 1990 is twee maal zo groot als de verandering in 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990.

### *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 6). De figuren 2..... 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 station Eelde in de buurt van de grens tussen Groningen en Drenthe ligt. Dit is onvoldoende om alle ruimtelijke patronen goed met behulp van een GIS te genereren. De figuren geven het ruimtelijk patroon binnen Groningen 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 een redelijk aantal in de provincie Groningen liggen. 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, 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 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 Groningen 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 Groningen (range 113-108 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/](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
<b>24-uurs neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (mm)</b>					
<i>Groningen</i>					
Groningen	54	61	57	69	60
Ter Apel	49	55	51	62	53
Marum	56	64	59	71	62
<i>Drenthe</i>					
Emmen	52	62	58	70	61
Klazienaveen	47	53	49	60	52
Roden	57	65	60	73	63

*\* 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.

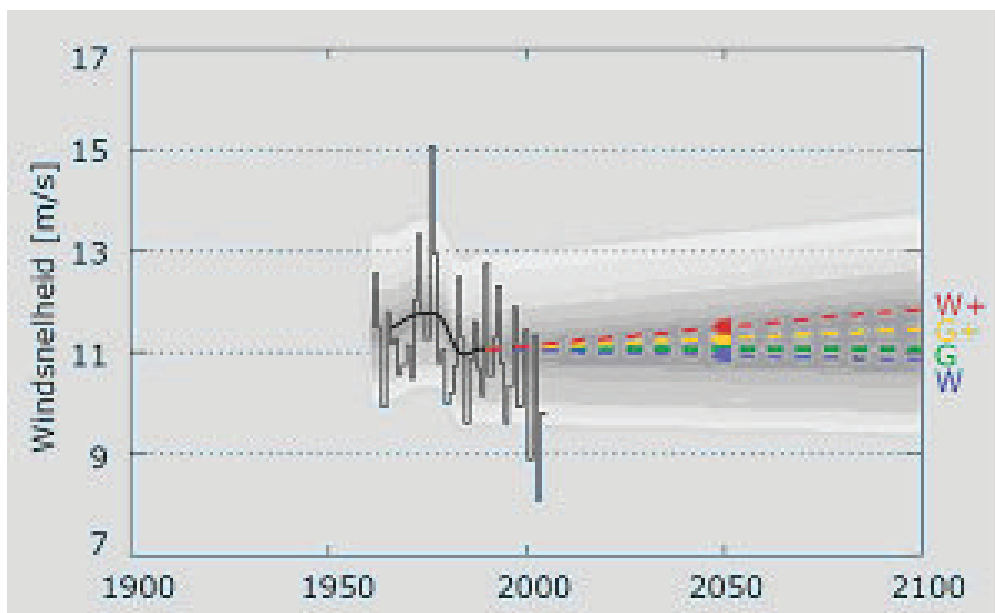
Op basis van de huidige kennis bestaat het vermoeden dat de veranderingen in de sterkte van de stormen op de gematigde breedten klein zullen zijn. Echter er bestaan nog veel onzekerheden met betrekking tot wind en stormen. Voor het lokale windklimaat is daarom een eventuele verandering van de ligging 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

Om een indruk te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde windsnelheid wordt verwezen naar de 'Klimaatatlas 1971-2000' (KNMI, 2002). Op het KNMI-station Eelde is de gemiddelde windsnelheid over het jaar 4,5 m/s (periode 1971-2000). De hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar ligt voor dit station hoger dan voor De Bilt (figuur 5.10).



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.

### 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 temperatuuroename: 4% per graad; van den Hurk et al, 2006: Hoofdstuk 5). Tegelijkertijd neemt de neerslag in de zomermaanden in deze '+' scenario's ook het sterkst af. Dit heeft tot gevolg dat de droogte, in termen van neerslagtekort, in het G+ en W+ scenario's in de zomer sterk zal toenemen. 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. Aan de kust van Groningen is het neerslagtekort in de

zomermaanden wat groter dan meer landinwaarts. Door 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 zonneshijnduur, maar wel over mogelijke veranderingen in het aantal regendagen en in potentiële verdamping. Er is wel verband tussen het aantal uren zonneshijn 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 zonneshijn 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 zonneshijnduren. 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 zonneshijn.

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 Ugeo<sup>1</sup> (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.

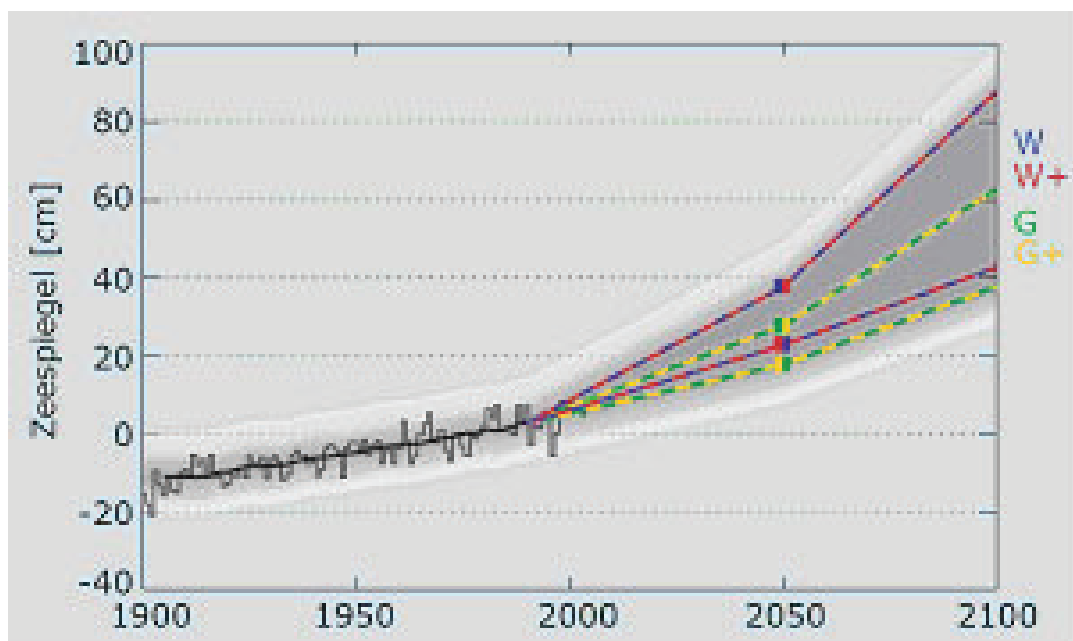
### Zeespiegel

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.

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.



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.

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

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

## 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.

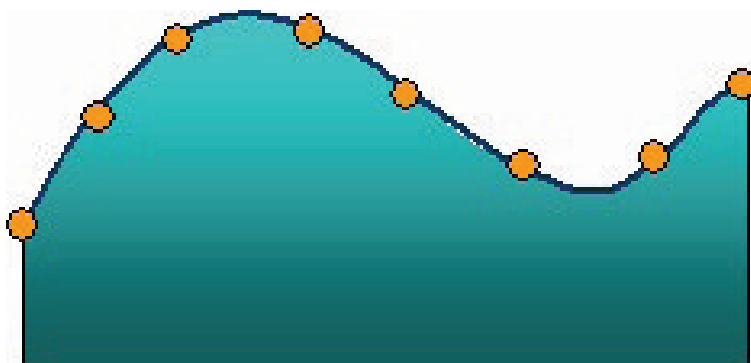
#### Klimaatgegevens voor de toekomst

Voor de toekomst data is gebruik gemaakt van het transformatieprogramma op [http://climexp.knmi.nl/Scenarios\\_monthly/](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. Alleen voor noord Nederland bleek deze methode niet afdoende. Ten noorden van de stad Groningen is er geen station dichtbij de kust beschikbaar, ook niet met een reeks korter dan 30 jaar. Met behulp van de klimaatas 1971-2000 is gekeken welk station in noord Nederland representatief zou zijn voor het klimaat ten noorden van de stad Groningen. Leeuwarden kwam hiervoor in aanmerking en daarom is het station Leeuwarden twee keer gekopieerd naar een locatie in de buurt van Warffum en de Ems, zodat het kusteffect beter wordt weergegeven. Voor neerslag waren er ongeveer 280 stations met voldoende lange tijdreeksen.

#### 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 Gelderland  
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  
Willem Huizing, Provincie Drenthe  
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  
Rob Roggema, Provincie Groningen  
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  
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 : 17 september 2008

---

