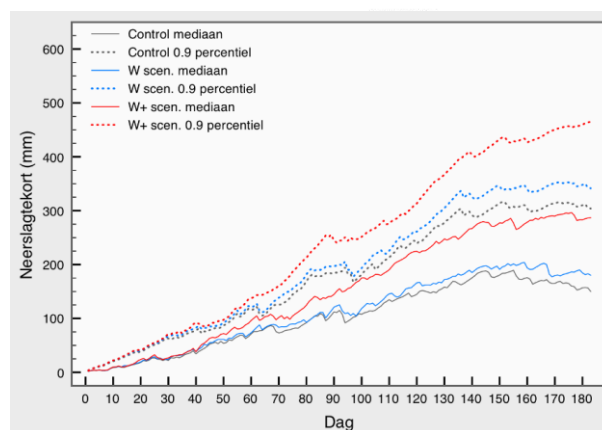
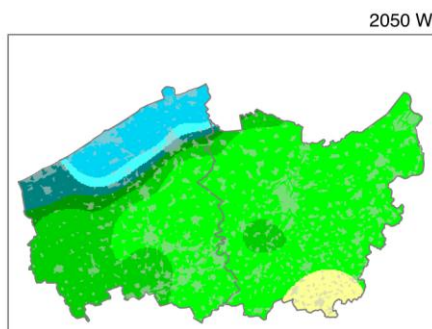
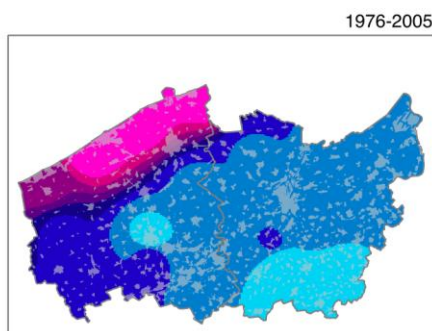


Klimaateffetschetsboek West- en Oost-Vlaanderen

In opdracht van:
Provincies West- en Oost Vlaanderen
Februari 2012



Klimaateffetschetsboek West- en Oost-Vlaanderen

dossier : BA2458-101-100
registratienummer : LW-AF20113108/MSW
versie : definitief
classificatie : Klant vertrouwelijk

Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Februari 2012

Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.

Dit klimaateffetschetsboek is een co-productie van het KMI, Bodemkundige dienst van België, KNMI en DHV in opdracht van de provincie West-Vlaanderen

Het project is mede mogelijk gemaakt door financiering uit het Interreg IV-programma voor de Grensregio Vlaanderen-Nederland. 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

INHOUDSOPGAVE

blad

1	INLEIDING	2
1.1	Het Klimateffectschetsboek	2
1.2	Het klimaat verandert	3
1.3	Geografische kenmerken	8
2	PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN	10
2.1	Welke informatie geven de kaarten?	10
2.2	Algemeenheden over het klimaat van de Provincies West- en Oost-Vlaanderen	11
2.3	Temperatuur	12
2.4	Neerslag	19
2.5	Neerslagtekort	25
2.6	Zonneschijn	32
2.7	Wind	33
2.8	Zeespiegel	36
3	SECUNDAIRE EFFECTEN	38
3.1	Watersysteem	38
3.2	Stedelijk gebied	46
3.3	Landelijk gebied	48
3.4	Landbouw	52
3.5	Natuur	60
3.6	Infrastructuur	67
3.7	Recreatie	69
	REFERENTIES	70
	VERKLARENDE WOORDENLIJST	75
	COLOFON	76
	BIJLAGEN	
1	Twee soorten klimaatscenario's	
2	Interpretatie van de kaarten	
3	Het stads-effect	
4	Methodieken klimatologische kaarten	
5	Overige studies	

1 INLEIDING

Klimaatverandering heeft maatschappelijke en ruimtelijke gevolgen voor België en Nederland. Ontwikkelingen in de afgelopen decennia wijzen al op veranderingen in neerslagpatronen en temperatuur, ook al is de precieze verandering nog niet bekend. Deze klimaatverandering is voor de Belgische provincies West- en Oost-Vlaanderen en de Nederlandse provincie Zeeland aanleiding voor het door Interreg gefinancierde project 'Neem de Mensen Meel' waarmee de drie provincies hun inwoners bewuster wil maken van klimaatverandering.

Eén van de activiteiten in dit Europese project is het opstellen van een klimaateffetschetsboek, waarin de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor ruimtelijke functies in kaart zijn gebracht. Hiermee wordt klimaatverandering meer bespreekbaar gemaakt. Het schetsboek vormt een feitelijke basis voor discussie en kan mogelijk motiveren tot actie. De provincies West- en Oost-Vlaanderen en Zeeland kunnen als gevolg van de klimaatverandering onder andere 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. Voor Zeeland is al een klimaateffetschetsboek opgesteld. Voorliggend schetsboek gaat in op de situatie voor West- en Oost-Vlaanderen.

1.1 Het Klimaateffetschetsboek

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

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

Hiermee biedt het schetsboek inzicht in de basisgegevens over klimaatverandering in de komende vier decennia in de provincies West- en Oost-Vlaanderen. Het schetsboek is vooral bestemd voor beleidsmedewerkers binnen de provincies West- en Oost-Vlaanderen. Het schetsboek dient als input voor het ontwikkelen van een folder voor het project 'Neem de Mensen Meel!'.

Dit schetsboek is samengesteld door een consortium van de het KMI, de Bodemkundige Dienst en DHV. Tekst en informatie over primaire klimaateffecten komen van het KNMI en KMI (paragraaf 1.2 en hoofdstuk 2 met bijbehorende bijlagen). Teksten over secundaire klimaateffecten en gevolgen voor verschillende ruimtelijke functies komen van DHV en de Bodemkundige Dienst (hoofdstuk 3) en is gedeeltelijk gebaseerd op het klimaatschetsboek Zeeland. DHV is verantwoordelijk voor de uiteindelijke redactie van het schetsboek.

1.2 Het klimaat verandert

1.2.1 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 onder andere informatie gegeven over de gemiddelde temperatuur in verschillende seizoenen, de neerslag en uren zonneschijn. 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 'huidige' klimaat wordt bijvoorbeeld uitgedrukt als het klimaat van 1990 dat is bepaald op basis van de periode tussen 1976 en 2005.

Klimaatverandering is van alle tijden

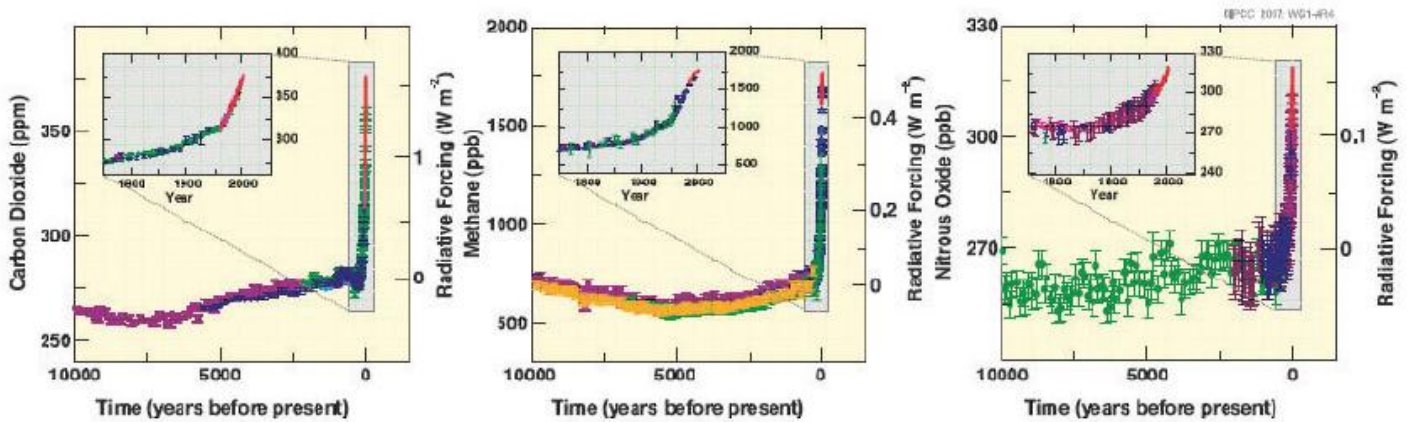
Het klimaat op aarde is dynamisch en is sinds het ontstaan van de aarde continu veranderd. De oorzaken van klimaatverandering kunnen in twee groepen worden ingedeeld:

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

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

Wat is het broeikaseffect?

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



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

1.2.2 Klimaatscenario's

Wat zijn klimaatscenario's?

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

Mondiale en regionale klimaatscenario's

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

De mondiale klimaatscenario's 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 mei 2006 is een nieuwe generatie algemene KNMI-klimaatscenario's gepubliceerd, de KNMI'06 klimaatscenario's. Deze zijn gebruikt voor de klimaateffectschetsboeken voor de Nederlandse provincies (waaronder Zeeland).

De schetsboeken van West- en Oost-Vlaanderen en Zeeland vormen samen de basis voor het project 'Neem de Mensen mee!'. Het is dan ook wenselijk dat de schetsboeken goed op elkaar aansluiten en uitgaan van dezelfde klimaatscenario's. Aangezien de KNMI'06 scenario's ook toepasbaar zijn op de situatie in Vlaanderen, zijn deze gebruikt voor voorliggend schetsboek van West- en Oost-Vlaanderen.

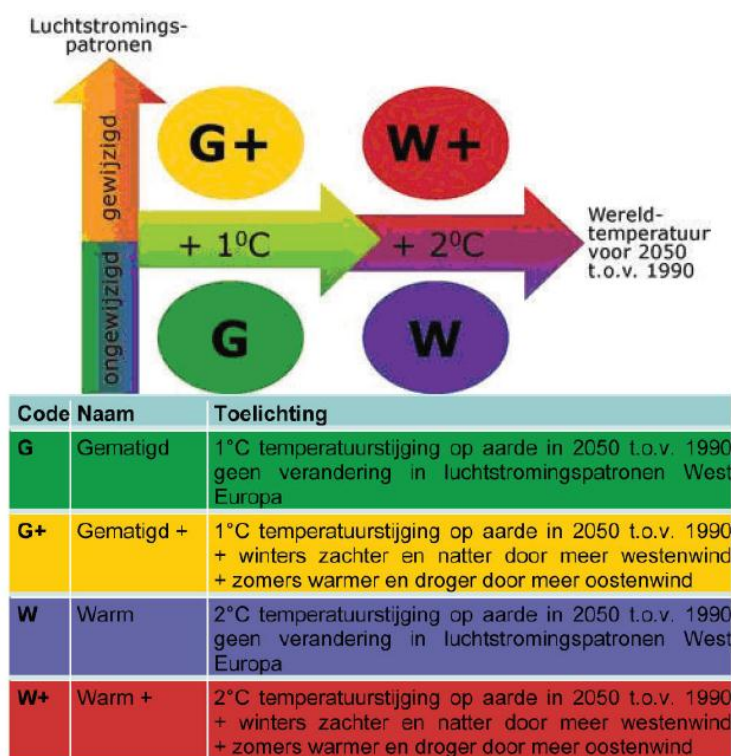
Voor Vlaanderen zijn in 2008 de CCI-HYDR scenario's (Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium) opgesteld door het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.FD.2007.5 project). Een beschrijving van deze scenario's en een vergelijking met de

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

KNMI'06 scenario's en de IPCC-scenario's is gegeven in Bijlage 1. Aangezien de KNMI'06 scenario's zijn gebruikt voor de schetsboeken, worden deze in het navolgende kort toegelicht.

De KNMI'06 klimaatscenario's

Hoe het klimaat in Nederland en Vlaanderen verandert is vooral afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de stromingspatronen van de lucht in onze omgeving (West Europa) en de daarmee samenhangende veranderingen in de wind. De indeling van de scenario's² is daarom op deze twee aspecten gebaseerd (Figuur 1.2).



Figuur 1.2 Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's.

Kenmerken van alle KNMI'06 klimaatscenario's zijn:
 Opwarming zet door;
 Winters gemiddeld natter;
 Heviger extreme zomerbuien;
 Veranderingen in het windklimaat klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;
 Zeespiegel blijft stijgen.

Samen geven deze klimaatscenario's een groot deel van de range voor het mogelijke toekomstige klimaat in Nederland en Vlaanderen 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

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

kennis verwachten we dat de kans groter is dat ons toekomstige klimaat zich zal ontwikkelen binnen deze vier hoekpunten, dan daarbuiten. Deze verwachting geldt ook voor de Belgische situatie. Daarom zijn de KNMI '06 scenario's ook gehanteerd voor het schetsboek voor West- en Oost-Vlaanderen

1.2.3 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. De mogelijke range aan onzekerheden wordt bepaald door onzekerheden over de sociaal-economische ontwikkelingen en over het klimaatsysteem zelf (zie hieronder). De KNMI'06 scenario's zijn zodanig gekozen, dat ze een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen. Ze dienen daarom als basis voor dit klimaateffetschetsboek.

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

Welke onzekerheden zijn er?

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

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

Voor kleinschaliger regio's, zoals West-Europa of Vlaanderen, 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 en Vlaanderen. De gebruikte klimaatmodellen zijn niet gedetailleerd genoeg om een ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering binnen Vlaanderen 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.

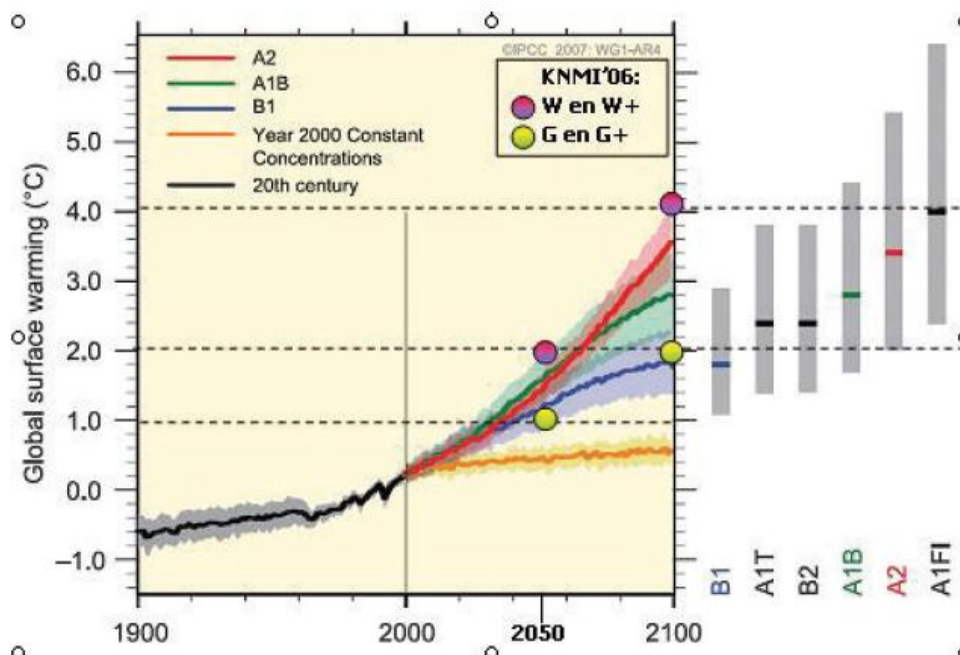
Over sommige klimaatvariabelen kunnen we met meer zekerheid uitspraken doen dan over andere variabelen. Tijdens het gebruik van informatie over klimaatverandering is het zinvol hier rekening mee te houden. Om een indruk te geven, is hieronder aangegeven wat de relatieve zekerheid is van de uitspraken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

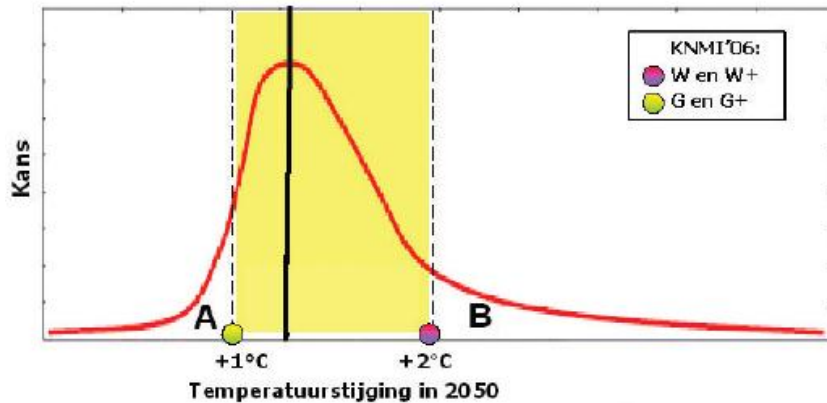
In het algemeen neemt de onzekerheid in de volgende rijtjes toe van links naar rechts:
 Temperatuur > Zeespiegel > Neerslag > Wind
 Neerslag winter > Neerslag zomer
 Gemiddelden > Eens per 10 jaar extremen

Omgaan met onzekerheden

Een manier om met onzekerheden om te gaan, is gebruik maken van scenario's (zoals bij de KNMI'06 scenario's: zie figuren 1.3 en 1.4). Onzekerheden als gevolg van sociaal-economische en technologische ontwikkelingen zijn in kaart gebracht door bij het ontwikkelen van de scenario's verschillende emissiescenario's (A1 (A1T, A1B, A1F), A2, B1, B2 in figuur 1.3) mee te nemen. Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) produceert ongeveer elke 5 jaar klimaatscenario's voor de hele wereld. Deze zijn gebaseerd op emissiescenario's (<http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/>: zie figuur a t/m c); oftewel aannames over de uitstoot van broeikasgassen. Deze emissiescenario's zijn weer gebaseerd op wereldbeelden over hoe de wereldbevolking zich ontwikkelt, maar ook de economie, technologie, etc. De onzekerheden met betrekking tot 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 1.3). De KNMI'06 scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk. Met de huidige kennis is echter niet aan te geven welk scenario het meest waarschijnlijk is.



Figuur 1.3 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 (temperatuurstijging scenario's W en W+ is tweemaal de stijging in G en G+).



Figuur 1.4 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.

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

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

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

1.3 Geografische kenmerken

West-Vlaanderen

De provincie West-Vlaanderen is circa 314.400 ha groot. Kenmerkend voor de provincie zijn onder andere de ligging aan zee en het verloop van de vlakke polders in het westen en noorden naar een meer heuvelachtig binnenland met zandleem aan de oppervlakte. Het grootste deel van het landoppervlak bestaat uit land- en tuinbouwgebied (68%), gevolgd door bebouwd gebied (23%). De grootste steden zijn achtereenvolgens Brugge (117.000 inwoners), Kortrijk, Oostende en Roeselare.

De provincie telt circa 1.160.000 inwoners. De bevolkingsdichtheid is met 369 inwoners per vierkante kilometer redelijk hoog.

Oost-Vlaanderen

De provincie Oost-Vlaanderen is circa 298.200 ha groot. Het landschap loopt over van het polderlandschap van het Nederlandse Zeeuws-Vlaanderen in het noorden, via een laagliggend gebied, genaamd de zandstreek, naar een meer glooiend landschap met zandleem en leem aan de oppervlakte in het zuiden. De Schelde stroomt vanuit Frankrijk Oost-Vlaanderen binnen en verlaat Vlaanderen bij

Antwerpen. Oost-Vlaanderen is de tweede landbouwprovincie van Vlaanderen (na West-Vlaanderen). Dit geldt zowel voor het landbouwareaal (ca 52% van oppervlak) als het aantal agrarische bedrijven (ca 7.500 in Oost-Vlaanderen tegenover ca 9.600 in West-Vlaanderen; bron: <http://lv.vlaanderen.be>). De grootste steden zijn achtereenvolgens Gent (243.000 inwoners), Aalst, Sint-Niklaas, Dendermonde en Lokeren. De provincie telt circa 1.430.000 inwoners. De bevolkingsdichtheid is met 480 inwoners per vierkante kilometer hoog te noemen.



Figuur 1.5 Illustratieve kaart van de provincies West- en Oost-Vlaanderen

2 PRIMAIRE KLIMAATEFFECTEN

In dit hoofdstuk worden de trends behandeld ten aanzien van temperatuur, neerslag, neerslagtekort, zonneshijn, wind en zeespiegelstijging. Dit zijn de zogenaamde primaire klimaateffecten. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van kaartmateriaal. In paragraaf 2.1 wordt toegelicht welke kaarten voor primaire klimaateffecten in het kader van het klimaateffectschetsboek zijn gegeneerd.

2.1 Welke informatie geven de kaarten?

Ruimtelijke patronen met betrekking tot klimaat worden 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. Ze ontstaan soms ook door de locatie van de meetstations.

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 bij het interpreteren en gebruik van de klimaatkaarten in het rapport rekening gehouden wordt met de volgende aspecten (zie ook bijlage 2 voor een nadere toelichting):

Het kaartmateriaal in dit klimaateffectschetsboek is gebaseerd op automatische interpolatie tussen de beschikbare meetstations zonder additionele klimatologische kennis;

Ruimtelijke verschillen kunnen veroorzaakt worden door het toepassen van de automatische interpolatieschema's;

Voor Vlaanderen geldt zowel voor temperatuur als neerslag dat alleen grootschalige patronen (zoals land-zee overgangen) kunnen worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KMI-stations waar lang genoeg en consistent gemeten is. Er is gebruik gemaakt van gegevens van 29 geschikte stations in en rond Vlaanderen waar de temperatuur wordt gemeten en 37 stations waar de neerslag wordt gemeten (zie bijlage 4 voor de locatie van de meetstations). Op kleinere schaal speelt ook de aanwezigheid van meren, steden en infrastructuur een rol in ruimtelijke patronen van neerslag en temperatuur;

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

Hotspots?

Men zou kunnen denken dat er bepaalde 'hotspots' of 'coldspots' aanwezig zijn op de kaarten, maar dit is niet het geval. Als de maximumtemperatuur in het ene meetstation 0,1 °C is, en -0,1°C in een naburig station, telt het laatste station een ijsdag meer. Dit kan er voor zorgen dat het gemiddeld aantal ijsdagen voor het ene station op 2 uitkomt en voor het andere net op 3. Er is dus nauwelijks verschil, maar op de kaart zorgt dit verschil wel voor een contrast tussen kleuren wanneer het verschil net op een grens tussen 'legendaklassen' op de kaart plaatsvindt.

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, mitigatie en adaptatie 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 (bijvoorbeeld een 'overlay' van een wegenkaart met een kaart met het aantal dagen met hevige neerslag, geeft niet aan waar de meeste problemen met wateroverlast op de weg voorkomen). Er is meestal een extra vertaalslag nodig, deze vertaalslag wordt gemaakt in hoofdstuk 3.

2.2 Algemeenheden over het klimaat van de Provincies West- en Oost-Vlaanderen

De Provincies West- en Oost-Vlaanderen bestrijken verschillende onderverdelingen van het klimaat in Vlaanderen. In de op pedologische (bodembkundige) en klimatologische karakteristieken gebaseerde classificatie van België zijn dat de Kust (A), de Kustpolders (BL), de Polders van het Land van Waas (BW), zandig Vlaanderen (CS) en leemachtig Vlaanderen (CL). In het zuiden van de Provincie Oost-Vlaanderen heeft men de Vlaamse Ardennen die zich uitstrekken over het arrondissement Oudenaarde en de gemeentes Zottegem en Geraardsbergen. In het zuiden grenzen de Vlaamse Ardennen aan de Pays des Collines in Henegouwen (D). In het westen zijn de Vlaamse Ardennen een verlenging van Heuvelland in West-Vlaanderen.

Wat de neerslag betreft is er een gradiënt van minder dan 700 mm per jaar in het zuidwesten (Franse grens en Heuvelland) tot meer dan 850 mm per jaar in het Land van Waas (figuur 2.6). Dit (kleine) verschil wordt veroorzaakt door het hoogteverschil tussen de Vlaamse Ardennen en de Vlaamse vlakte. Aangezien de Vlaamse vlakte geen noemenswaardige hoogteverschillen vertoont, treden hierbinnen geen duidelijke verschillen in neerslag op.

Voor de temperatuur zijn hoogteligging en de afstand tot de kust de belangrijkste factoren. Deze factoren spelen een rol over het grootste gedeelte van de twee provincies. De invloed van hoogteligging is merkbaar in verschillen tussen de Vlaamse Ardennen en lager gelegen gebieden. De invloed van de zee is uiteraard het meest merkbaar in de kuststreek. Ook de bodem is een belangrijke factor in de warmte-uitwisseling van de bodem en de atmosfeer.

2.3 Temperatuur

Klimaatverandering heeft voor temperatuur de volgende gevolgen:

De opwarming zet door in alle vier de KNMI'06 scenario's;

De temperatuurstijging in 2100 is in de KNMI'06 scenario's tweemaal zo groot als in 2050. Dit geldt ook voor de andere primaire effecten en wordt daarbij dan ook niet meer aangegeven;

De temperatuurextremen kunnen sneller stijgen dan de gemiddelde temperatuur, dit gebeurt vooral in de scenario's G+ en W+;

Een toename van het aantal warme, zomerse en tropische dagen;

Een afname van het aantal ijs- en vorstdagen.

2.3.1 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 tussen de gemiddelde maximum- en minimumtemperatuur is in alle scenario's voornamelijk gelijk gehouden aan het verschil in de huidige situatie. Voor het klimaat rond 2100 zijn de temperatuurstijgingen tweemaal zo groot 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. In steden is het gemiddeld wat warmer dan op het omringende platteland ('urban heat island effect'³ bijlage 3). Dezelfde patronen zullen in de toekomst blijven bestaan. In de KNMI'06 klimaatscenario's is de temperatuurstijging in de provincies West- en Oost-Vlaanderen 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.

³ Zie o.a. Rafiq Hamdi (2011) UHI effects on temperature records near Brussels, Belgium, an observational and modeling study. International Association for Urban Climate, Issue No. 40, June 2011, pp. 5-13.

2.3.2 Temperatuur extremen

Toekomstige trends

De vier KNMI'06 scenario's laten een sterkere stijging van de temperatuurextremen zien dan van de gemiddelde temperaturen. Rond 2050 stijgt de laagste temperatuur per jaar in de wintermaanden variërend van 1,0°C tot 2,9°C, en in de zomermaanden stijgt de hoogste temperatuur per jaar met 1,0°C tot 3,8°C ten opzichte van het klimaat rond 1990 (het gemiddelde tussen 1976 en 2005). Vooral in de scenario's G+ en W+ stijgen de extremere temperaturen sterker. In de winter treden in de '+' scenario's (G+ en W+) frequenter westenwinden op. In combinatie met de mondiale 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 $\geq 30^{\circ}\text{C}$), zomerse dagen (maximumtemperatuur $\geq 25^{\circ}\text{C}$) en warme dagen (maximumtemperatuur $\geq 20^{\circ}\text{C}$) in deze scenario's ten opzichte van de scenario's zonder verandering in luchtstromingspatronen (G en W).

Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

Mensen zullen vaker zonder jas naar buiten kunnen (het aantal zomerse dagen, met een maximum temperatuur van $\geq 25^{\circ}\text{C}$ stijgt);

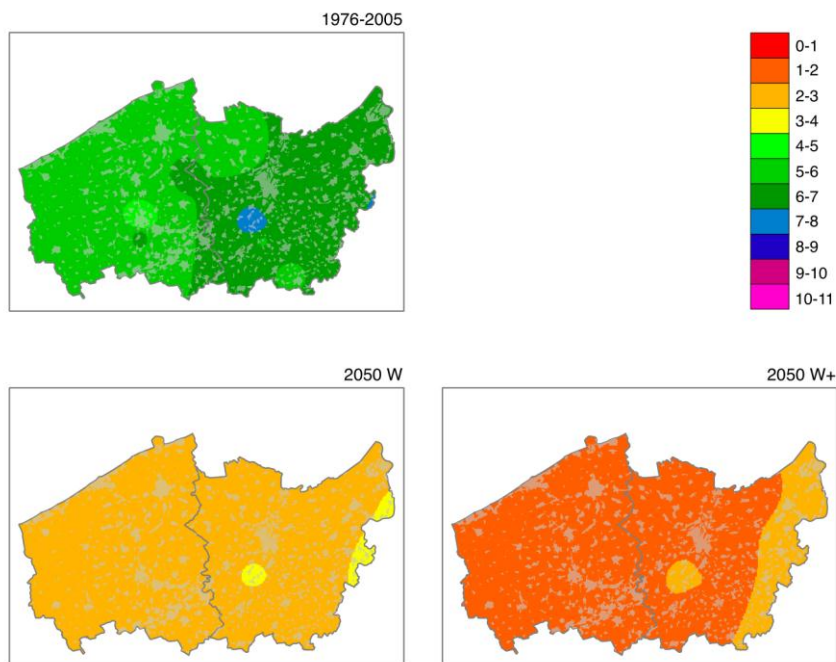
Hittestress treedt vaker op (het aantal tropische dagen met een maximum temperatuur van $\geq 30^{\circ}\text{C}$ stijgt);

Het gras moet vaker gemaaid worden (door de hogere temperatuur begint het gras in het voorjaar weer eerder te groeien, en groeit het in het najaar langer door);

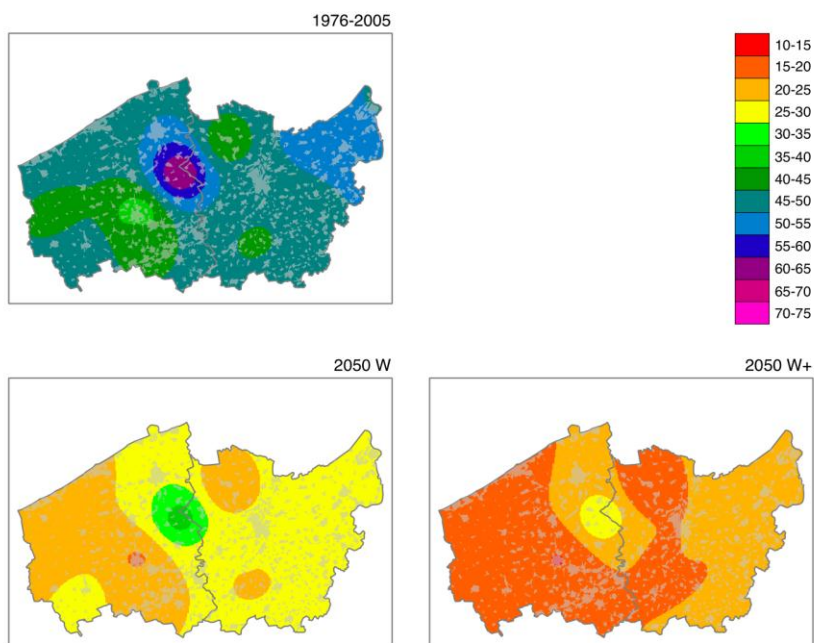
Verwarmingskosten voor woningen gaan omlaag, behoefte aan koeling gaat omhoog;

Toename warmteminnende dier- en plantensoorten, waarvan sommigen schadelijk kunnen zijn (termieten, muggen, ziektes, exoten);

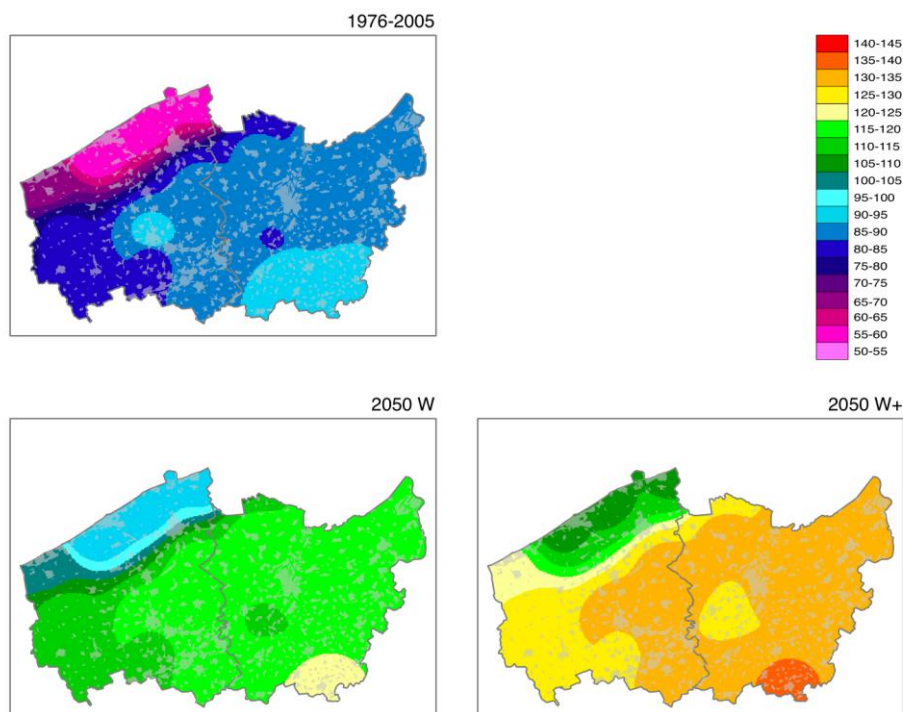
In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.



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).



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/



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).

Ruimtelijke patronen

In het huidige klimaat is het aantal ijsdagen (Figuur 2.1) en vorstdagen (Figuur 2.2) 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). Een opmerkelijke uitzondering is het gebied rondom het meetstation Wingene nabij de grens van de beide provincies. In deze streek is het aantal vorstdagen per jaar bijzonder hoog en vergelijkbaar met wat we in België waarnemen op grote afstand van de kust. Een mogelijke uitleg voor deze afwijking is de zandachtige bodem van de streek (zandachtig Vlaanderen CS) en de ligging midden de bossen van het Houtland. De dichte bosbedekking in deze streek bevordert in de winter negatieve temperaturen tijdens de ochtend. Volgens beide scenario's W en W+ zullen het aantal ijs- en vorstdagen een forse vermindering ondergaan in de toekomst. In het bijzonder wordt het aantal ijsdagen volgens het W+ scenario in de provincie Oost-Vlaanderen verwacht met een factor van meer dan 3 te verminderen met betrekking tot de referentieperiode (Tabel 2.1).

	Ijsdagen		Vorstdagen		Warme dagen		Zomerse dagen		Tropische dagen	
	m	std.afw	m	std.afw.	m	std.afw.	m	std.afw.	m	std.afw.
Referentie	6.4	0.4	48.5	2.8	88.2	3.0	27.3	1.5	4.7	0.3
Scenario W	2.8	0.1	26.8	1.9	117.6	2.0	42.4	1.9	10.2	0.6
Scenario W+	1.9	0.1	20.7	1.5	131.5	1.8	55.0	2.1	16.8	0.8

Tabel 2.1. Regionale temperatuurstatistieken voor Oost-Vlaanderen, m = het gemiddelde; std.afw. = de standaardafwijking

Een andere karakteristiek voor de verwachte klimaatverandering voor de winter temperatuur karakteristieken is de vermindering van hun ruimtelijke variabiliteit die weerspiegeld wordt in de vermindering van hun standaardafwijking over de provincies. Zo wordt voor de provincie West-Vlaanderen voorspeld dat de standaardafwijking van het aantal vorstdagen van 4.4 onder de condities van het huidige klimaat naar 2.3 zal verminderen voor het W+ scenario (Tabel 2.2).

	Ijsdagen		Vorstdagen		Warme dagen		Zomerse dagen		Tropische dagen	
	m	std.afw	m	std.afw.	m	std.afw.	m	std.afw.	m	std.afw.
Referentie	5.5	0.3	47.1	4.4	77.4	11.1	21.8	5.0	3.6	1.0
Scenario W	2.4	0.1	25.2	2.9	109.0	9.0	35.1	6.6	8.1	2.1
Scenario W+	1.6	0.1	19.3	2.3	124.8	7.9	47.2	7.3	13.0	3.5

Tabel 2.2. Regionale temperatuurstatistieken voor West-Vlaanderen, m = het gemiddelde; std.afw. = de standaardafwijking

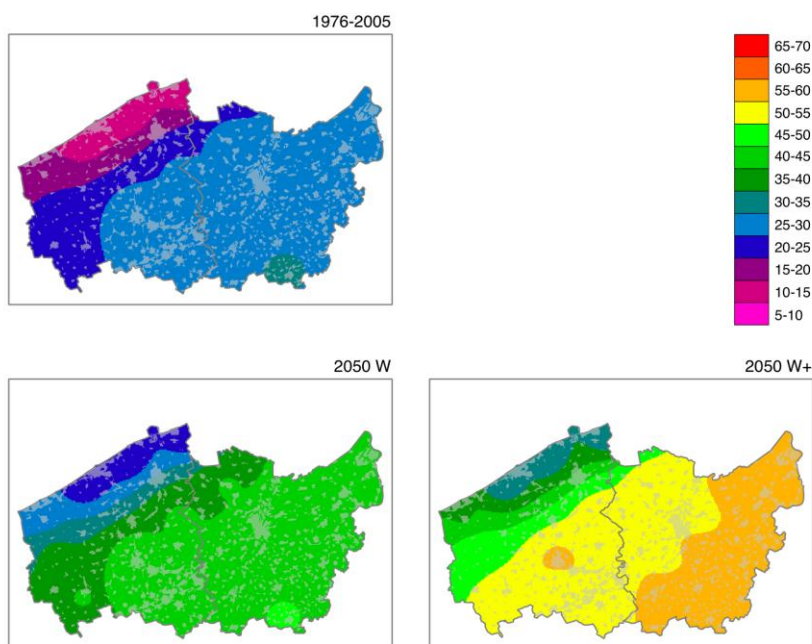
Aangaande de zomerextremen die uitgedrukt worden in karakteristieken zoals aantal warme, zomerse en tropische dagen wordt een algemene toename verwacht voor beide provincies. In de corresponderende kaarten (Figuren 2.3, 2.4 en 2.5) wordt waargenomen dat het kusteffect zwakker is voor warme dagen en heviger voor zomerse en tropische dagen onder de scenario's W en W+. Dit wordt terug weerspiegeld in de verandering van de ruimtelijke standaardafwijking over de beide provincies: vermindering van het aantal warme dagen en toename voor het aantal zomerse en tropische dagen. De reden voor deze verschillen in de verandering van de zomer temperatuur karakteristieken zou kunnen toegeschreven worden aan een aantal meteorologische condities. Bijvoorbeeld, het overschrijden van 20°C in een warmer maritiem klimaat kan gemakkelijk verwezenlijkt worden met een wolkendek dat resulteert in een meer homogeen temperatuurveld. Anderzijds noodzaakt het overschrijden van 30°C meestal zonneshijn. In combinatie met veranderde circulatiepatronen die warmere lucht van Centraal Europa aanvoeren (W+ scenario) zal dit gepaard gaan met een significante opwarming van de oostelijke gebieden van de provincies.

Winterkou

De KNMI'06 scenario's geven aan dat zowel de gemiddelde wintertemperatuur als de extreme lage wintertemperaturen gaan stijgen. De G+ en W+ scenario's geven zelfs een sterkere stijging van de extreem lage wintertemperaturen. Dit vinden we terug in een afname van het aantal ijsdagen (aantal dagen waarop het de hele dag vriest). Voorbeeld: In de huidige situatie heeft Eeklo 5 ijsdagen. Voor 2050 varieert dit aantal van 1 tot 3 dagen.

Extreme hitte

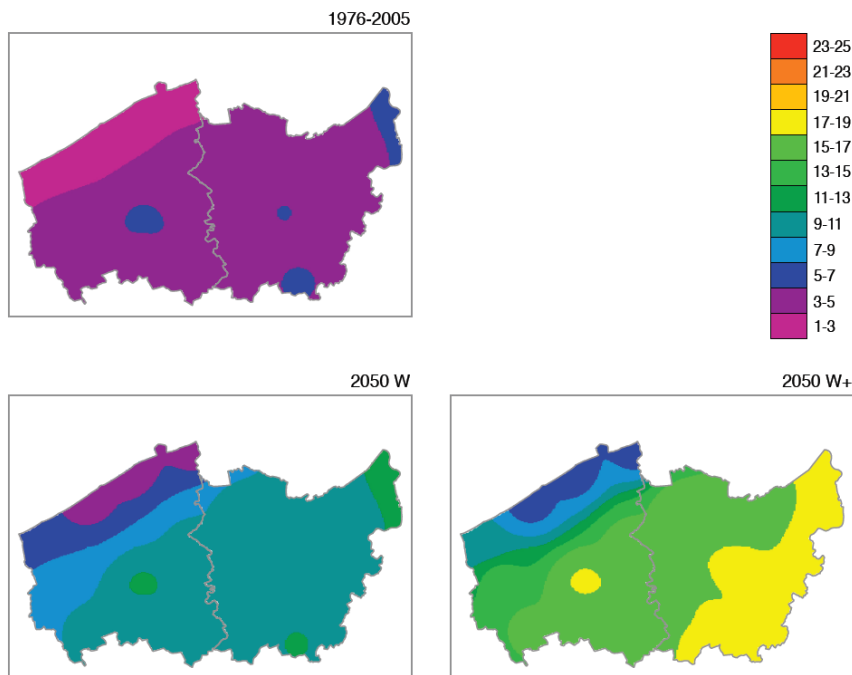
De klimaatscenario's geven aan dat zowel de gemiddelde zomertemperatuur als de warmste zomerdag per jaar warmer worden. Voor de G en W scenario's zijn deze veranderingen ongeveer even groot als de wereldwijde temperatuurstijging. Maar met name in de G+ en W+ scenario's zal de warmste zomerdag een stuk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



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/.

Wordt de zomer van 2003 normaal rond 2050?

De zomer van 2003 was erg warm en droog. In Europa vielen vele doden 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 in Eeklo $17,3^{\circ}\text{C}$. In 2003 was de gemiddelde temperatuur in Eeklo $19,5^{\circ}\text{C}$, ruim 2°C hoger dan normaal. Rond 2050 verwachten de W en W+ scenario's een gemiddelde zomertemperatuur van $19,1$ en $20,1^{\circ}\text{C}$. Met andere woorden, de zomer van 2003 zou rond 2050 vrij normaal kunnen zijn.



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).

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

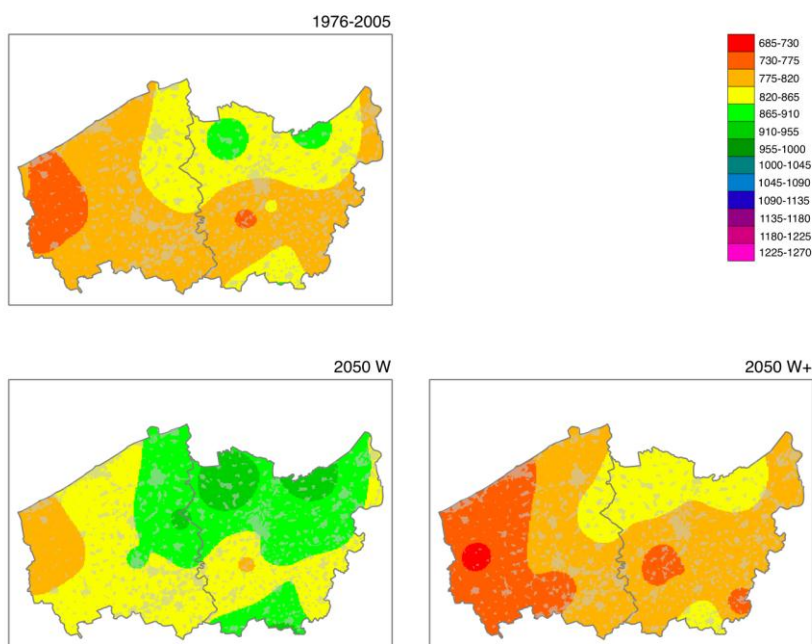
De herfst van 2006 en de winter van 2006/2007 waren erg warm. De bomen bleven lang groen en men kon tot laat in het najaar zonder jas op een terras zitten. In Eeklo was de gemiddelde herfsttemperatuur in 2006 14.1°C , tegen 11.2°C normaal en de gemiddelde wintertemperatuur in 2006/2007 was 6.7°C , tegen 3.9°C normaal. Dit is echter 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.



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

2.4 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;
In alle KNMI'06 scenario's neemt de extreme neerslag toe;
Een afname van het aantal regenachtige dagen (minimaal 1 mm);
Een toename van het aantal hevige neerslagdagen (minimaal 15 mm).



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).

2.4.1 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 af (het sterkst in de zomer). Gemiddeld gezien over alle modelprojecties die het IPCC presenteert, krijgen de provincies West- en Oost-Vlaanderen te maken met een lichte afname in de zomer en een toename in de winter. In de zomer liggen de provincies West- en Oost-Vlaanderen 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 de provincies West- en Oost-Vlaanderen 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 van de atmosfeer niet veranderen) neemt de neerslag in de provincies West- en Oost-Vlaanderen 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).

In het bijzonder is het klimaatsignaal niet duidelijk wat betreft de gemiddelde jaar- en seizoensneerslag (zie Figuren 2.6, 2.7 en 2.8 en de Tabellen 2.3 en 2.4). Volgens scenario W nemen de jaarlijkse en de zomerse neerslagtotalen toe. Nochtans voorspelt het W+ scenario ook een afname in beide gevallen.

	Gem. neerslag (in mm, jaar)	Gem. neerslag (in mm, winter)	Gem. neerslag (in mm, zomer)	Aantal dagen \geq 1 mm (jaar)	Aantal dagen \geq 15 mm (jaar)	Aantal dagen \geq 15 mm (winter)	Aantal dagen \geq 15 mm (zomer)
Referentie	799.0	418.7	379.1	132.9	8.8	4.2	4.6
Scenario W	849.4	448.3	401.1	128.5	11.3	5.3	6.1
Scenario W+	778.9	453.3	325.7	121.7	9.7	5.3	4.4

Tabel 2.3. Regionale neerslagstatistieken voor West-Vlaanderen.

	Gem. neerslag (in mm, jaar)	Gem. neerslag (in mm, winter)	Gem. neerslag (in mm, zomer)	Aantal dagen \geq 1 mm (jaar)	Aantal dagen \geq 15 mm (jaar)	Aantal dagen \geq 15 mm (winter)	Aantal dagen \geq 15 mm (zomer)
Referentie	826.8	430.7	396.0	136.6	9.2	4.2	5.0
Scenario W	880.2	461.3	418.9	132.2	11.8	5.4	6.4
Scenario W+	808.2	467.6	340.6	125.2	10.2	5.5	4.7

Tabel 2.4. Regionale neerslagstatistieken voor Oost-Vlaanderen.

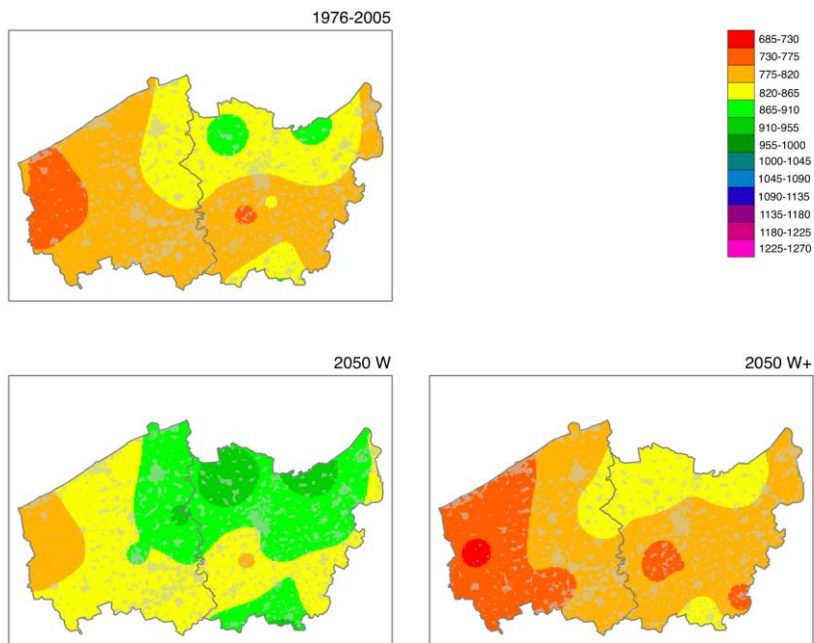
De veranderingen zijn echter duidelijker voor het gemiddelde winter neerslagtotaal aangezien beide scenario's een toename voorspellen (Figuur 2.7). Dit kan door een warmer klimaat verklaard worden dat in het algemeen gepaard gaat met een neerslagtoename op hogere breedteligging, en aan de verandering in de luchtstromingspatronen die de warmere zuidwesten winden versterken in de winter.

Deze klimaatverandering projecties worden vergeleken met de voorspelde verandering in het gemiddeld aantal regenachtige dagen per jaar, wat een maatstaf is voor de regenachtigheid in een bepaalde regio (Figuur 2.9 en Tabellen 2.3 en 2.4). Beide scenario's (W en W+) voorspellen een kleine vermindering (ongeveer 3% en 8% respectievelijk) van deze maat.

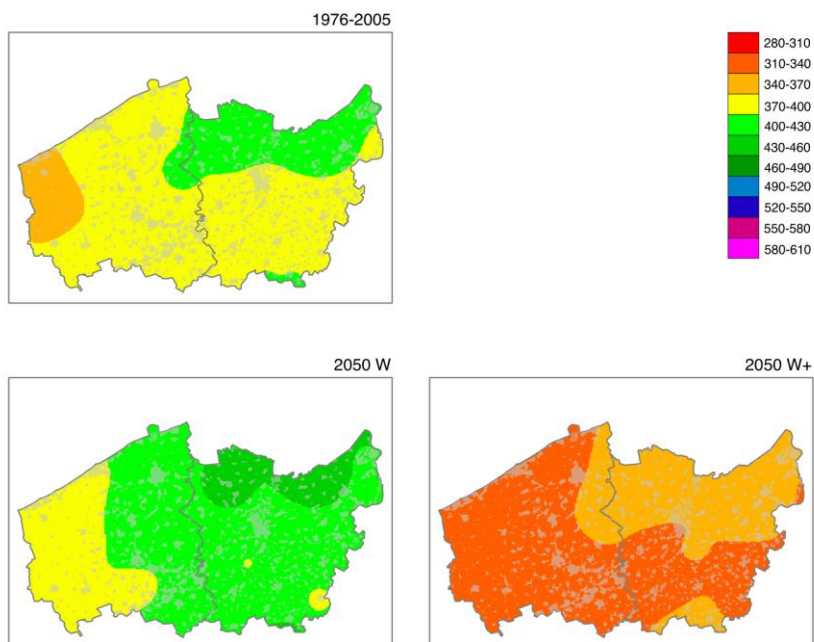
Ruimtelijke patronen

De grootste jaarlijkse neerslaghoeveelheden zijn gelokaliseerd in het noorden van de twee provincies en in het heuvelachtig gedeelte van Oost-Vlaanderen (Figuur 2.6). De voorspelde veranderingen zijn vrij gelijklopend voor beide provincies en de ruimtelijke variabiliteit wordt verondersteld niet veel te veranderen (Tabellen 2.3 en 2.4).

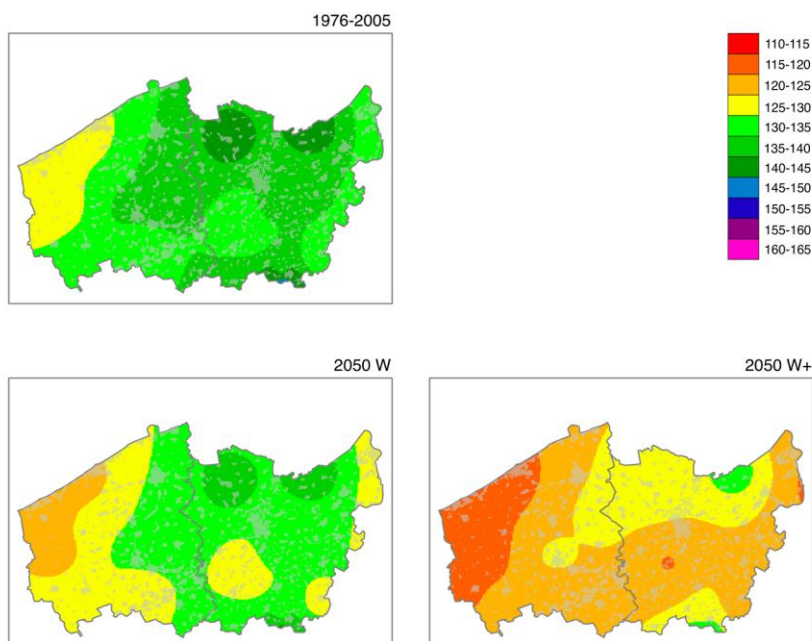
De hoogste winterneerslag wordt ook waargenomen in dezelfde gebieden en de klimaatverandering voor deze factor is gelijklopend voor beide provincies. Hetzelfde geldt voor de zomerneerslag. Het verschil is dat men een verhoogde winterneerslag kan verwachten, terwijl de verandering in zomerneerslag niet onmiddellijk duidelijk is (positief voor W en negatief voor W+). Het gemiddeld aantal regenachtige dagen wordt ook verondersteld homogeen te veranderen, in dit geval een vermindering, over de twee provincies heen.



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).



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).



Figuur 2.9 Kaarten met het gemiddelde aantal regenachtige dagen per jaar (1mm of meer) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+ -scenario (rechtsonder).

2.4.2 Extreme neerslag

Toekomstige trends

Het jaarlijkse aantal hevige neerslagdagen verhoogt onder de toekomstige KNMI'06 klimaatscenario's, en dit met een grotere toename voor het W scenario. In de winter is het ruimtelijke gemiddelde over beide provincies van het aantal hevige neerslagdagen nagenoeg hetzelfde voor beide scenario's (Tabellen 2.3 en 2.4). In de zomer is dit minder duidelijk: er wordt echter een toename voorspeld onder het W scenario. Extreme neerslag wordt meestal geassocieerd met zomerstormen en met winter frontale activiteit. De jaarlijkse toename in het W scenario, vergeleken met het W+ scenario, is duidelijk te wijten aan de verandering van neerslag in de zomer. Deze neemt toe in het W scenario en neemt af in het W+ scenario.

Ruimtelijke patronen

De verdeling van de jaarlijkse hevige neerslagdagen over de twee provincies is redelijk homogeen onder de huidige klimaatvoorwaarden, met gemiddeld 7 à 10 maal per jaar. De toename, voorspeld in het W scenario, zal deze homogeniteit behouden, zoals gezien kan worden in Figuur 2.10, en zal stijgen tot 10 à 13 maal per jaar. In het W+ scenario wordt dit gebied in twee delen gesplitst, een noordelijk gedeelte met meer frequente extreme neerslag, en een zuidelijk gedeelte waar het aantal dagen overwegend bijna onveranderd blijft (zie paragraaf 2.1 voor verklaring lokale verschillen op kaarten).

Gedurende de winter wordt het aantal hevige neerslagdagen verwacht toe te nemen. Scenario's W en W+ voorspellen vrijwel dezelfde verandering (Figuur 2.11 en Tabellen 2.3 en 2.4).

De situatie in de zomer is echter verschillend. Onder het huidige klimaat zijn de hevige neerslagdagen frequenter in de noordelijke en de noordoostelijke gedeeltes van de provincie Oost-Vlaanderen met 5 à 7 dagen in plaats van 3 à 5 voor de rest van de provincies. De twee scenario's beschrijven twee verschillende mogelijkheden: ofwel een uitbreiding van het gebied met hogere frequentie tot overal in de provincies (W scenario), ofwel een toenemende verkleining van het gebied tot vrijwel een volledige

verdwijning ervan (W+ scenario). Er is geen verschil tussen beide scenario's in de ruimtelijke variabiliteit van het aantal hevige neerslagdagen (Figuur 2.12 en Tabellen 2.3 en 2.4).

Op dit moment vindt bij het KMI een analyse plaats van seizoensgebonden extreme waarden van neerslag, zoals het noodweer dat recentelijk leidde tot het drama op Pukkelpop.

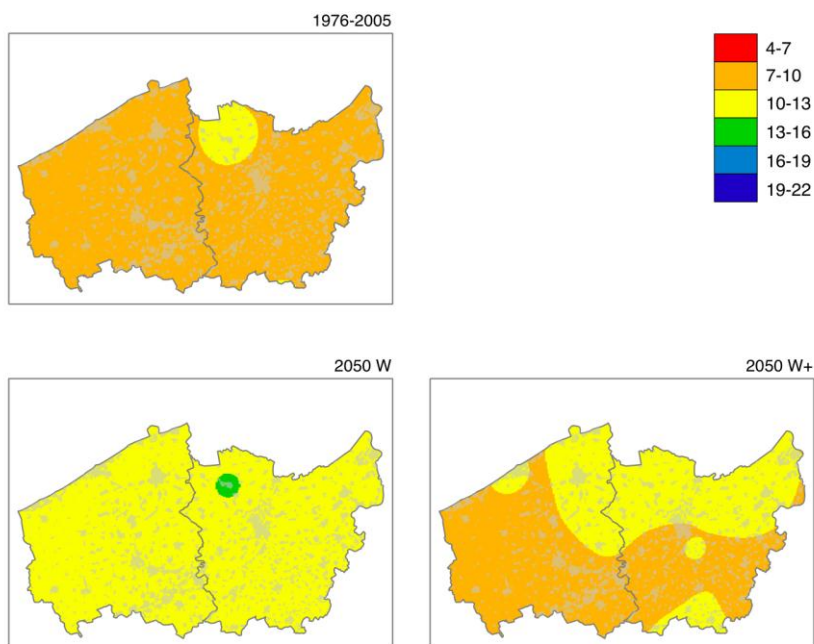
Het is bekend dat in België de hoogteligging de belangrijkste factor is voor ruimtelijke verschillen in neerslag. Voor deze reden kunnen de gegevens in Ukkel niet gebruikt worden over gans Vlaanderen. Ruimtelijke modellen geven aan dat er in laag gelegen gebieden eens per 10 jaar meer dan 56 mm neerslag in 24 uur valt in het huidige klimaat (68 stations over de periode 1951—2010, Van de Vyver, 2011b). Op het hoogste punt in Vlaanderen (156 meter) is deze hoeveelheid 61 mm. We kunnen dus stellen dat de verschillen in de extremen van de dagsommen hoogstens 13% bedragen. In het huidige klimaat valt gemiddeld eens per 10 jaar een 10-daagse som van minstens 112 en 132 mm neerslag in respectievelijk het laagste en hoogste punt in Vlaanderen. De hoogste 10-daagse neerslagsommen worden meestal niet in de wintermaanden behaald. In de toekomst neemt deze extreme 10-daagse neerslagsom toe, maar een schatting van de toekomstige waarden is moeilijk te maken.

Enkele voorbeelden van wat dit 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+ hoeven mensen 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.

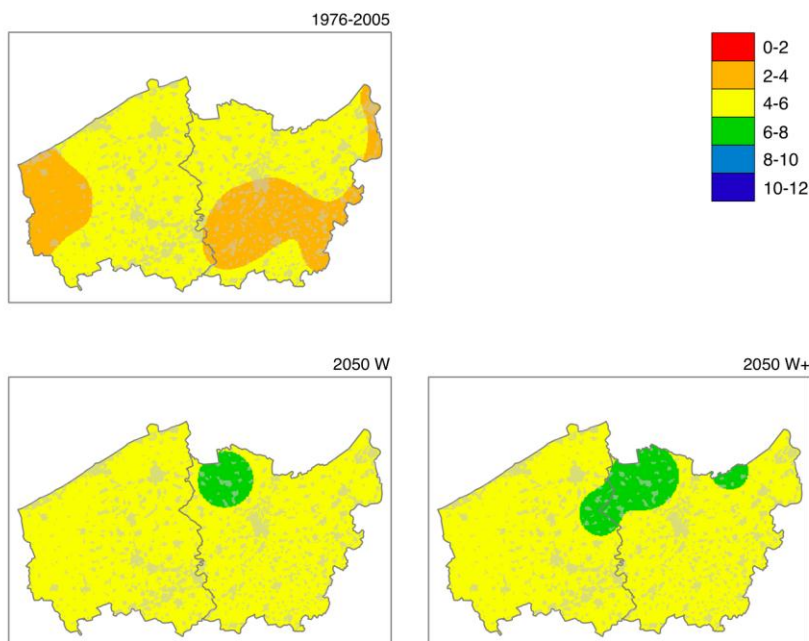


Figuur 2.10 Kaarten met het gemiddelde aantal hevige neerslagdagen per jaar (15 mm of meer) in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+ -scenario (rechtsonder).

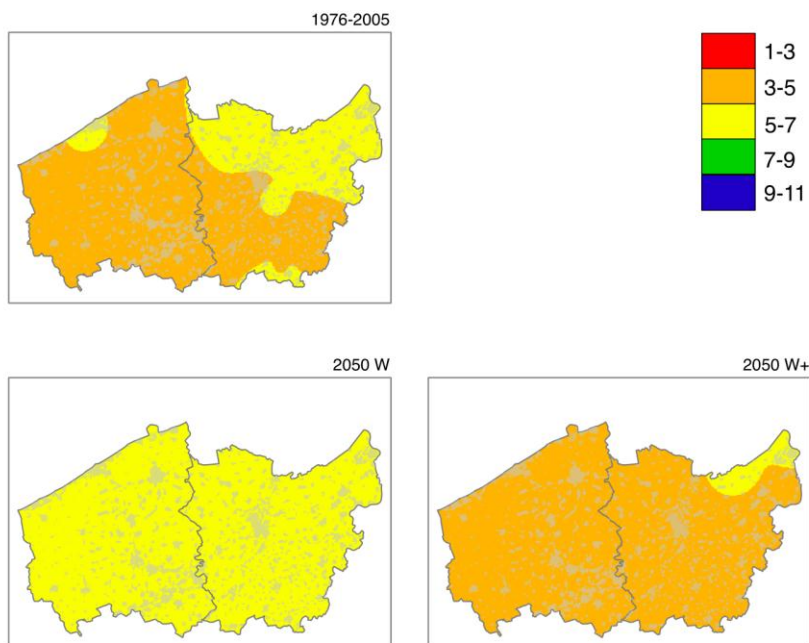
Wordt augustus 2006 normaal rond 2050?

Augustus 2006 was een erg natte maand na een erg warme maand juli. De gemiddelde neerslag in augustus in Ukkel in de periode 1901-2000 ligt rond de 70 mm. In augustus 2006 bedroeg de maandsom 202,3 mm en werd deze maand qua neerslaghoeveelheid slechts overtroffen door augustus 1996 met een totaal van 231,2 mm.

De KNMI'06 scenario's laten geen sterke toename zien van de gemiddelde neerslag in de zomer, en één scenario laat 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 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per winter halfjaar 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).

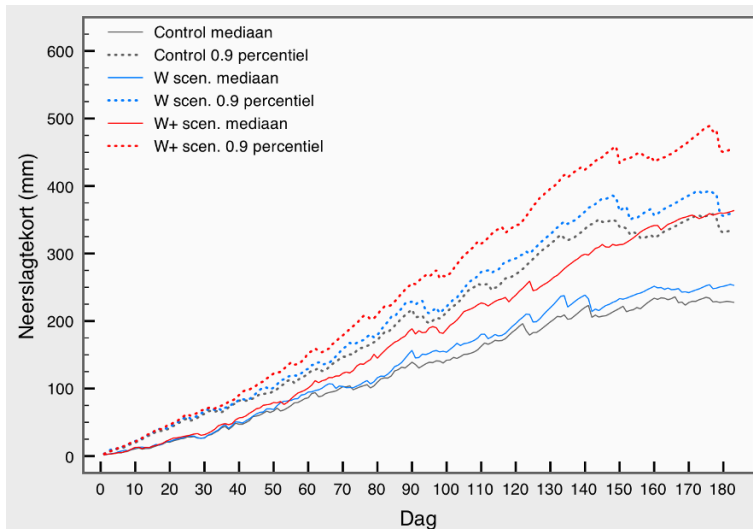


Figuur 2.12 Kaarten met het gemiddelde aantal dagen per zomer halfjaar met 15 mm of meer neerslag in het huidige klimaat (boven; 1976-2005), en rond 2050 voor het W-scenario (linksonder) en het W+-scenario (rechtsonder).

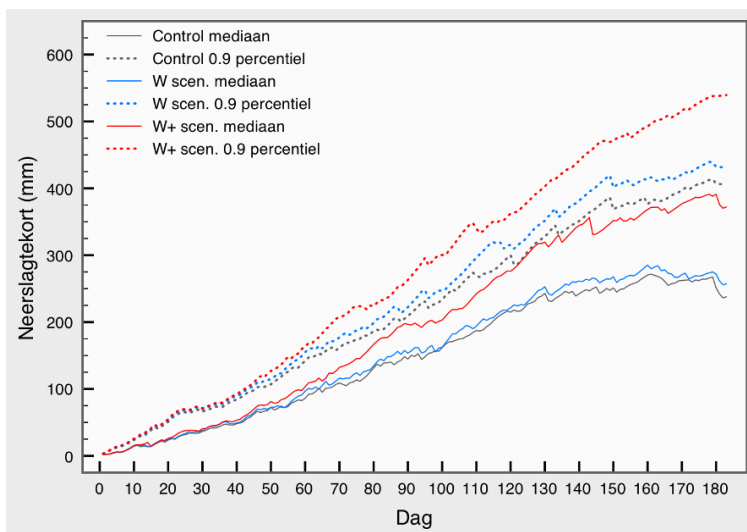
2.5 Neerslagtekort

Het neerslagtekort wordt hier gedefinieerd als het cumulatieve verschil van de berekende potentiële verdamping min de gemeten neerslag ($D = E - P$). Op het KMI wordt de potentiële verdamping berekend volgens een Penman-formule (Penman, 1948; Bleiman, 1976; Bultot, Coppens & Dupriez, 1983; Gellens-Meulenberghs & Gellens, 1992) op basis van temperatuur, straling en windsnelheid. In deze studie wordt de potentiële verdamping van een vrij wateroppervlak gebruikt. 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. Het neerslagtekort wordt berekend voor de periode van 1 april tot en met 30 september en komt overeen met de hydrologische zomer en het groeiseizoen van planten en is dus geschikt voor toepassingen in landbouw en ecosystemen.

De sommiering van de dagelijkse verschillen loopt in ons geval over het volledige groeiseizoen (1 april – 30 september), en wordt de volgende regel in acht genomen: wanneer de waarde van de cumulatieve som negatief is (door de grote neerslagwaarde en/of de lage verdampingswaarde) wordt deze gelijk gesteld aan nul. Deze berekening wordt uitgevoerd in het huidige klimaat (1976-2005) en voor de scenario's W en W+ (2036-2065), en dit voor de drie locaties: Koksijde, Melle en Ukkel. De mediaan en het 90-percentiel van de output zijn per station grafisch voorgesteld in figuren 2.13 - 2.15.

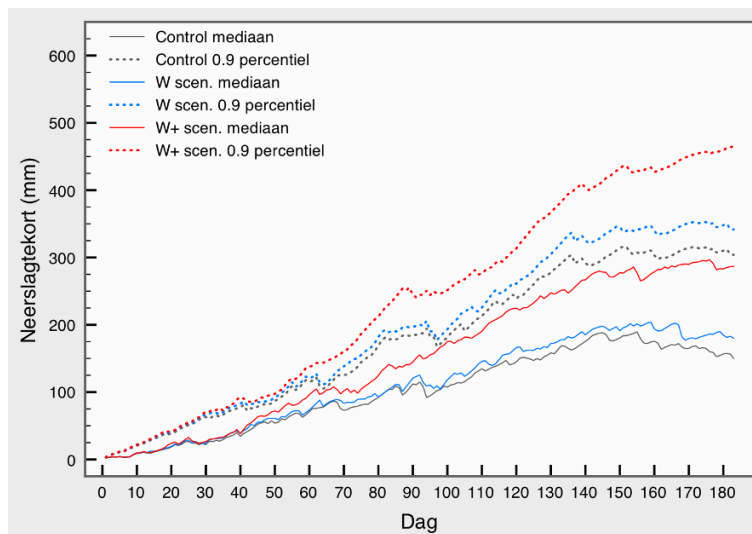


Figuur 2.13 Neerslagtekort te Koksijde berekend in het groeiseizoen april tot en met september. De continue lijnen stellen de medianen voor en de stippellijnen de 90-percentielen van de controleperiode (1976-2005) en de W en W+ scenario's⁴



Figuur 2.14 Neerslagtekort te Melle berekend in het groeiseizoen april tot en met september

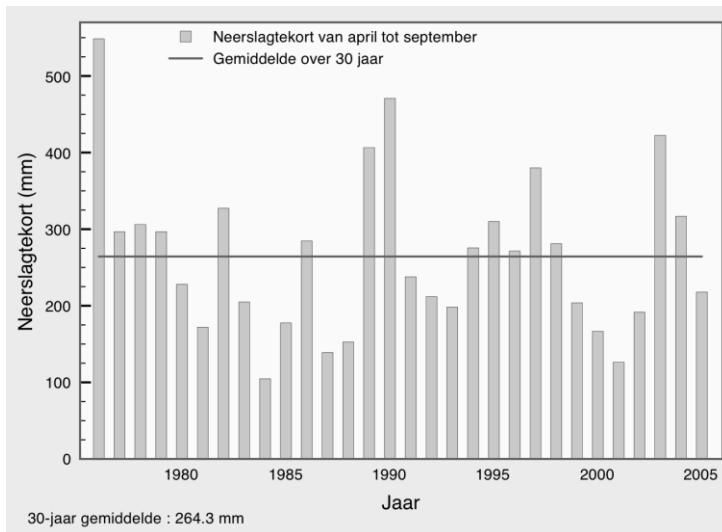
⁴ Mediaan: het midden van een verdeling of gegevensverzameling. 90 percentiel: het getal zodanig dat 90% van de data kleiner is of eraan gelijk, en dus 10 % groter of eraan gelijk. Control (controleperiode): de observaties gedurende de periode 1976–2005.



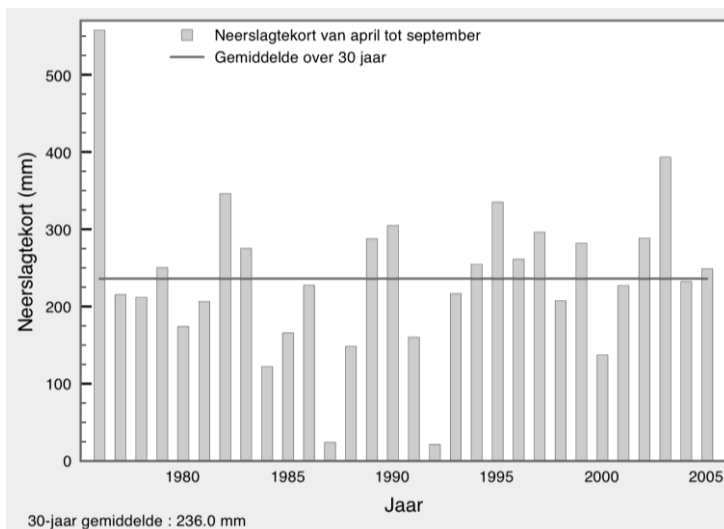
Figuur 2.15 Neerslagtekort te Ukkel berekend in het groeiseizoen april tot en met september

Toekomstige trends en ruimtelijke patronen

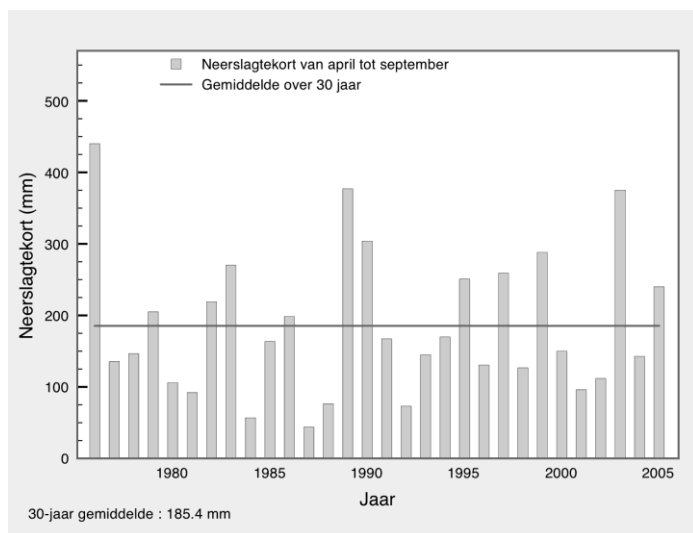
In het huidige klimaat daalt het neerslagtekort van de kust (Koksijde) naar het binnenland (Ukkel), waarbij het station Melle een tussenpositie heeft. Dit wordt duidelijker in de figuren 2.16-2.18 waarbij de gemiddelden over de referentieperiode voor het neerslagtekort als volgt zijn: 264.3 mm voor Koksijde, 236.0 mm voor Melle en 185.4 mm voor Ukkel. In figuren 2.13-2.15 zien we dat de mediaan van het W scenario zeer dicht bij de controleperiode (1976-2005) ligt voor de drie stations die bestudeerd werden (zie p26 voor toelichting mediaan, controleperiode en 90-percentiel). Dit is echter niet zo verwonderlijk indien wij de zomerneerslagkaarten bekijken. In het W scenario wordt een toename van de neerslag verwacht die gecompenseerd wordt door een toename van temperatuur en dus van verdamping. Dit leidt tot waarden die dicht bij die van de controleperiode liggen. Aan de andere kant wordt in het W+ scenario een grote toename van de mediaan van het neerslagtekort verwacht die het gevolg is van een combinatie van een verminderde neerslag en een verhoging van de temperatuur uit de controle periode. Dezelfde kwantitatieve vergelijking en veranderingen gebeuren in het geval van de 90-percentiel in het W scenario hoewel dit laatste relatief meer afwijkt van de 90-percentiel van de controle periode dan de overeenkomstige medianen. Een interessante vaststelling in de figuren 2.13-2.15 is de nabijheid van het 90-percentiel van de controle periode en de W+ scenario mediaan. Dit betekent dat wat hedendaags als een grote droogte met een frequentie van één keer in de tien jaar gemiddeld als een gewone gebeurtenis zal beschouwd worden onder de klimaatcondities van W+.



Figuur 2.16 Jaarlijkse neerslagtekorten te Koksijde tijdens het groeiseizoen april tot en met september voor de controle periode (1976-2005)



Figuur 2.17 Idem als in Figuur 16 voor Melle



Figuur 2.18 Idem als in Figuur 16 voor Ukkel

Figuren 2.16 -2.18 tonen aan dat de jaarlijkse neerslagtekorten heel veranderlijk kunnen zijn. Het droogste jaar voor de drie stations was 1976, terwijl het jaar 1987 het natste was voor Ukkel en één van de natste in Melle en Koksijde. Opmerkelijk is ook de zeer lage waarden voor het neerslagtekort in 1987: 24.3 mm (Melle) en 44.0 mm (Ukkel).

Tabel 2.5 geeft de neerslag en de potentiële verdamping voor de drie stations in het jaar 1987. In Melle is het verschil tussen deze inderdaad zeer klein wat reeds in figuur 2.17 opgemerkt werd. Dit extreme gedrag induceert een andere kijk op hetzelfde probleem: het vergelijken van het neerslagtekort voor de extreme jaren met de mediaan en het 90-percentiel. Deze vergelijking wordt grafisch voorgesteld in figuren 2.19-2.21. Zoals verwacht wordt, en ondanks de fluctuaties in het begin van het groeiseizoen zijn de mediaan en het 90-percentiel bevat in het gebied gedefinieerd door de twee extremen. Van belang is de vergelijking tussen de figuren 2.19-2.21 met de figuren 2.13-2.15. We nemen inderdaad waar dat het 90-percentiel in het scenario W+ niet ver weg is van het extreem droge jaar 1976. De waarden worden gegeven in tabel 2.6. Voor twee van de drie stations zijn de W+ 90-percentielen en de waarden van 1976 zeer dicht bij elkaar. Dit betekent dat het uitzonderlijk droog jaar 1976 gemiddeld één keer per tien jaar zal voorkomen onder het W+ scenario.

Station	Neerslag (P) in mm	Verdamping (E) in mm	E - P
Koksijde	437.5	574.9	137.4
Melle	480.2	486.3	6.1
Ukkel	468.4	504.9	36.

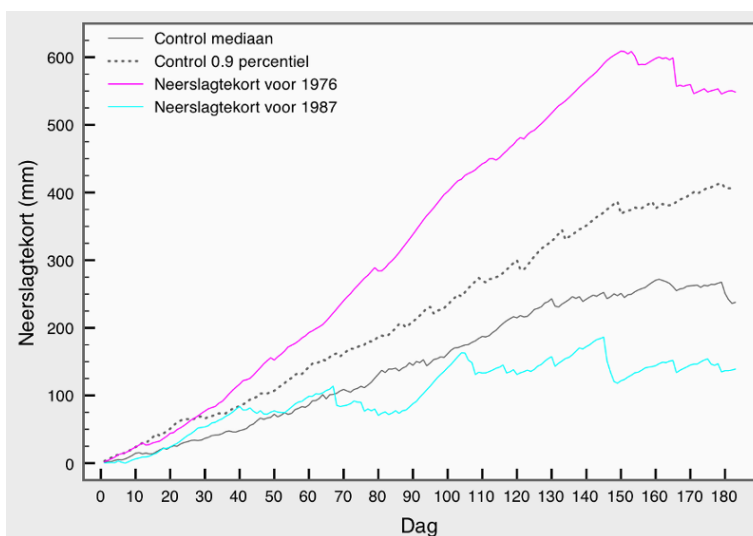
Tabel 2.5. Waarden van de neerslag en de potentiële verdamping voor het jaar 1987 voor drie Belgische stations (totalen over het groeiseizoen)

	Koksijde	Melle	Ukkel
90-percentiel: W+	539.4 mm	455.3 mm	465.2 mm
90-percentiel: 1976	548.6 mm	557.6 mm	440.2 mm

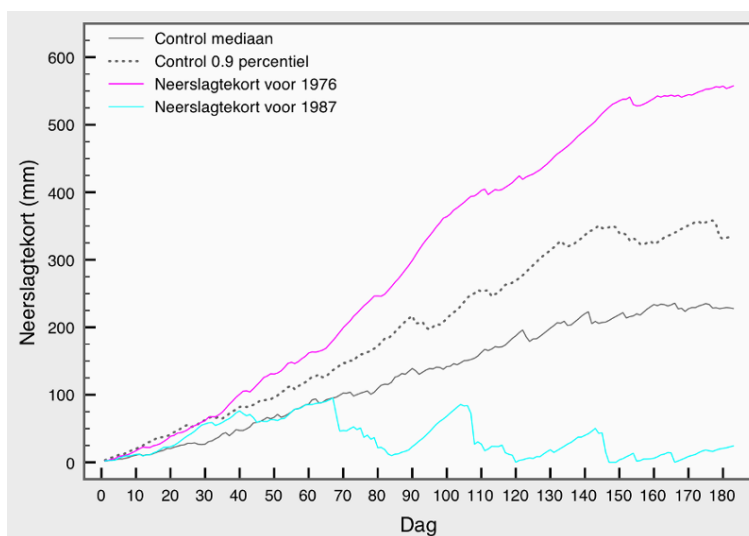
Tabel 2.6. Neerslagtekorten van de 90-percentielen onder het scenario W+ vergeleken met het neerslagtekort van 1976

	1901-2005	W scenario	W+ scenario
Gemiddeld neerslagtekort (in mm)	89.0	201.5	313.8
Herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (jaren)	11.7	3.0	1.4

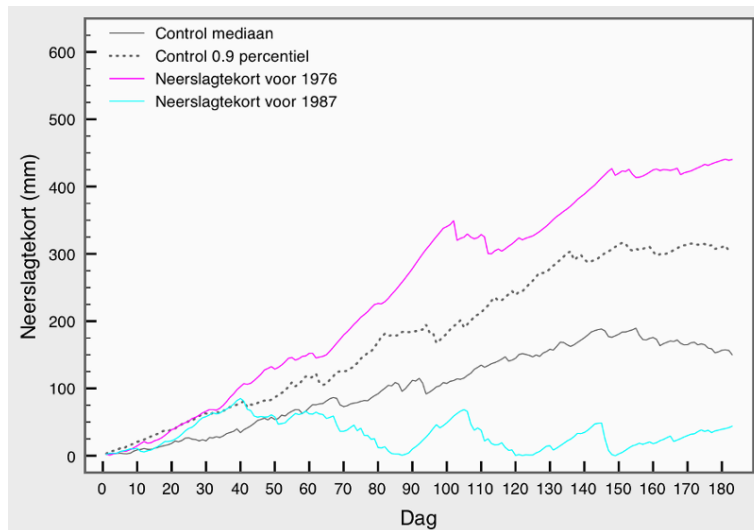
Tabel 2.7 Gemiddeld maximale neerslagtekort in de huidige situatie en in de twee KNMI'06 scenario's rond 2050, en de verandering in herhalingstijd voor een neerslagtekort zoals in 2003 (Ukkel weerstation)



Figuur 2.19 De neerslagtekorten voor de extreme droge en natte jaren 1976 en 1987 vergeleken met de mediaan en het 90-percentiel van de referentie periode (1976-2005) te Koksijde



Figuur 2.20 Idem als in Figuur 19 voor Melle



Figuur 2.21 Idem als in Figuur 2.19 voor Ukkel.

Enkele voorbeelden van wat dit kan betekenen:

In het geval van de scenario's G+ en W+ is de kans op een uitgedroogde tuin groter (neerslagtekort neemt flink toe)

Het water in sloten en vijvers staat in de zomer lager (vooral in de G+ en W+ klimaatscenario's, tenzij het grondwater kunstmatig op peil wordt gehouden).

In hoofdstuk 3 wordt meer informatie gegeven over secundaire effecten.

2.6 Zonneschijn

Klimaatverandering heeft voor zonneschijn de volgende gevolgen:

In het winterhalfjaar worden geen grote veranderingen in uren zonneschijn verwacht;

In het zomerhalfjaar kan het aantal uren zonneschijn toenemen of gelijk blijven;

De gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid globale straling is langs de kust hoger dan landinwaarts.

Toekomstige trends

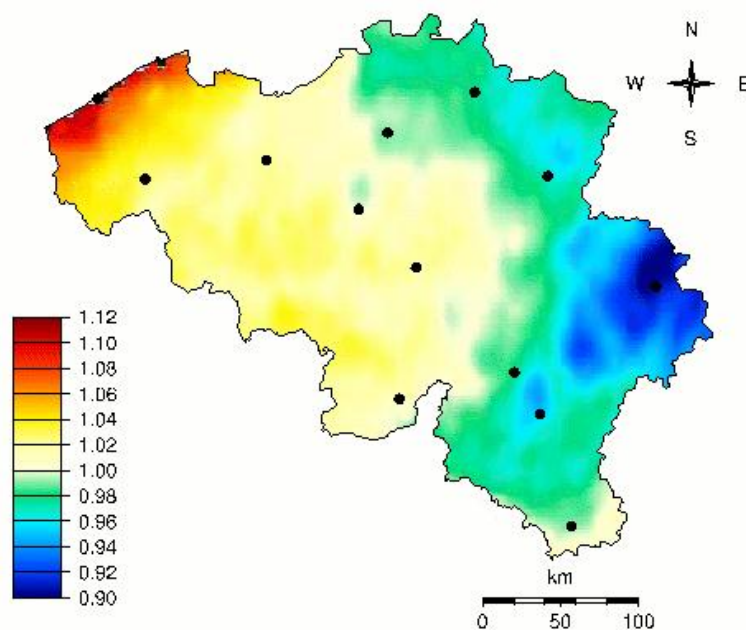
De KNMI'06 klimaatscenario's geven geen informatie over de mogelijke veranderingen in de zonneschijnduur. Volgens de mondiale klimaatmodellen die voor het vierde Assessment Report van het IPCC worden gebruikt, ligt Vlaanderen in het overgangsgebied tussen Zuid-Europa, waar de bewolgingsgraad afneemt,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

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.

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). We verwachten daarom weinig verandering in het aantal zonneschijnuren. In de G+ en W+ scenario's neemt het aantal regendagen in de zomer aanzienlijk af (-10% tot -19% tot 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990), en verwachten we een toename van het aantal uren zonneschijn.

Ruimtelijke patronen

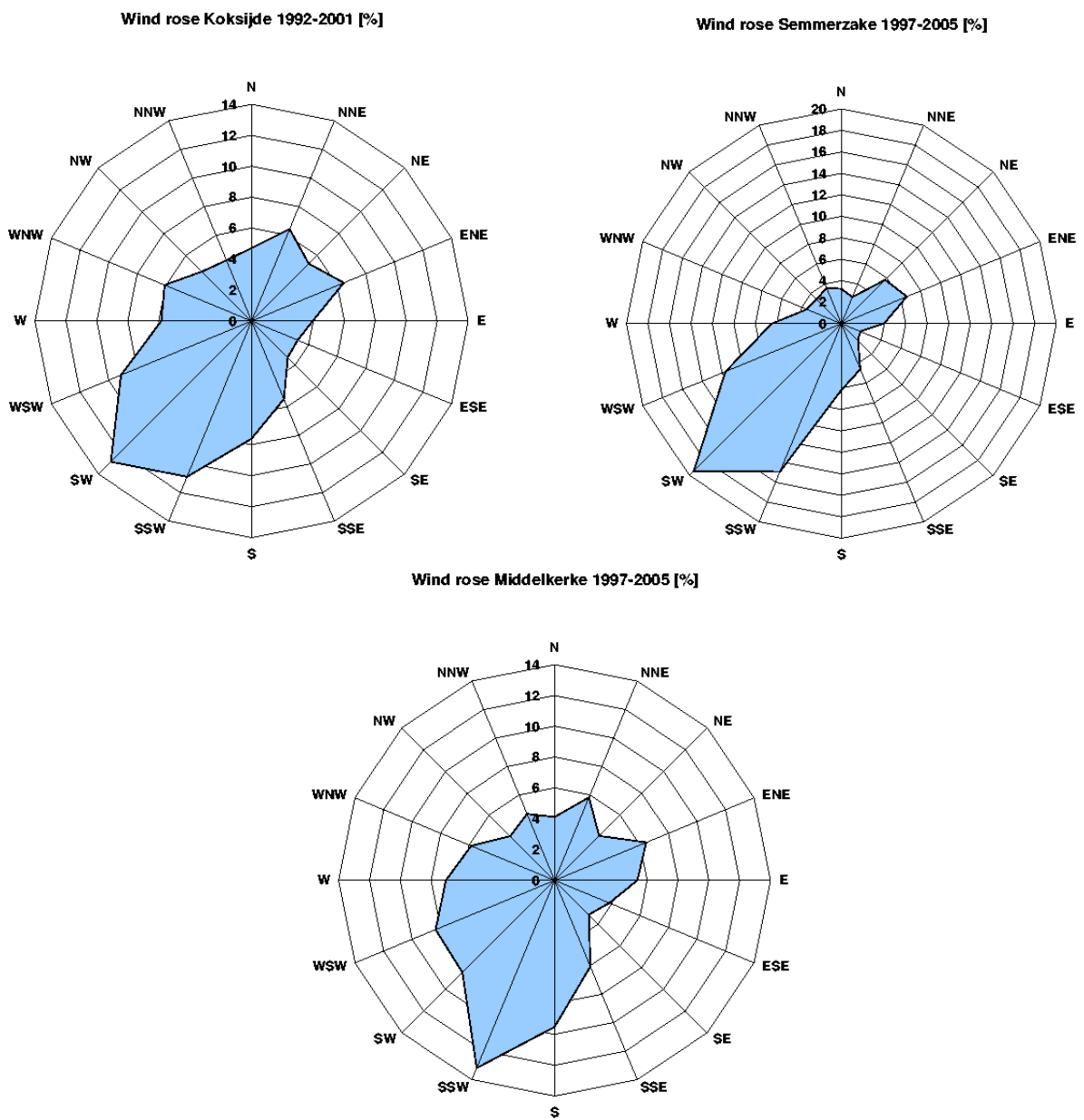
Het ruimtelijke patroon over België van de globale straling op jaarbasis is weergegeven in figuur 2.22 (Journée & Bertrand, 2010). In de toekomst zullen deze ruimtelijke patronen weinig veranderen.



Figuur 2.22 Jaarlijkse globale straling in de huidige situatie. Het referentiestation in Ukkel had in 2009 een jaarlijkse straling van 1083 kWh/m^2 gemeten.

2.7 Wind

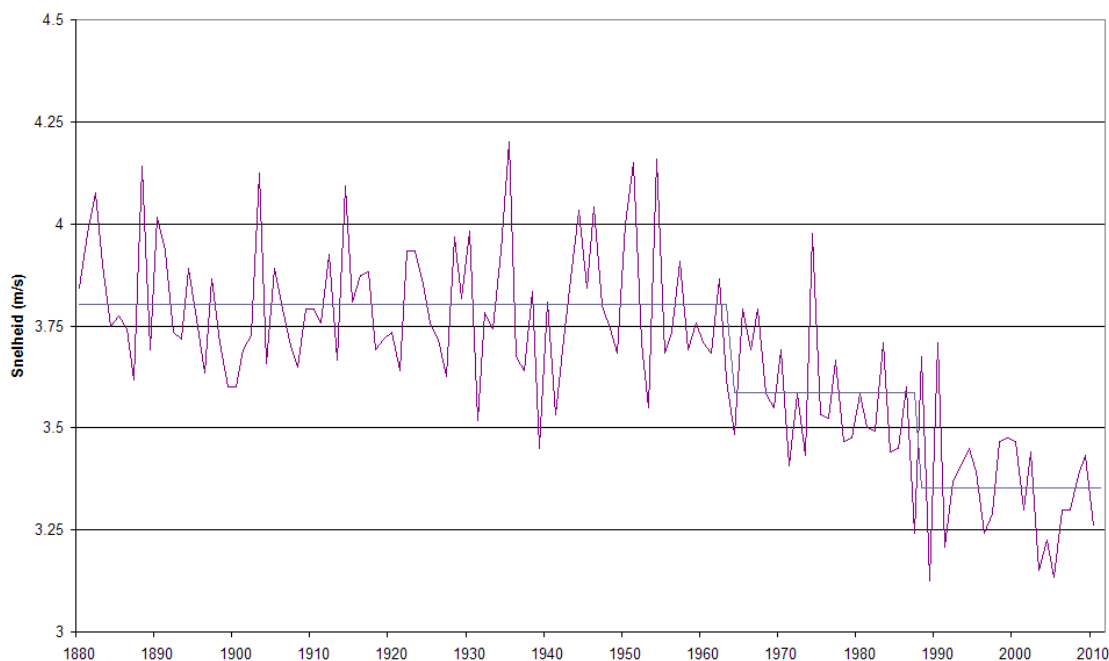
Klimaatverandering heeft voor wind de volgende gevolgen:
Veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke jaar-op-jaar variatie;
De gemiddelde windsnelheid in de winter is hoger dan in de zomer;
De gemiddelde windsnelheid is langs de kust groter dan landinwaarts.



Figuur 2.23 Overzicht van een windrozen ([%] in 12 richtingen) voor stations in Koksijde, Semmerzake en Middelkerke

Toekomstige trends

Uit metingen blijkt dat de windsnelheid tot 1960 redelijk stabiel is gebleven, maar sindsdien afgenomen is met 10 % (zie figuur 2.24). Een blik op het jaarlijks aantal dagen met windstoten van meer dan 70 km/u in de periode 1940-2007 leert dat er geen toename te noteren valt (zie figuur 2.25). 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 België van de verschuiving van de stormbanen is beperkt omdat de stormbaan boven België 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 4de Assessment report van het IPCC (2007), is er voor twee scenario's (W+ en G+) een lichte toename in de hoogste daggemiddelde windsnelheid (deze treedt 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 (< 1% tot 2050). Anderzijds blijkt uit de simulaties van CCI-HYDR (Baguis et al., 2009) dat de windsnelheid in Ukkel, afhankelijk van het scenario, zowel kan stijgen met 20% als kan dalen met 20%. In de winter lijkt de windsnelheid eerder iets toe te nemen, terwijl in de zomermaanden het beeld nog veel minder duidelijk is. Men besluit dat er dan ook geen duidelijk klimaatsignaal af te leiden is. Dit is in strijd met (Van Steertegem, 2009) waar men stelt dat de gemiddelde snelheid tijdens de wintermaanden systematisch 10 à 20% hoger liggen tegen het eind van de 21e eeuw.

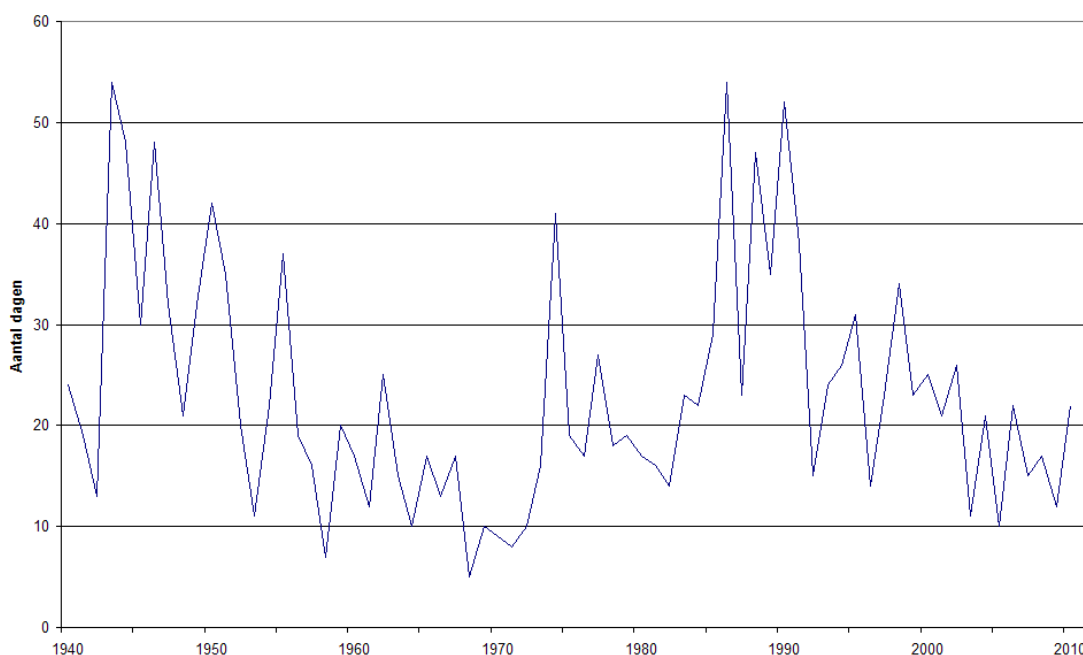


Figuur 2.24 Jaarlijks gemiddelde windsnelheid in St-Joost-ten-Node/Ukkel voor de periode 1880 - 2007.

Stormvloedten aan de Belgische 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.

Ulmann et al. (2009) bestudeerden mogelijke toekomstige stormopzet. Ook hier geven de resultaten van de onderzochte klimaatmodellen geen veranderende atmosferische drukken (boven de Baltische Zee in dit geval) en bijgevolg geen hogere extreme stormopzetten tegen 2100.

Op basis hiervan wordt niet verwacht dat als gevolg van de mogelijke veranderingen in wind de stormvloed en uit westelijke en noordelijke richtingen duidelijk zullen toenemen. Dat neemt niet weg dat de waterstand bij stormvloed wel zal toenemen als gevolg van zeespiegelstijging.



Figuur 2.25 Jaarlijks aantal dagen met maximale windstoten van meer dan 70 km/u in de periode 1940 - 2007

Ruimtelijke patronen

In België komt de wind overwegend uit het Zuidwesten. De gemiddelde windsnelheid van 6 à 7 m/s aan de kust neemt af tot 2 à 4 m/s in de valleien van Hoog-België en in Belgisch Lotharingen. Gemiddeld bereikt of overtreft de maximale windstoot om de 2 jaar de 35 m/s aan de kust en 23 à 30 m/s in het binnenland (Cabooter et al., 2007). De afname van de windsnelheid naar het binnenland is te wijten aan meer wrijving met de grond dat een toename van de turbulentie tot gevolg heeft.

2.8 Zeespiegel

Klimaatverandering heeft voor de zeespiegel de volgende gevolgen:

- De zeespiegel stijgt in alle klimaatscenario's;
- Door de trage reactie van oceanen en ijskappen zal de zeespiegelstijging nog eeuwen doorzetten;
- De absolute zeespiegelstijging langs de Belgische kust is overal gelijk;
- Als gevolg van bodemdaling kan de relatieve zeespiegelstijging van plaats tot plaats verschillen.
- De verwachting is dat de zeespiegel stijgt tussen de 14 en 93 cm in de periode tot 2111.
- De noodzak van het nemen van kustverdedigingsmaatregelen blijkt uit het feit dat als het zeeniveau met 1 meter stijgt, kan zonder bescherming in Vlaanderen ongeveer 63.000 ha land onder water stromen. In West-Vlaanderen woont 33% van de bevolking in laaggelegen poldergebieden die gevoelig zijn voor overstromingen van de zee en is de strook tot 1 km van de kustlijn voor 50% bebouwd.

Toekomstige trends

Het zeeniveau in Oostende is sinds 1927 met gemiddeld 1.69 mm/jaar gestegen. Die stijging sluit nauw aan bij het mondiale gemiddelde dat het IPCC afleidde voor de 20e eeuw (1.7 mm/jaar). Later opgestarte meetreeksen aan de Vlaamse kust laten nog hogere waarden optekenen, wat duidt op een versnelling van zeespiegelstijging. Extrapolatie van de historische trend levert voor de Vlaamse kust, afhankelijk van de toegepaste relaties, een verdere zeespiegelstijging op met 20 cm tot 200 cm voor de periode 1990-2100. De Nationale Klimaatscommissie verwacht voor onze Belgische kust een stijging van 14-93 cm in die periode. Ook het CLIMAR project (Van den Eynde et al., 2008) stelde 5 klimaatscenario's op, waarbij rekening werd gehouden met de klimaatscenario's opgezet in de ons omringende landen. In twee gematigde scenario's wordt uitgegaan van een temperatuurstijging op aarde van 2°C in 2100 t.o.v. 1990, stijgt de zeespiegel met 60 cm tegen 2100. Verder zijn ook twee warme scenario's ontwikkeld die uitgaan van een temperatuurstijging van 4°C tegen 2100. In dit geval wordt aangenomen dat de zeespiegel met 93 cm stijgt tegen 2100. Tenslotte is er ook nog een worst-case scenario leidend tot zeespiegelstijging van 200 cm. Dit is een onwaarschijnlijk, maar niet onmogelijk scenario, waarin rekening wordt gehouden met onverwachte, maar niet uit te sluiten terugkoppelingseffecten, zoals het stilvallen van de warme Golfstroom langs de Britse kust, of het sneller dan verwacht afsmelten van de ijskappen.

De noodzaak voor het nemen van extra kustverdedigingsmaatregelen komt voort uit het feit dat als het zeeniveau met 1 meter stijgt, zonder bescherming in Vlaanderen ongeveer 63.000 ha land onder water kan stromen. Bij een theoretische stijging van 5 meter worden Brugge, Antwerpen, Mechelen en Dendermonde kuststeden. In West-Vlaanderen woont 33% van de bevolking in laaggelegen poldergebieden die gevoelig zijn voor overstromingen van de zee en is de strook tot 1 km van de kustlijn voor 50% bebouwd (van den Eynde, 2011).

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 (door temperatuurstijging van het water) 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. Het huidige volume ijs aan de polen kan de zeespiegel zelfs tot 70 meter laten stijgen! Hiervan komt 61 meter van de Antarctische ijskap en 6 m van de Groenlandse ijskap (Huybrechts, 2002).

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.

De stijging van de zeewatertemperatuur heeft naast uitzetting van het water (en dus zeespiegelstijging) mogelijk ook effect op de het leven in de zee. Naast ecologische effecten, kan dit bijvoorbeeld ook belangrijk zijn voor de visserij. Meetgegevens van de zeewatertemperatuur behoren niet tot het KMI-meetnetwerk. Deze zijn beschikbaar bij het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen.

Ruimtelijke patronen

De absolute zeespiegelstijging is overal langs de Belgische kust gelijk. De wateropzet als gevolg van wind en stormen kan wel langs de kust verschillen. In de klimaatscenario's wordt de absolute zeespiegelstijging gepresenteerd. Om de relatieve verandering van het zeeniveau ten opzichte van de bodem te verkrijgen, moet de bodembeweging nog worden opgeteld bij de scenario's. Een relatieve zeespiegelstijging wordt immers ook veroorzaakt of versterkt door het wegzakken van het land. Het bewegen van de bodemplaten is een lokaal fenomeen en is o.a. het gevolg van de bewegingen van de aardplaten (tektoniek) of het inklinken van de bodem. Dit inklinken kan bijvoorbeeld optreden door het samengedrukt worden van veenlagen of door het verlagen van het grondwaterpeil. Heel belangrijk zijn ook de nog steeds doorwerkende effecten van het verdwijnen van de ijslagen en gletsjers uit de laatste ijstijden. Gedurende die ijstijden lagen er immers zware pakketten ijs op de aardkorsten. Zo komt de aardkorst ter hoogte van Scandinavië nog steeds omhoog en daalt de bodem in Nederland met enkele centimeters per eeuw. België gedraagt zich op dit vlak vrij neutraal.



Figuur 2.26 Schematische weergave van het verschil tussen absolute en relatieve zeespiegelstijging als gevolg van bodemdaling

In 2010 is het kustveiligheidsplan door de provincie West-Vlaanderen gepubliceerd waarin maatregelen zijn opgenomen om de kust tegen het verhoogde risico van zeespiegelstijging en zwaardere stormen. Meer informatie is te vinden op de site :

http://zeeweringenkustbeheer.afdelingkust.be/level2.asp?TAAL_ID=1&ITEM_L1_ID=12&ITEM_L2_ID=26

3 SECUNDAIRE EFFECTEN

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 mogelijke effecten van klimaatverandering op de hydrologie zoals wateroverschot, watertekort, veranderingen in rivierafvoer en de gevolgen van temperatuurstijging voor verschillende gebiedstypes en functies beschreven.

De beschrijvingen die in dit hoofdstuk zijn opgenomen zijn niet uitputtend. In dit klimaateffectschetsboek wordt in principe alleen gekeken naar te verwachten veranderingen als gevolg van klimaatverandering. Sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen zullen in veel gevallen medebepalend zijn of zelfs een belangrijkere rol spelen in optredende veranderingen tot 2050. Dit geldt bijvoorbeeld voor water in de stad. In dit schetsboek wordt slechts in zeer beperkte mate rekening gehouden met deze sociaal-maatschappelijke en economische ontwikkelingen.

3.1 Watersysteem

3.1.1 Huidige situatie

Het noorden van de provincies Oost- en West-Vlaanderen is relatief vlak. Direct aan de kust ligt een duinenrij van een sterk wisselende breedte. In het zuiden liggen het West-Vlaamse heuvelland en de Vlaamse Ardennen. Dit heuvelachtig gebied bestaat voornamelijk uit leem- en zandleemgronden. Het noorden van de provincies bestaat grotendeels uit zandgronden en een strook klei- en poldergronden langs de kust.

In figuur 3.1 zijn de voornaamste waterlopen in Oost- en West-Vlaanderen weergegeven. De provincies worden doorkruist door een viertal rivieren die water vanuit Frankrijk en Wallonië aanvoeren. Het gaat om de Schelde, de Dender, de Leie en de IJzer. De eerst drie lopen in een noordoostelijke richting de Scheldemonding. De rivieren lopen veelal door (oude) stadskernen heen. De IJzer loopt vanuit Frankrijk naar het noordwesten en komt bij Nieuwpoort in de Noordzee uit.

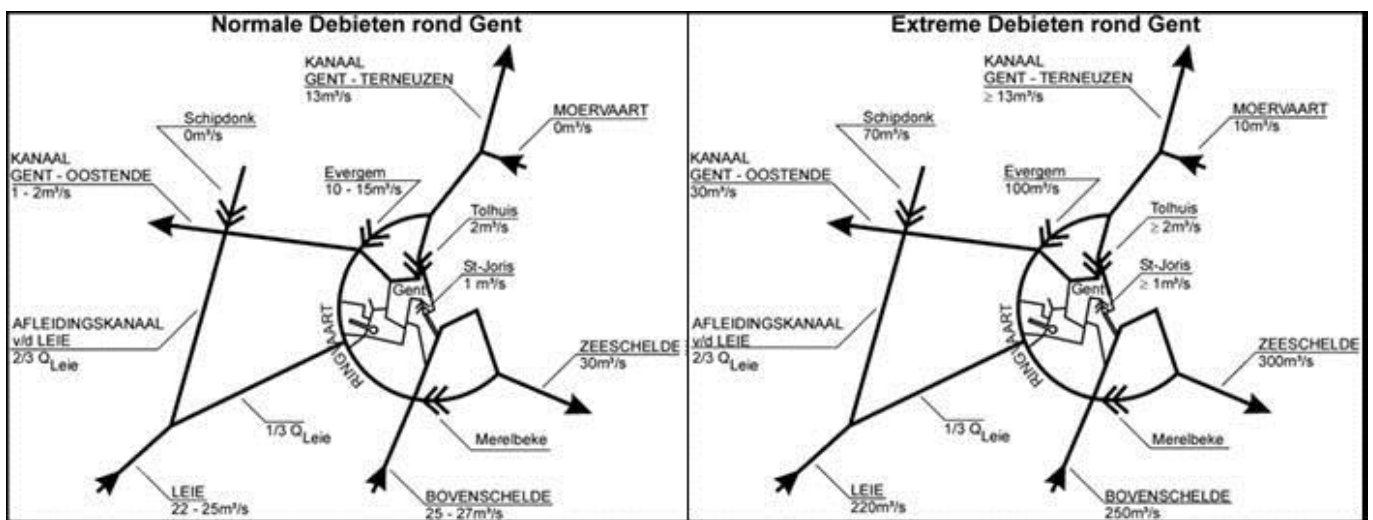
Rond Gent wordt een belangrijk deel van het rivierwater verdeeld over diverse afvoerrichtingen naar de kust. In Gent komt het water van zowel de Leie als de Bovenschelde in de Ringvaart van Gent (zie figuur 3.1 en 3.2). Het water verdeelt zich vervolgens over de Gentse binnenwateren, de Zeeschelde (open verbinding met Westerschelde/zee), het Kanaal Gent-Oostende en het Kanaal Gent-Terneuzen.

In figuur 3.2 is de verdeling van het water rond Gent weergegeven bij een normale afvoer en bij hoogwaterrafvoer (<http://www.bekkenwerking.be/bekkens/gentse-kanalen,2011>). Deze (nood)situatie deed zich onder andere voor in januari 1995. In dergelijke noodsituaties worden de Gentse binnenwateren van het aankomende water afgesloten door keersluizen ter hoogte van de verbindingen met de Ringvaart. Bij hoogtij op de Zeeschelde is de afvoer belemmerd: de getijdesluis op de ringvaart te Merelbeke zorgt ervoor dat het getij zich niet verder zet naar hogerop. Dit probleem wordt nog groter bij een hogere zeespiegel, bijvoorbeeld bij een noordwestenstorm op de Noordzee (hierbij kan het getij meer dan een meter opstuwen).

De afmetingen van het kanaal Gent-Terneuzen laten grote debieten toe. De lozingsmogelijkheden op de Westerschelde zijn echter beperkt, omdat deze eveneens afhankelijk zijn van het getij op de Noordzee. De afvoercapaciteit van het kanaal Gent-Brugge is beperkt (te regelen via de keerstuw in Beernem), gezien het gevaar dat Brugge onder water komt te staan wanneer vervolgens niet voldoende afgevoerd kan worden richting Noordzee.



Figuur 3.1 Voornaamste waterlopen West- en Oost-Vlaanderen (http://www.binnenvaart.be/nl/waterwegen/kaart_benelux.html)
 Kleuren corresponderen met bevaarbaarheid: rood is 'zwaarste' klasse, blauw is lichtste klasse/niet geschikt voor beroepsvaart



Figuur 3.2 Oppervlaktewaterverdeling rond Gent (bron: <http://www.bekkenwerking.be/bekkens/gentsekanalen,2011>)

Zoals aangegeven staat de monding van de Schelde in een open verbinding met de zee via de Westerschelde. Hierdoor heeft ongeveer het gebied tussen Antwerpen en Gent te maken met wateroverlast op momenten dat zowel de zeespiegel als de afvoer van de Schelde hoog is. In die regio

worden nu maatregelen genomen om de kans op waterlast te beperken. Dit gebeurt in het kader van het Sigmaplan (www.sigmaplan.be). Bij het opstellen van het Sigmaplan (in 1977) ging men er van uit dat het Benedenscheldebekken beschermd moet worden tegen stormvloed die 1/10.000 jaar voorkomen. In het kader van het Sigmaplan worden allerlei maatregelen getroffen. Het gaat om Gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG), dijkverhogingen, -versterkingen en – verleggingen. Vlaanderen kiest niet voor een stormvloedkering in de Wersterschelde.

Met de werken die momenteel zijn afgerond is slechts een bescherming tegen waterstanden verzekerd die 1/70 jaar voorkomen. Men is er unaniem van overtuigd dat het veiligheidsniveau in het Benedenscheldebekken verder verhoogd moet worden en dat bijkomende maatregelen nodig zijn. Bij Kruikeke wordt op dit moment bijvoorbeeld een GOG gerealiseerd. Wanneer dit in werking zal zijn stijgt de bescherming tot het niveau van een waterstand die 1/350 jaar optreedt. Het GOG Kruikeke-Bazel-Rupelmonde wordt het dertiende en grootste GOG van Vlaanderen. De vernieuwing van de Scheldekaaien in Antwerpen en de GOG's bij de Dijle-monding zijn ook voorbeelden van projecten die tot het Sigmaplan behoren.

Alle vier de rivieren hebben hun oorsprong buiten de provincies Oost- en West Vlaanderen. In tijden met veel neerslag in het stroomgebied wordt de afvoer dan ook sterk beïnvloed door maatregelen in het bovenstroomse gebied. Begin november 2010 hebben veel plaatsen in de benedenstroomse gebieden last gehad van ernstige wateroverlast.

Dit werd veroorzaakt door een combinatie van een door eerdere neerslag verzadigd (ondiep) leempakket op klei in het zuiden van Vlaanderen (vergelijkbaar met een volgezogen spons) in combinatie met een hoge waterafvoer vanuit bovenstroomse gebieden (Frankrijk en Wallonië). Bovenstroomse stuwen werden geheel gestreken. Zowel in het zuiden van Vlaanderen als op de zandgronden (verder benedenstrooms) zorgt deze situatie voor waterlast, onder andere op plaatsen waar beken/rivieren door oudere stadskernen gaan (zoals die van Geraadsbergen, Gent en Oudenaarde)

Wateroverlast ontstaat niet alleen door een verzadigde grond, maar kan ook ontstaan door een langdurige droge periode. De oppervlakten van de hellingen zijn zeer gevoelig voor erosie. Vooral de lemlagen spoelen snel uit. Na een periode van weinig neerslag is de leemlaag weinig vochtdoorlatend geworden en kan er dus weinig neerslag infiltreren in de bodem (geen 'sponswerking'). Bij een hevige bui treedt dan veel oppervlakkige afspoeling op waarbij grote hoeveelheden leem en klei worden vervoerd. De bezinking hiervan kan vervolgens tot problemen (o.a. verstoppingen) leiden in de benedenstrooms gelegen watersystemen.

In de Vlaamse Ardennen ontspringen vaak bronnen op de overgang van de tertiaire zandlagen naar de minder vochtdoorlatende kleilagen. Op een helling kunnen er dus meerdere bronnen boven elkaar ontspringen. De bronnen op het hoogste niveau vallen tegenwoordig regelmatig droog in de zomer door een daling van de grondwaterstand. Een niveau lager gebeurt dit ook steeds vaker in de zomer.

Het zandgebied van de beide provincies heeft een vrij uitgebreid kanalsysteem. Kanalen, zoals het Kanaal van Gent naar Terneuzen en het Boudewijnkanaal, monden uit in de zee. Andere voorbeelden van kanalen zijn het Afleidingskanaal van de Leie (het kanaal van Schipdonk), het Leopoldkanaal, het kanaal Gent-Brugge-Oostende en het kanaal Yper-IJzer. Een deel van deze kanalen zijn in het verleden voor de scheepvaart aangelegd. Het waterniveau in de kanalen is over het algemeen hoger dan de grondwaterstand in de omgeving. Daardoor infiltreren zij water naar het grondwatersysteem .

De polders langs de kust lozen hun water veelal onder vrij verval op zee of kanalen die direct naar zee afvoeren. Afvoer vanuit de polders is vaak alleen mogelijk bij eb (gravitair). Bij doodtij wordt de duur waarin tijdens laagwater geloosd kan worden beperkt. Op enkele plaatsen langs de kust staan gemalen om meer polderwater gedurende een langere tijd op zee te kunnen lozen.

In de polders treedt veel kwel op als gevolg van de druk vanuit de Noordzee. Op dit moment is dit nog veel zoete kwel, maar steeds vaker komt er, zeker in drogere perioden, ook zoutere kwel naar boven. Gedurende droge perioden worden de polders tevens gevoed vanuit de meer landinwaarts gelegen kanalen. Omdat deze kanalen evenwijdig aan de kust gelegen zijn, functioneren zij waarschijnlijk tevens als een barrière voor een verdere landinwaartse indringing van deze zoutere kwel.

Klimaatverandering kan voor het watersysteem van West- en Oost-Vlaanderen de volgende gevolgen hebben:

De afvoeren van beken en rivieren nemen 's winters toe. Of die toename ook 's zomers plaatsvindt, hangt af van het wel of niet optreden van het G+ of W+ scenario. In deze '+-scenario's' wordt het 's zomers warmer en droger door meer oostenwind en zijn de afvoeren niet hoger;

De zeespiegel stijgt waardoor de mogelijkheden voor afvoer onder vrij verval van water naar de zee sterk worden beperkt en het mondingsgebied van de Schelde onder druk van de Westerschelde komt te staan;

De kustzone verzilt meer door een stijging van de kweldruk, de zeespiegelstijging en door toenemende evapotranspiratie en watervraag bij klimaatopwarming.

De in de kustzone aanwezige polders kunnen mogelijk onvoldoende afwateren;

In het G+ en W+ scenario is de kans dat tijdens droge zomers de gemiddelde zoutconcentratie toeneemt op plaatsen waar verbinding is met de zee, groter door een verminderde aanvoer van zoet water;

Door temperatuurstijging en stilstaand (zoet)water worden de omstandigheden voor ontwikkeling van giftige blauwalgen gunstiger en neemt de waterkwaliteit in het algemeen af;

Door meer intense buien en langere drogere perioden neemt de erosie in hellende gebieden verder toe;

Door meer intense buien neemt het aantal riooloverstorten toe. Dit is slecht voor de waterkwaliteit;

Drink- en industriewatervoorziening kunnen onder druk komen te staan.

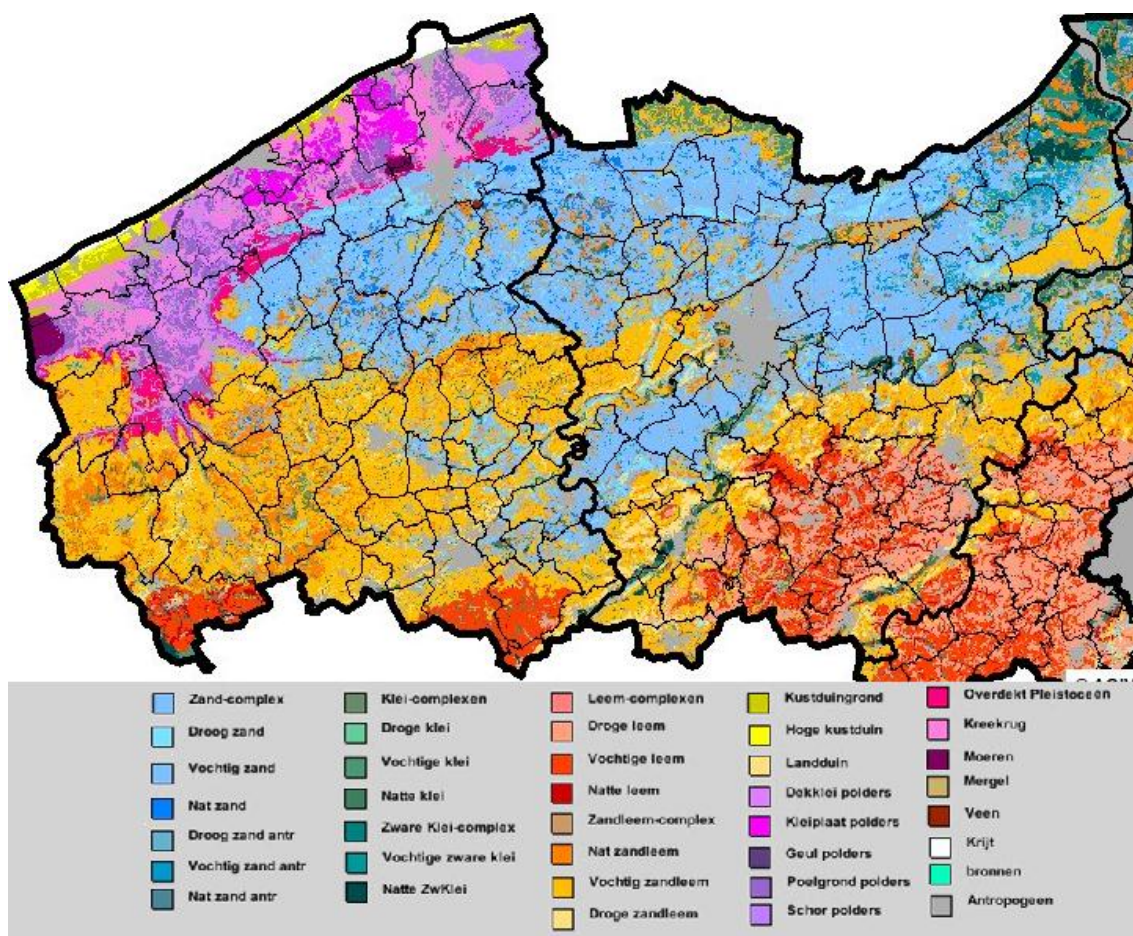
In navolgende subparagrafen worden deze punten nader toegelicht.

3.1.2 Waterlopen en rivieren

In alle klimaatscenario's neemt de neerslaghoeveelheid in de winter toe. In de wintermaanden zijn de lemige bodems in hellende gebieden (rode gebieden in figuur 3.3) echter al verzadigd, waardoor deze extra neerslag veelal direct resulteert in extra afstroming en onvermijdelijk ook in meer bodemerosie (geen sponswerking; zie paragraaf 3.1.1). Dit met sediment beladen water stroomt vervolgens naar de beken/rivieren waar het zorgt voor een extra waterafvoer en sedimentlast. De kans op water- en modderoverlast als gevolg van deze situatie neemt dus toe.

Zoals aangegeven in paragraaf 3.1.1 kan ook wateroverlast ontstaan door uitdroging van de leembodems. In de +-scenario's worden de zomers droger waardoor de leemlagen langer en meer zullen uitdrogen. De verwachte intensievere zomerse neerslag kan daardoor nog beperkter in de bodem dringen en stroomt veelal direct af naar de beek. Dit zorgt voor een toename op de kans op wateroverlast, alsook op meer erosie als de bodems op het moment van de hevige buien nog onvoldoende begroeid of bedekt zijn.

Benedenstreams op de zandgronden kan de kans op wateroverlast mede hierdoor ook verder toenemen. De Schelde en andere op zee afwaterende waterlopen worden namelijk ook beïnvloed door de zeespiegel en de eb- en vloedbeweging. De zeespiegelstijging zal de afvoermogelijkheden onder vrij verval bij de sluizen en via de Schelde beperken. Een ongunstige combinatie van een hoge zeespiegel en hoge rivierafvoeren treedt in de toekomst veel vaker op. De gecontroleerde overstromingsgebieden (GOG's) langs de Schelde die nu worden aangelegd moeten daarom in de toekomst waarschijnlijk vaker ingezet worden. Bovendien zijn extra investeringen in waterveiligheid, zoals in paragraaf 3.1.1 aangegeven, zeker nodig.



Figuur 3.3 Bodemkaart West- en Oost-Vlaanderen (bron: <https://dov.vlaanderen.be/>)

In opdracht van de Vlaamse Overheid heeft de Afdeling Hydraulica van de KU Leuven de impact van klimaatverandering op hydrologische extremen langs waterlopen geanalyseerd⁵. De Dender is hierbij als testcase gebruikt.

Door de daling van de zomerneerslag in de G+ en W+-scenario's en de toename van verdamping in alle scenario's, kunnen de neerslagafstromingsvolumes aanzienlijk dalen. Modelberekeningen laten zien dat tijdens droge zomers de laagste grondwaterafstromingen naar de rivier met meer dan 50% dalen. De kans op lage rivierafvoer neemt daarmee toe. Dit kan onder andere nadelige gevolgen hebben voor de drinkwatervoorziening, de diepgang voor de scheepvaart, de waterkwaliteit.

Over een toename van de kans op overstrooming zijn de resultaten uit de studie minder eenduidig. Piekafoeren in een rivier zoals de Dender nemen in het meest extreme scenario met niet meer dan 15% toe.

3.1.3 Kustzone

Verziltig

⁵ Willems, P., Boukhris, O., Berlamont, J., Eerdenburgh, K. van, Viaene, P., en Blanckaert, J., 2007, Impact van klimaatverandering op Vlaamse rivieren, *Het Ingenieursblad*.

Door de zeespiegelstijging neemt de kweldruk in de kustzone toe, zowel in de duinen als in de achterliggende polders. Tegelijkertijd nemen de aanwezige zoetwaterlenzen in omvang af door onder andere extra verdamping en een grotere opname van planten en de toenemende watervraag. Hierdoor komt het zilte grondwater dichterbij het oppervlak. Dit gebeurt zowel in de duinen als in de polders. De waterlopen in die polders snijden diep in de klei, daarom trekken deze waterlopen de kwel het meeste aan en verzilten ze dus het sterkst.

Op een viertal plaatsen in het kust- en poldergebied staan nu grote sluiscomplexen (Nieuwpoort, Oostende, Knokke-Heist, Terneuzen). Als gevolg van de zeespiegelstijging komt er gedurende het schutten meer zeewater binnen waardoor de verzilting in het achterland van deze sluiscomplexen gaat toenemen. Door de zeespiegelstijging is het zeer goed mogelijk dat de sluiscomplexen moeten worden aangepast om het toenemende hoogteverschil aan weerszijde van de sluis te kunnen overbruggen en om verzilting tegen te gaan. Waar deze sluiscomplexen ook een functie hebben van de afvoer van water uit het achterland wordt die om dezelfde reden door de toename van dit hoogteverschil beperkt.

Wateroverlast

De zeespiegelstijging zorgt er ook voor dat het hoogteverschil tussen de uitlaten van deze polders en de zee bij eb afneemt. Hierdoor wordt de periode dat deze polders hun overtollige water onder vrij verval kunnen lozen, verkort.

Veiligheid

Een aantal plekken langs de kust voldoet op dit moment niet aan het gewenste veiligheidsniveau. Volgens het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (GKVP) betreft het circa 30 procent van de Vlaamse kust (Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust). In het kader van het GKVP worden diverse maatregelen voorzien om de Noordzeekust tegen stormvloed te beschermen. Hierbij is al rekening gehouden met de zeespiegelstijging als gevolg van klimaatverandering (planhorizon 2050).

Met name de (badstrand)zones ter hoogte van Middelkerke, Raversijde, Westende, Oostende en Wenduine en de havens van Nieuwpoort (IJzermonding), Oostende, Blankenberge en Zeebrugge worden als kwetsbaar gezien. Andere zwakke schakels zijn de duinzones in de Panne en Koksijde.

Bij de risico(bad)plaatsen zal het strand breder en hoger worden gemaakt met zand en zullen extra duinen worden aangelegd. Waar nodig zal de (zee)dijk worden versterkt met een permanente of mobiele stormmuur. In de havens denkt men aan de bouw van stormmuren rond de havengeulen, aan het verhogen van de kaaiterreinen of zelfs aan de bouw van stormvloedkeringen (www.vlaamsebaaien.com/geintegreerd-kustveiligheidsplan).



Foto: opspuiten strand De Haan

Bron: Maritieme Dienstverlening en kust, 2010

3.1.4 Waterkwaliteit

Wanneer in de +-scenario's de afvoeren afnemen, het aantal warme en tropische zomerdagen toeneemt en de neerslaghoeveelheid in de zomer afneemt, dan zorgt dit voor een verslechtering van de waterkwaliteit. De verblijftijd van het water neemt namelijk toe, er is minder verdunning door regenwater en de zuurstofhuishouding wordt verstoord door sterke groei van algen en aërobe bacteriën. Dit kan op sommige ogenblikken onder andere in sterke tekorten van het zuurstofgehalte van het water en de waterbodem, waardoor giftige stoffen zoals nitriet en ammonium gevormd worden. Door het gebrek aan verdunning en het effect van sterke verdamping kunnen hogere concentraties aan vervuilende stoffen (bijv. uit afvalwaterlozingen) voorkomen. Zowel in landelijk als stedelijk gebied kan dit ongewenst zijn.

Verziltig

Tijdens perioden van hevige neerslag en toenemende verdamping kunnen gedurende het jaar toenemende fluctuaties in zoutgehaltes in het oppervlaktewater plaatsvinden. Deze fluctuaties hebben een sterke negatieve invloed op de biologische waterkwaliteit.

Zoetwaterlenzen of -bellen worden bij toenemende droogte kleiner. Daarnaast kunnen tijdens droge perioden door evapotranspiratie zouten naar het bodemoppervlak migreren en ook de toplaag van de bodem verziltten.

De verziltig van oppervlakte- en grondwater en de bodem zelf heeft negatieve gevolgen voor de plantengroei (zoutschade bij natuur en landbouwgewassen).

Blauwalgenproblematiek

Door de hogere temperaturen als gevolg van klimaatverandering neemt het risico op blauwalgenbloei toe. Wateren warmen namelijk sterker op en onder voedselrijke omstandigheden (bijv. in fosfaatrijk water) kunnen bloeien van giftige soorten optreden (vooral bij geen of geringe stroming). Doorspoelen kan deze problematiek verzachten, maar de mogelijkheden hiervoor met zoetwater moeten wel aanwezig zijn. Verziltig van oppervlaktewateren die nu eutroof en zoet zijn, vormt hier wellicht een kans. Blauwalgenbloei kan echter ook in zoutwater optreden (P.F.M. Verdonschot, pers. meded.), maar de kans daarop is veel kleiner dan in zoetwater (blauwalgen verdwijnen bij chloridegehaltes van > 8 g/l; brak-zout water).

Riooloverstort

Bij intense buien stroomt in korte tijd een grote hoeveelheid water in het riool. Door een toename aan intense buien en de intensiteit van deze intense buien zal het vaker voorkomen dat het riool hevige neerslag niet aan kan. Via riooloverstorten wordt dit overtollige water dan geloosd op sloten of vijvers. Bij gemengde rioolstelsels (die nog heel gangbaar zijn in Vlaanderen; zie ook paragraaf 3.2.1) is dit regenwater vermengd met afvalwater. Hierdoor zal bijvoorbeeld de e.coli bacterie meer voorkomen. De waterkwaliteit zal dus afnemen wanneer geen maatregelen worden getroffen in (de aanvoer richting) het rioolsysteem.

Zoals eerder aangegeven kan bij een hevige regenbui veel oppervlakkige afspoeling optreden waarbij leem, klei en zand worden meegevoerd met het water. Wanneer dit nabij bijvoorbeeld straatkolken (inlaatpunt van riool aan zijkant van weg) gebeurt, is de kans groot dat er meer slib terecht komt in het rioolwatersysteem. De bezinking van het slib zorgt er voor dat het systeem eerder vol is (of verstopt raakt) en er vaker een overstort plaatsvindt.

Daarnaast kan het gebruik van riooloverstorten bij hevige regenbuien erosie in de waterloop veroorzaken als gevolg van 'vallend' water uit de overstort in de waterloop en sterke plaatselijke stroming.

Hogere watertemperaturen leiden tot een toename van afbraakprocessen en dus tot de consumptie van zuurstof. In voedselrijke wateren of wateren die van nature een voedselrijke waterbodem hebben kan dit tijdens droge perioden leiden tot zuurstofloosheid. Dit fenomeen wordt versterkt door lozingen vanuit de riolering. Deze vinden doorgaans plaats na een hevige periode van neerslag aansluitend op een warme zomerse periode. Ook toenemende risico's van het optreden van botulisme hangen hiermee samen.

Drink- en industriewatervoorziening

Er bestaat een verband tussen temperatuur en drinkwatergebruik. Droge zomers leiden tot een hoge watervraag. Dat kan een toename van zo'n 6% in een droge zomer zijn. Er zullen zich door droogte en opwarming meer pieken voordoen in de watervraag. Hiertoe neemt de druk op de zoetwatervoorraad toe (grond- en oppervlaktewater).

Tegelijkertijd is de beschikbaarheid van voldoende water van voldoende kwaliteit voor de bereiding van drinkwater in gevaar. Vooral voor de winningen uit de zoetwaterlenzen in de duinen kan dit voor problemen zorgen. Door het neerslagtekort dat in het G+- en het W+-scenario groter zal worden, worden de zoetwaterlenzen minder aangevuld. Dit kan versterkt worden door drainage. De neerslag wordt dan afgevoerd in plaats van geïnfiltreerd in de duinen. Een ander voorbeeld van grootschalige onttrekking ten behoeve van drinkwater is het waterproductiecentrum de Blankaart dat water onttrekt uit het IJzerbekken.

De industrie maakt voor haar waterbevoorrading gebruik van grond- en oppervlaktewater (koeling en proceswater). In Ruien staat een elektriciteitscentrale die water uit de Schelde onttrekt. De industrie langs het kanaal Gent-Terneuzen en in het westelijke havengebied van Antwerpen gebruikt ook veel oppervlaktewater voor koeling en processen. Daarnaast maakt de industrie zowel gebruik van freatische als gespannen grondwaterwinningen. Door overexploitatie zijn er vandaag reeds problemen met waterbevoorrading uit gespannen watervoerende lagen zoals het Oligoceen, Ledo-Paniseliaan, Landeniaan, Krijt en Sokkel. In centraal West-Vlaanderen (Rond Ardoeie) wordt veel dieper grondwater opgepompt door de diepvriesgroente-industrie. Ook in het zuiden van Vlaanderen (rond Waregem), rond Oudenaarde en rond Aalst wordt dieper grondwater voor de industrie onttrokken.

Mogelijk kan het tekort aan grondwater in de zomer worden gecompenseerd door goed om te gaan met water dat infiltreert in de winter. Wanneer over het gehele jaar genomen (winter en zomer samen) een tekort optreedt, is een watertekort in de zomer moeilijk op te lossen.

Droogte levert een bedreiging op voor de beschikbaarheid van water voor de bereiding van drinkwater in kwantitatieve, maar ook in kwalitatieve zin. Dit laatste geldt met name voor oppervlaktewaterwinning uit wateren waarvan de waterkwaliteit verslechtert. Een geringere aanvoer van water uit bovenstrooms gebied en uit hemelwater zorgt in de zomer voor een verslechtering van de waterkwaliteit. Door de lagere hoeveelheid beschikbaar water wordt de concentratie van schadelijke stoffen hoger. Er moet daardoor meer moeite gedaan worden om via zuiveringsprocessen aan de kwaliteitseisen voor drinkwater te voldoen. Opwarming van het water, gecombineerd met concentratie van voedingsstoffen in het water, verhoogt ook de kans op microbiële verontreiniging.

3.2 Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben:

De intensiteit van extreme buien zal toenemen. Dit leidt in het stedelijk gebied mogelijk tot wateroverlast. Hittestress zal toenemen als gevolg van de stijgende temperaturen.

De kans op zomersmog zal door het vaker voorkomen van hittegolven toenemen, indien de emissies gelijk blijven. In de winter zal de kans op wintersmog afnemen in het G+- en W+- scenario.

Door meer intense buien neemt het aantal riooloverstorten toe. Dit is slecht voor de waterkwaliteit.

In toenemende mate zal (giftige) blauwalg in stedelijk water voorkomen (zie paragraaf 3.1.4)

In onderstaande paragrafen worden deze punten nader toegelicht.

In figuur 3.4 zijn diverse klimaatgevolgen voor het stedelijk gebied en infrastructuur schematisch verbeeld.

3.2.1 Water 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, het meest in het W-scenario. In veel stedelijke gebieden zijn de rioolstelsels niet ingericht op hevige buien.

Bij hevige buien kan het huidige waterafvoersysteem in bebouwd gebied het water veelal niet snel genoeg verwerken. Een eerste gevolg daarvan is dat er water op straat blijft staan, omdat de afvoer van water richting riolering en/of waterlopen niet snel genoeg gaat. Dit heeft overlast of zelfs schade aan woningen en winkels tot gevolg.

Een tweede effect is dat bij een overbelasting van het riool het overtollige water door middel van een rioolwateroverstort geloosd op het oppervlaktewater. In Vlaanderen is het grootste deel van de riolering gemengd. Het overstortwater is dus regenwater gemengd met afvalwater. De kwaliteit van het oppervlaktewater zal hierdoor dus achter uit gaan.

De hevige buien zullen vaker voorkomen. Hevige buien die nu met een herhalingsperiode van eens in de 10 jaar voorkomen, zullen in de toekomst wellicht eens in de vijf jaar voorkomen. Het vergroten van de afvoercapaciteit van riolering en waterlopen is een kostbare ingreep. Waterberging creëren buiten de stad is vaak geen afdoende oplossing voor de problemen in de stad.

Toenemende wateroverlast heeft echter niet alleen klimaatverandering als oorzaak. Ook toenemende verharding zorgt voor minder infiltratie en meer afstroming naar oppervlaktewater en riolering.



Figuur 3.4: Klimaatgevolgen voor stedelijk gebied en infrastructuur

Daarnaast zullen ook perioden van watertekort plaatsvinden. Warme, droge perioden zullen vaker voorkomen. In die perioden valt er minder neerslag, maar zal door hoge temperaturen meer water verdampen.

Daarbij komt ook dat door een toename van verharding, er bij buien minder neerslag in de bodem kan infiltreren. De hevige buien, zoals hierboven beschreven, zullen vaker voorkomen. Deze buien worden vaak zo snel mogelijk afgevoerd om wateroverlast te voorkomen. De neerslag die valt zal minder in de bodem infiltreren. Door hoge temperaturen en minder infiltratie in de bodem zal de grondwaterstand verlagen. Dit is niet goed voor het stedelijk groen.

Lagere waterstand in de steden verlaagt de leefkwaliteit. Het water zal veelal stil komen te staan, wat slecht is voor de waterkwaliteit. In steden zoals Brugge en Gent, de oude kernen met veel kanaaltjes zal dit tot overlast, bijvoorbeeld stank, leiden. De recreatie in de steden zal hier last van hebben.

3.2.2 Hittestress in de stad

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

Meteorologische waarnemingen in de stad

Steden hebben een eigen lokaal klimaat dat afwijkt van het omringende platteland. Er zijn geen meetstations in steden, omdat deze zo veel variabiliteit op kleine schaal hebben dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport

gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte-eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen en dergelijke. 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.

Een nadere uitleg van het warmte eiland effect is gegeven in Bijlage 3. Voor Vlaanderen hebben wij hier geen specifieke informatie, daarom worden hier voorbeelden van Nederlandse steden gegeven. Voor een stad als Utrecht bijvoorbeeld kan 's nachts bij helder weer en windstille, het maximale temperatuurverschil tussen het centrum van de stad en het omringende platteland oplopen tot meer dan 5 °C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Gemiddeld is het centrum van de stad Utrecht circa 1,1 °C warmer dan het omringende platteland. De bijdrage van de hogere nachttemperaturen is hierbij ongeveer vier keer zo groot als die van de hogere temperaturen overdag.

Recent praktijkonderzoek in de Stadsregio Arnhem Nijmegen (d.m.v. metingen met een bakfiets) heeft uitgewezen dat 's nachts een verschil van 7°C op kan treden tussen de stad en haar directe omgeving (H. van Ammers (gemeente Arnhem), 2011). Overdag werd een verschil van 4°C gemeten.

3.2.3 Luchtkwaliteit

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

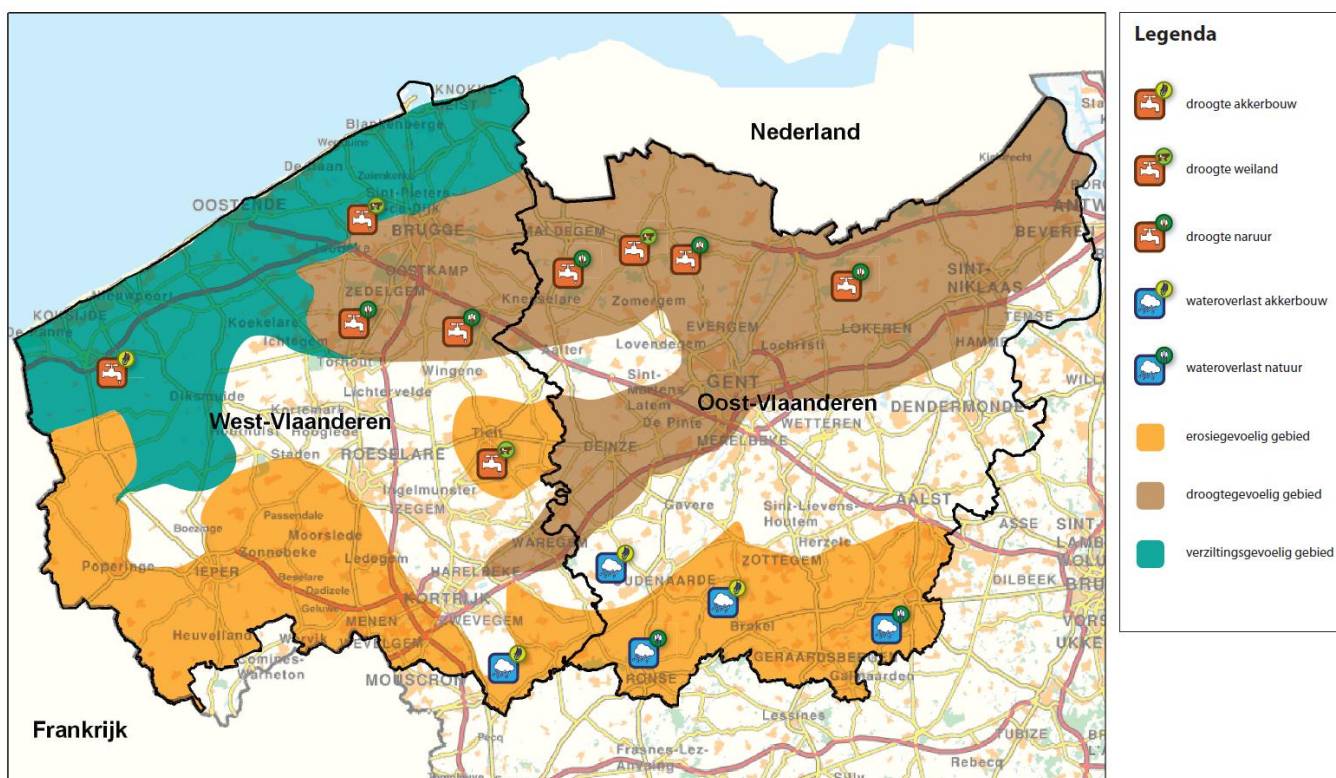
In deze paragraaf worden, in algemene zin, de mogelijke effecten van klimaatverandering in het landelijk gebied van Oost- en West-Vlaanderen besproken. In paragraaf 3.4 en 3.5 worden landbouw, respectievelijk natuur meer specifiek behandeld. In het landelijk gebied zal klimaatverandering de volgende gevolgen hebben:

het landelijk gebied krijgt vaker te maken met wateroverlast;

in het landelijk gebied leidt een daling van de grondwaterstand in de zomer tot een grotere vraag naar grondwater en oppervlaktewater voor beregening en naar oppervlaktewater voor peilhandhaving en doorspoeling voor het tegengaan van verzilting. Tegelijkertijd stijgt ook de behoefte aan grondwater en oppervlaktewater voor andere doeleinden (proceswater, koelwater, in stand houden natuurwaarden).

In figuur 3.5 zijn diverse klimaatgevolgen voor het landelijk gebied schematisch verbeeld. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen effecten voor landbouw (weiland en akkerbouw) en effecten voor natuur. Voor zowel landbouw als natuur treden relevante effecten als gevolg van droogte en wateroverlast op. Deze effecten worden behandeld in navolgende paragrafen. Deze effecten zijn met iconen aangegeven in

de figuur. Daarnaast zijn globaal zones aangegeven welke gevoelig zijn voor erosie, droogte en/of verzilting. In deze is het optreden van bepaalde klimaateffecten extra relevant. In de praktijk overlappen deze zones elkaar. Verzilting komt bijvoorbeeld ook voor in het noorden van Oost-Vlaanderen en langs de oevers van de Schelde bij Antwerpen.



Figuur 3.5: klimaatgevolgen voor landbouw en natuur (landelijk gebied)

3.3.1 Wateroverlast in het landelijk gebied

Wateroverlast in de winter

In de huidige situatie treedt wateroverlast in de winter voornamelijk op in de hellende gebieden in het zuiden van Vlaanderen. Door de neerslagtoename is de bodem sneller verzadigd met water waardoor neerslagwater veel sneller afgevoerd wordt naar de lager gelegen plaatsen. Kale winterakkers en het gebrek aan bufferstroken zoals je die vroeger vaak had (graften, houtkanten, grazige bufferstroken tussen de percelen) versnellen nog meer het afvoerend vermogen van neerslagwater met nefaste gevolgen tijdens felle winterse regenbuien. Hierdoor wordt de maximale afvoercapaciteit van beken en rivieren veel sneller bereikt, waardoor ook verder benedenstrooms, op de zandgronden, deze situatie voor wateroverlast kan zorgen (bijv. ten noordoosten van Gent). Braaklegging van akkers, bufferstroken tussen de percelen en akkers ingezaaid de winter in laten gaan, zijn zeker geen loze maatregelen om de afvoer naar beken, rivieren en de lager gelegen gebieden af te remmen.

In paragrafen 3.1.1 en 3.1.2 is aangegeven hoe dit wordt veroorzaakt. Wanneer de neerslag in de winter toeneemt en de buien intensiever worden, neemt de kans op wateroverlast toe. Het hangt mede van de bovenstroomse waterbeheersing af of en in welke mate de kans op wateroverlast benedenstrooms toe gaat nemen. De kans op een toename is echter wel groot. In zowel het G+ als het W+-scenario zullen dit soort gebeurtenissen vaker voor gaan komen.

Ook is reeds ingegaan op de gevolgen van klimaatverandering voor waterafvoermogelijkheden richting zee (bijv. problemen getijde afhankelijke lozing). Zeer lokaal zijn er afspraken tussen West-Vlaanderen en het Nederlandse Zeeuws-Vlaanderen dat Zeeuws-Vlaanderen de plicht heeft mogelijke waterafvoer vanuit België op te vangen.

Wateroverlast in de zomer

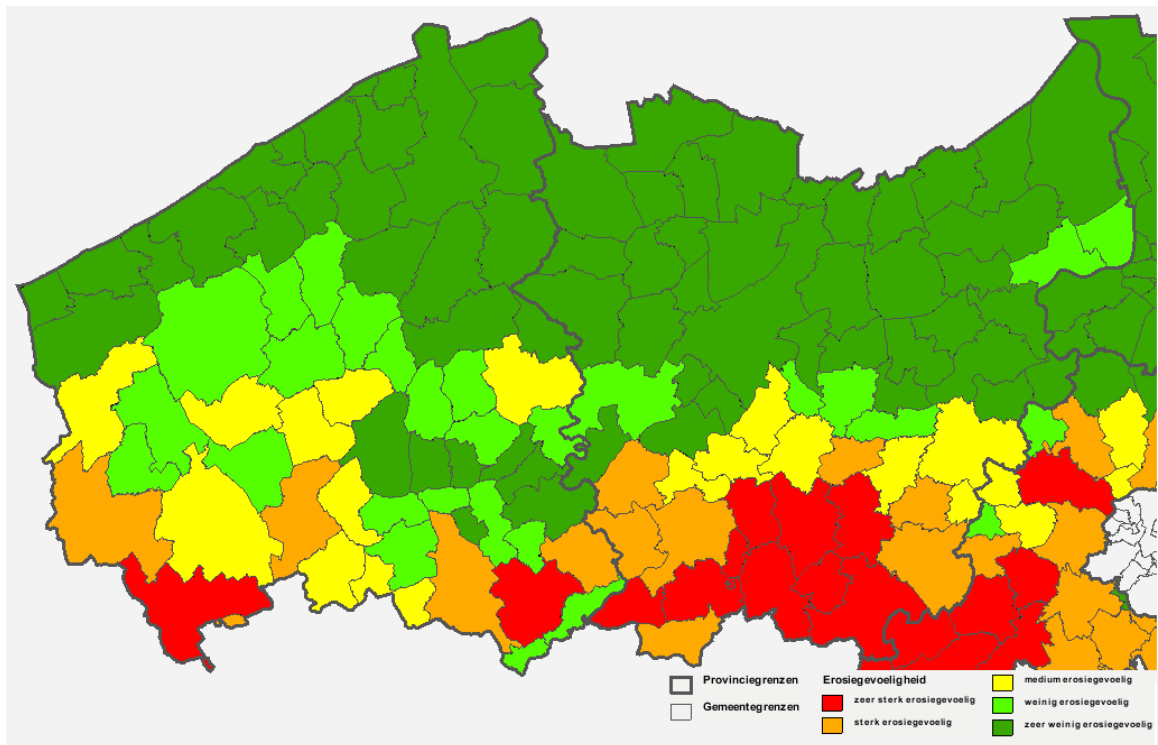
Zware buien in de zomer worden nog heviger. Hierdoor zal er meer wateroverlast zijn in het groei- en oogstseizoen. Zware buien zullen daarnaast ook frequenter voorkomen. Het aantal dagen in het jaar met een neerslag van 15 mm of meer neemt gemiddeld toe van ca. 8 in het huidige klimaat tot circa 12 in het W-scenario, en circa 10 in het W+-scenario.

In de zomer bestaat de wateroverlast uit oppervlakkige afstroming richting de beken/rivieren in de hellende gebieden. In paragrafen 3.1.1 en 3.1.2 is aangegeven hoe dit wordt veroorzaakt. Deze afstroming gaat gepaard met veel erosie (zie figuur 3.6 voor de erosiegevoeligheid per gemeente). De hoeveelheid erosie is afhankelijk van het landgebruik. In gebieden met akkerbouw en tuinbouw wordt de bodem dikwijls slecht vastgehouden door het ontbreken van aaneengesloten begroeiing. In het W-scenario is het effect op erosie tijdens de zomer wellicht minder groot, omdat de bodem in het voorjaar sneller begroeit raakt en de slagkracht van de regendruppels bij de zomeronweders door de vegetatie beter gebroken wordt. De helling in een gebied hoeft maar heel gering te zijn om al problemen met oppervlakkige afstroming en erosie te veroorzaken. Leem en klei worden niet afgevangen door een zandvang en zorgen daardoor voor meer problemen dan erosie van zandgronden.



Foto: voorbeeld van bodemerosie in West-Vlaanderen (<http://www.west-vlaanderen.be>)

Zware buien kunnen vaker leiden tot water op het land of te veel water in de wortelzone, omdat de infiltratiecapaciteit van de bodem en/of de ontwateringcapaciteit onvoldoende is. De gevolgen hiervan voor de landbouw komen aan bod in paragraaf 3.4.



Figuur 3.6 Erosiegevoeligheid per gemeente in West- en Oost-Vlaanderen (bron: <https://dov.vlaanderen.be/>)

3.3.2 Watertekort in het landelijk gebied

Alle KNMI'06-scenario's laten in 2050 een opwarming zien. Deze opwarming varieert in de zomer van 0,9 °C tot 2,8 °C, ten opzichte van het klimaat in 1990. De opwarming leidt tot meer verdamping. De verdampingstoename is bij de W-scenario's groter dan de toename van de neerslag. Daardoor neemt het neerslagtekort bij vooral het W+-scenario naar verwachting aanzienlijk toe. Dit leidt tot grotere watertekorten die, in combinatie met zeespiegelstijging, ook tot een verdere toename van de verziltingproblematiek kan leiden.

De zandgronden (blauwe gebieden op de bodemkaart: figuur 3.3) zijn het gevoeligst voor droogte, dit zal als gevolg van de klimaatverandering alleen maar toenemen door verminderde neerslag en grotere verdamping. Grondwateronttrekkingen vinden juist in deze gebieden plaats in het freatische grondwater (ondiep grondwater). Hierdoor neemt de druk op de zoetwatervoorraad toe, zeker als door warmere zomers ook het waterverbruik toeneemt. In de duinen zorgt een dalende grondwaterstand en een grotere vraag naar grondwater vanuit de drinkwatervoorziening en de landbouw voor extra verzilting.

De leemgronden kunnen in potentie veel meer water vasthouden dan de zandgronden. De leemgronden bevinden zich echter in de hellende gebieden, waar het water snel oppervlakkig afstroomt en minder tijd heeft om te infiltreren. Verharding van leem in tijde van droogte versnelt deze oppervlakkige afstroming.

In de poldergebieden neemt de vraag naar beregening uit kanalen en waterlopen toe. Dit voorjaar was het uit oogpunt van droogte verboden voor boeren om water uit de het grond- en oppervlaktewater op te pompen om vee van te laten drenken. In diezelfde periode was beregening van landbouwgrond met

oppervlaktewater ook verboden. Beide verboden hadden tot doel om te voorkomen dat er nog meer brakke kwel naar boven werd kwam en hoog in de wortelzone en het oppervlaktewater terecht kwam.

Ook de watervoorraad in de gespannen (de diepere watervoerende pakketten) komt steeds meer onder druk te staan, dit door de toenemende watervraag en omdat er minder aanvoer vanuit de bovenliggende lagen en vanuit de voedende gebieden komt.

Bij verdroging van landbouwgrond speelt niet enkel de bodemtextuur (waterbergend vermogen in wortelzone) een rol, maar ook de grootte van de capillaire nalevering uit het grondwater (naar de wortelzone). Zo kunnen gronden meer of minder droogtegevoelig zijn afhankelijk van de diepte van het grondwater. In poldergebieden (vb. sommige percelen in Meetjeslandse Polders) komen ook gronden voor met een vrij zware bovengrond (zwaardere bodemtextuur in de bouwvoor), maar reeds vrij ondiep een zandsubstraat. Deze gronden zijn droogtegevoelig, omdat bij dalende grondwaterstand (bij neerslagtekort/droogte) in het zandsubstraat de capillaire nalevering naar de bouwvoor snel onderbroken wordt.

Voorwaarde om te kunnen beregenen uit kanalen/waterlopen in polders in droge periode is wel dat het zoutgehalte van het water voldoende laag is. Dit water wordt doorgaans echter vrij snel te brak voor de meeste gewassen (en gewasstadia).

3.3.3 Toename van verzilting in het landelijk gebied

In het kust- en poldergebied zal de verzilting toenemen. In de kustgebieden (duinen) neemt de vraag naar drinkwater toe, waardoor de omvang van de zoetwaterlenzen afneemt. Ook is er minder aanvulling door neerslag als gevolg van toenemend verhard oppervlak en drainage, waardoor water niet kan infiltreren. Als gevolg van de zeespiegelstijging zal ook de druk op de zoetwaterlenzen toenemen.

Als gevolg van de zeespiegelstijging neemt de zoute kweldruk ook in de polders toe. Met name in de sloten neemt de zoute kwel toe en in mindere mate ook onder de percelen. De sloten worden zouter. Als hieruit beregend wordt heeft dit nadelige gevolgen voor de gewassen en het zoutgehalte in de bovenste grondlaag. Ook vee dat gedrenkt wordt met slootwater ondervindt nadelige gevolgen van het drinken van minder zoet water.

De verzilting kan enigszins tegengegaan worden door een hoger peil in de polderwaterlopen. Als het peil in een waterloop hoger is dan de grondwaterstand, dan zal er water van de waterloop de bodem in infiltreren en hierdoor het zoute water enigszins naar beneden drukken. Voorwaarde is wel dat er voldoende aanvoer van zoetwater in het oppervlaktewaterstelsel is.

Aanvoer van zoet water tijdens droge perioden is in Leopoldkanaal (Sint-Laureins, Assenede) een probleem. Het aangevoerde zoete water uit de zandstreek wordt via het Isabellagemaal afgeleid naar Nederland (Philippine, Braakman) voor drinkwaterwinning, waardoor het niet meer beschikbaar is voor doorspoeling van het Leopoldkanaal.

3.4 Landbouw

Klimaatverandering zal op de landbouw diverse gevolgen hebben. Deze worden nader toegelicht in deze paragraaf. Opgemerkt dient te worden dat economische ontwikkelingen (prijzen) en technische ontwikkelingen doorgaans dominant zijn ten opzichte van de geleidelijke effecten van klimaatverandering en dat de landbouw een groot adaptief vermogen bezit. Aanpassingen op het bouwplan of de teeltwijze kunnen mogelijk sneller doorgevoerd worden (middellange termijn) dan de klimaatverandering. Dit vraagt mogelijk ook aanpassingen van machines en teeltkennis en dergelijke. Wanneer adaptatie mogelijk is, vergt dit dus wel enige tijd.

3.4.1 Landbouw in West- en Oost-Vlaanderen

Landbouw is qua grondgebruik de grootste functie in zowel West- als Oost-Vlaanderen, met een ruimtebeslag van respectievelijk 68% en 52% van het landoppervlak. Het grootste deel hiervan bestaat uit bouwland (met name maïs, andere graangewassen en aardappelen), gevolgd door grasland en tuinbouw. In tabel 3.1 is het oppervlak aan landbouwgewassen per categorie en provincie weergegeven.

West-Vlaanderen produceert meer dan de helft van de aardappelen in Vlaanderen en meer dan 60% van de groenten in de open lucht. Met circa 10.000 bedrijven neemt West-Vlaanderen circa 33% van de Vlaamse landbouwproductiewaarde voor haar rekening. Ook qua veehouderij is West-Vlaanderen de grootste Vlaamse provincie met 3 miljoen varkens (54% Vlaanderen), 10 miljoen stuks pluimvee (36%) en 400.000 runderen (32%).

In Oost-Vlaanderen is de landbouw iets minder dominant, maar desalniettemin duidelijk aanwezig. De verdeling over de categorieën in tabel 3.1 is vergelijkbaar met West-Vlaanderen. Alleen de kweek van bloemen en bomen is groter qua oppervlak dan in West-Vlaanderen. Oost-Vlaanderen is de tweede Vlaamse provincie qua hoeveelheid varkens met 1,1 miljoen stuks. Daarnaast zijn er 5 miljoen stuks pluimvee (18 % van Vlaams totaal) en 332.000 runderen (25 %).

Landbouwgewas	West-Vlaanderen	Oost-Vlaanderen
Blijvend grasland	54.255 ha	47.317 ha
Voedergewassen (maïs en tijdelijke weiden)	50.553	44.886
Granen	48.947	33.435
Aardappelen	22.633	11.446
Nijverheidsgewassen (vooral suikerbieten)	11.521	4.375
Tuinbouw: groenten in open lucht	17.058	2.898
Sierteelt in open lucht	256	468
Boomkwekerij in open lucht	520	1.539
Boomgaarden	424	1.305
Teelten in serres	499	502
Totaal	206.666 ha	148.171 ha

Tabel 3.1: *Oppervlakte land- en tuinbouwteelten in West- en Oost- Vlaanderen (bron: Landbouwtelling, FOD Economie, cijfers mei 2010)*

3.4.2 Gevolgen voor gewasproductie

Algemeen

Klimatologische variabelen verklaren voor een groot stuk de variabiliteit van zowel de kwaliteit als de kwantiteit van de jaarlijkse opbrengst van de verschillende landbouwgewassen. Fysiologische processen zoals evaporatie, transpiratie en fotosynthese worden beïnvloed door weerspatronen en door de opeenvolging van verschillende klimatologische variabelen op verschillende tijdschalen van dagelijks tot jaarlijks.

Temperatuur

Theoretisch verhoogt toenemende temperatuur de potentiële productiemogelijkheden. Voor de meeste actueel in Vlaanderen verbouwde gewassen ligt het temperatuuroptimum immers boven de huidige gemiddelde temperatuur. Temperatuurstijgingen van grootteorde *meer* dan 2°C leiden echter met het *actuele* areaal en bodemgebruik in onze gebieden meestal tot een daling van de mogelijke opbrengst.

Verhoogde CO₂-concentraties hebben anderzijds een positieve invloed op opbrengstverwachtingen⁶. CO₂ voedt de fotosynthese. Door hogere CO₂-concentratie kan meer biomassa en veldvrucht worden aangemaakt.

Een voorbeeld van een mogelijk negatief effect van temperatuurstijging is doorwas bij aardappelen (aardappel niet meer van voldoende kwaliteit door bijv. 'glazigheid') door een te hoge temperatuur in de aardappelrug (de verhoogde 'rijen' in de bodem waarin aardappelen worden gepoot).

De mate waarin deze beide effecten elkaar opheffen verschilt per gewas. Boven bepaalde fysiologische drempels neemt het bemestende effect van de CO₂ af. De positieve effecten wegen niet langer op tegen vermindering van de opbrengsten doordat de temperatuur te hoog wordt voor de gewassen, de ontwikkeling van ziekten en plagen wordt bevorderd of omdat er perioden zijn waarin een gebrek aan water optreedt.

Watertekort en -overlast

Een (geringe) verwachte temperatuurstoename is op zich dus positief, maar deze kan teniet gedaan worden door een eventueel watertekort. Op het eerste gezicht kan het watertekort op basis van de kaarten met klimaatscenario's (zie hoofdstuk 2) meevallen (toename zomerneerslag bij W-scenario), zolang er geen wijziging in het overheersende circulatiepatroon van de luchtstromingen optreedt (afname zomerneerslag bij W+ -scenario).

De hoeveelheid neerslag is echter niet de enige parameter die relevant is voor de vochtvoorziening van planten. Ook de intensiteit van de neerslag en de periode waarin deze valt zijn belangrijke factoren. De toename van de winterneerslag (in alle scenario's) en mogelijk ook in het voor- of najaar (in deze studie niet onderzocht), verhoogt het overstromingsrisico, bemoeilijkt grondbewerkingen en doet het risico op bodemerosie toenemen.

Daarnaast neemt bij een temperatuurstijging de waterbehoefte (evapotranspiratie) toe, terwijl er een geringe afname van de zomerneerslag wordt verwacht en zal de neerslagefficiëntie⁷ als gevolg van een hogere frequentie van zware buien een stuk lager worden. Een watertekort zal minder door de bodemreserve in de wortelzone opgevangen kunnen worden. De grootste opbrengstverliezen zullen voorkomen op gronden met beperkt waterbergend vermogen (zand, klei en leem in volgorde van voor de plant beschikbare waterberging), een laag organischestofgehalte, een slechte bodemstructuur of een beperkte worteldiepte van gewassen. Verder vergroot in het kust- en poldergebied en de komgronden⁸ het risico op verzilting.

Conclusie algemeen

Bovenstaande maakt dat, mits tijdig de nodige adaptatiemaatregelen getroffen worden, de op til zijnde klimaatsverandering in het West-Europees gematigd zeeklimaat voor de landbouwsector niet problematisch hoeft uit te vallen. De klimaatsverandering is niet dermate ingrijpend dat teeltgroepen regionaal zullen verdwijnen. Zoals verder aangegeven kan men op middellange termijn evenwel verschuivingen in areaal, bodemgebruik, teelttechniek verwachten. Gezien de tijdspanne lijkt het volgens de geconsulteerde auteurs anderzijds wel plausibel dat kennis en technologische vooruitgang en de toepassing ervan in concrete adaptatiemaatregelen gelijke tred kunnen houden met het proces van

⁶ A. Gobin, P. Van de Vreken, Adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw aan klimaatverandering, 2009, 129 p., Klimaatpark Arenberg en SADL/KULeuven

⁷ Het aanvullen van de grondwaterlagen door natuurlijke insijpeling van regenwater vraagt tijd, zodat lichte langdurige regens vele malen efficiënter zijn in vergelijking met een korte hevige stortbui die het water in een mum van tijd via krimpscheuren of geultjes naar beken en rivieren doet afstromen. Bij zwaardere buien reduceert de infiltratie van de neerslag en vermindert aldus het beschikbare bodemwater voor de gewassen. Hierdoor vergroot zowel de waterbehoefte als de nood aan opvangcapaciteit (waterreservoirs en wachtbekkens)

⁸ Lager gelegen vochtigere, veelal zeer kleirijke gronden; soms venig in de ondergrond.

klimaatverandering. Adaptatiemaatregelen betreffen voornamelijk de teeltkeuze, de teelttechniek, de variëteitenkeuze, de plantveredeling en de bestrijding van ziektes en plagen. Belangrijk is dat met een temperatuurstijging het belang van de beschikbaarheid van water wel toeneemt.

Gevolgen per gewas

Granen

De graanteelt bestaat in Oost- en West-Vlaanderen bijna ééndertig van het landbouwareaal (korrelmaïs en wintertarwe). Omdat wintertarwe gebruik kan maken van de vochttopslag tijdens najaar en winter is de te verwachten impact van de klimaatverandering relatief minder groot. Bovendien zullen oogstverliezen als gevolg van droogtestress bij afrijping in de zomer voor een stuk ondervangen worden door gepaste adaptatietechnieken die inspelen op de groeicyclus, zoals rassenkeuze, aanpassen van de zaaidatum en keuze van de bemestingsdatum rekening houdend met temperatuursommen, vernalisatie (nood aan winterrust) en fotoperiodisch actieve daglengte (de duur van het daglicht)⁹. Wel is tarwe op zware Poldergronden (zoals de Scheldepolders), droogtegevoeliger dan tarwe op zandleem- en leemgronden. Enkel in de klimaatscenario's met hogere temperatuurstijging is het effect op de productie toenemend negatief.



Voedermaïs

Het grootste deel van de voedergewassen bestaat uit voedermaïs. Het effect van de toenemende CO₂ – concentratie op maïs is klein (vanwege de C₄ – fotosynthesecyclus). De voedermaïs die laat gezaaid wordt is bij het opkomen sterk afhankelijk van de droogtestress op het moment van zaaien. Een tweede cruciale periode is de periode van de bloei en begin van de korrelzetting (eind juni – begin juli). Opbrengstverschillen (en opbrengstderving !) kunnen van plaats tot plaats sterk verschillen.

Een temperatuurtoename voor maïs is potentieel positief. Dit subtropisch gewas vereist een hoge kiemtemperatuur (8 à 10°C; dus pas te zaaien na 20 april), heeft een korte groeiduur (150 dagen) en vraagt veel warmte (vooral in begin van ontwikkeling). De oogst gaat pas significant achteruit wanneer de gemiddelde temperatuur 23°C bereikt of de dagmaxima boven 30°C oplopen. In het W+-scenario valt de sterke toename van het aantal tropendagen in het Vlaamse binnenland op (van 4 naar ongeveer 17). In de kuststreek en de polders is de toename kleiner.

Het risico op slecht afgerijpte maïs met een laag droge stofgehalte ten gevolge van een koude zomer neemt af, omdat het aantal warme dagen (max > 20°C) in het binnenland toeneemt van circa 100 naar 115 (W scenario) of ruim 130 (W+ scenario). Om deze reden is er ook een verschuiving te verwachten van voedermaïs richting een groter aandeel korrelmaïs. Korrelmaïs is bovendien minder droogtegevoelig in vergelijking met deegmaïs.

Suikerbieten

Alhoewel voor suikerbieten zowel de temperatuurstoename als de verhoogde CO₂-concentratie een toename van het suikergehalte tot gevolg zouden moeten hebben (door versnelde groei, vroegere sluiting

⁹ K. Reinink, I. Jorritsma, A. Darwinkel, 1985, "Adaptation of the AFRC wheat phenology model for Dutch conditions

van het gewas en verhoogde benutting van zonnestraling), voorziet men dat door het frequenter en intenser optreden van droogtestress (met “slapende bieten”) de totale productie negatief zal gaan uitvallen en ook de jaarlijkse opbrengstvariabiliteit zal toenemen.

Het probleem zal sterker manifesteren op bodems met lichtere textuur en zonder hoge grondwaterstand. Het probleem zal zich waarschijnlijk veel minder stellen in de poldergronden, afhankelijk van de mate waarin de grondwaterstanden in de polders gehandhaafd kunnen worden. Suikerbieten wortelen zeer diep. Een belangrijk deel van het verwachte neerslagtekort zal immers aangevuld worden door capillaire nalevering vanuit de eerder hoge grondwatertafel.

Aardappelen

Aardappelen gedijen het best in een gematigd koel klimaat. Temperatuurstijging zal er voor zorgen dat het groeiseizoen van sommige soorten verkort wordt. Samen met een toenemende waterbehoefte wordt een grotere opbrengstvariabiliteit verwacht en daarmee een verhoogd teeltrisico. Bovendien is sterkere ontwikkeling van ziekten en plagen te vrezen doordat vroeger in het voorjaar omstandigheden ontstaan (hogere temperatuur) voor ziektebedreiging en -ontwikkeling. Het gewas is gedurende een langere periode (enkele weken waarschijnlijk) vatbaar voor de aardappelplaag. Meer onweerachtige buien in het zomerhalfjaar (W-scenario) kunnen de ontwikkeling van aardappelziekte (Phytophthora-ziekte) bespoedigen.

Ook het risico op doorwas (hernemen van groei na een hitte- en droogteperiode) zal aanzienlijk toenemen doordat deze omstandigheden veel frequenter zullen optreden. Klimaatsimulaties suggereren mogelijke opbrengstverliezen van ruwweg 20-25% ten opzichte van actuele klimaatsomstandigheden.

Een inkrimping van het aardappelareaal in nagenoeg geheel Oost-Vlaanderen en het West-Vlaamse binnenland en het opschuiven naar meer noordelijke (Noord-Nederland) en maritieme streken (Groot-Brittannië) lijkt niet onrealistisch. Overschakeling op teelten van minder ziektegevoelige rassen kan de vermelde impact wellicht maar ten dele ondervangen.

Grasland

Voor wat betreft grasland zou de klimaatsverandering in een verhoogde productie moeten resulteren, zowel door het temperatuur- als het CO₂-effect. Het groei- en dus ook het weideseizoen zullen immers één, misschien zelfs twee maanden langer worden; in de late herfst en vroege lente dus, wanneer ook de vochtomstandigheden goed zijn. Gras groeit al zodra de gemiddelde temperatuur 6°C overtreft. Beperkende factor zal in die periode de beschikbare lichthoeveelheid zijn ten gevolge van de korte daglengte en de lage zonnestand. Wel moet rekening gehouden worden met de te verwachten frequentere periodes van groeistilstand in de zomer als gevolg van droogte.

Fruitteelt

Vooraf in Oost-Vlaanderen speelt fruitteelt een rol. Hier ligt ongeveer 1250 hectare dat benut wordt voor appel- en perenteelt. Het effect van de verwachte klimaatverandering op de fruitteelt is eerder negatief dan positief. De (kans op) toename van ziekten en plagen (zoals witziekte en bladluizen), productieonzekerheid en kwaliteitsverlies (o.a. toenemende hagelschade), wordt wellicht niet gecompenseerd door de positieve effecten van meer kleur of een langere groeiperiode voor laatrijpende cultivars. Dit laatste maakt wel dat in Vlaanderen appelrassen zoals Breaburn kunnen geteeld worden. Zachtere winters geven aanleiding tot vroegere bloei. Dit zorgt voor een verhoogd risico op vorstschade door wisselvallige weersomstandigheden in het vroege voorjaar. De winterrust bij appelbomen wordt namelijk doorbroken bij een gemiddelde temperatuur van 7°C. Daarna reageren bloemknoppen vrij lineair op de warmtesom om tot bloei te komen.

Glastuinbouw

Glastuinbouw is zowel in West- als Oost-Vlaanderen met 500 hectare economisch erg belangrijk (in Vlaanderen zorgt glastuinbouw voor 15 % van primaire landbouwproductiewaarde). De twee provincies zijn samen goed voor bijna de helft van de totale Belgische glastuinbouwproductie. Het gaat vooral om sierteelt en glasgroente. De glastuinbouw profiteert van de temperatuurstijging door een sterke reductie van de te verwachten stookkosten (2/3 van de totale energiekosten van de landbouwsector).

Een negatief effect kan een mogelijk hogere frequentie van extreme hagelbuien zijn (duurdere verzekeringspolissen), maar er is geen model voorhanden om dit effect adequaat te kwantificeren. In de polders (vooral in West-Vlaanderen) moet men daarnaast de gevoeligheid van serreteelten voor mogelijke bodemverziltting in de gaten houden.

Groenteteelt in open lucht

Vooral in West-Vlaanderen is de groenteteelt van zeer groot belang met ruim 60% van de Vlaamse productie in open lucht. In de eerste plaats bloemkool, maar ook groenten als prei, bonen, wortelen en spinazie worden op grote schaal verbouwd. In Oost-Vlaanderen is het areaal groenteteelt relatief bescheiden (ca 3% van het bouwland). Erwten voor industriële verwerking zijn hier het belangrijkste.

De verlenging van het groeiseizoen is positief voor deze teelt, zowel voor teelten met een korte groeiduur (bijv. twee keer oogsten van sla) als het aanbod van volle grondgroenten. Voor vroege bloemkool (voorjaarsbloemkool) wijzen simulaties bijvoorbeeld op een verhoogde productie bij een gematigd W scenario. Voor spinazie (in West-Vlaanderen belangrijk voor de diepvriesindustrie) zijn zachtere winters bevorderlijk voor de winterenteelt en de vroege spinazienteelt. Omdat een niet te natte en goed doorlatende grond door de nattere winters aan belang zal winnen, lijkt een noordwaarts opschuiven van de productiegebieden in Vlaanderen naar drogere meer zandige bodems waarschijnlijk. De teelt van zomerspinazie daarentegen zal door de toenemende warmteperiodes verder in belang afnemen.

Het is echter niet denkbeeldig dat op termijn voor groenten zoals spinazie een verschuiving van West-Vlaanderen naar drogere meer zandige gronden plaats vindt.

Voor de meeste groenten is beregening zeer belangrijk. Een toenemende vraag naar beregeningswater zal (verder) in conflict komen met de beschikbare waterreserves. In grote delen van beide provincies is onvoldoende grondwater beschikbaar voor irrigatie. Ook met betrekking tot oppervlaktewateren zal dit tot verdere maatschappelijke afwegingen leiden (aanspraak door natuur, industrie, scheepvaart, recreatie). Een andere negatieve factor, naast de toenemende irrigatiebehoefte (met noodzakelijke investeringen), is een verhoogd ziekterisico. De koolwortelvlieg bijvoorbeeld zou volgens Brits onderzoek bij het W+ scenario ongeveer een maand langer actief zijn. Er treedt een snellere ontwikkeling van insecten op en het aantal generaties per seizoen zal toenemen.

De sterke verstedelijkingsgraad (afzetmark regio Gent als westelijke punt van kerngebied Antwerpen-Gent-Brussel-Leuven) maakt dat de openlucht groenteteelt landbouweconomisch erg aantrekkelijk blijft, zelfs ingeval van verhoogde productiekosten.

Kansen voor andere teelten

Klimaatverandering biedt substitutiemogelijkheden voor landbouwteelten die nu nauwelijks mogelijk zijn in Vlaanderen. In het W-scenario lijkt het Vlaamse klimaat bijvoorbeeld op het actuele klimaat in midden Frankrijk, maar met zomerse buien die eerder optreden in centraal Europa. Energiegewassen als winterkoolzaad (nu nauwelijks verbouwd) bieden tevens perspectieven als erosiebestrijdend gewas door hun bodembedekking in de winter. Het verbouwen van olifantengras, een C₄-gewas met een hoger temperatuuroptimum, zit nog in de experimentele fase.

Ook voor wijnbouw schept de klimaatverandering gunstiger omstandigheden. In West- en Oost-Vlaanderen wordt dit nu slechts gecommmercialiseerd in de omgeving van de Kemmelberg en op zandleemgronden in Vlierzele en Herdersem (Aalst). Ook aan de teelt van zonnebloemen kan gedacht worden (bijv. voor biomassa-productie).

3.4.3 Gevolgen voor dierlijke productie

De dierlijke productie is goed voor meer dan 50 % van de landbouwmomzet in West- en Oost-Vlaanderen. West-Vlaanderen, met de regio Torhout-Wingene als zwaartepunt, is bij uitstek de belangrijkste Vlaamse provincie qua varkens- en pluimveeteelt. Zoals eerder aangegeven is de dierlijke productie ook in Oost-Vlaanderen goed vertegenwoordigd.

Klimaatopwarming doet in eerste instantie denken aan een mogelijk verhoogd risico op warmtestress. Varkens blijken echter geen significante verschillen in groeisnelheid te vertonen over een breed spectrum van temperaturen. Kippen zijn meer hittegevoelig en bij melkkoeien neemt de voeropname, en daarmee de melkproductie, af vanaf omgevingstemperaturen van 25°C (sterke daling boven de 30°C). Negatieve effecten van koude doen zich in de huidige klimaatsomstandigheden voor landbouwhuisdieren nauwelijks voor.

In tabel 3.2 zijn berekende productieverliezen weergegeven voor varkens (groei), kippen (eieren) en koeien (melk) op basis van simulaties met een toename van het aantal tropendagen volgens het W en W+ scenario (bron: klimaatpark Arenberg).

	Westvlaamse varkens-regio		Centraal Oost-Vlaanderen	
	W scenario	W+ scenario	W scenario	W+ scenario
Varkens	- 0.5 %	- 1.0 %	- 1.0 %	- 2.0 %
Kippen	- 0.25	- 0.5	- 0.5	- 1.0
Runderen	- 0.65	- 1.3	- 1.3	- 2.6

Tabel 3.2 Berekende productieverliezen (groei, eieren, melk) in procenten ten gevolge van het toenemend aantal tropische dagen ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}^{10}$).

De tabel toont aan dat de verwachte productieverliezen beperkt genoemd mogen worden. Bovendien zijn er talrijke adaptatiemaatregelen beschikbaar om de negatieve impact grotendeels te verminderen, zoals: schaduwplaatsen voor het vee (aanplant bomenrijen), isolatie staldak, ventilatie en evaporatieve koeling
aanpassing rantsoensamenstelling (naar hoger vet- en lager proteïne- en vezelgehalte)
koeling van drinkwater
hittetolerante dierrassen

De klimaatverandering verhoogt wel het risico op mogelijke uitbraken van meer exotische dierziekten als blauwtongziekte. Hierbij speelt overigens ook transport van dieren vanuit de omgeving van de Middellandse Zee een belangrijke rol (hierdoor kan ziekte overgebracht worden).

3.4.4 Verminderende vruchtbaarheid landbouwgronden

Organische stof is een essentiële indicator voor de vruchtbaarheid van landbouwgronden. Hoe hoger het organischestofgehalte hoe vruchtbaarder de grond is. Daarnaast zijn gronden met een hoog organischestofgehalte minder gevoelig voor erosie. Voor de landbouwsector is een hoog organischestofgehalte dus van groot belang.

De temperatuurstijging en de toename van de neerslag in de wintermaanden en mogelijk ook in de zomermaanden als gevolg van klimaatverandering versnelt de afbraak¹¹ van organische stof in

¹⁰ Deze cijfers geven wellicht een overschatting van de werkelijkheid, omdat er van uitgegaan is dat de temperatuur de gehele dag minstens 30° C bedraagt

¹¹ Bij de afbraak van de organische stof of humus wordt deze omgezet, afgebroken tot eenvoudige bouwstenen, en komen water, CO₂ en voedingsstoffen vrij in de bodem.

landbouwgronden. Dit weegt waarschijnlijk niet op tegen een minder intensieve afbraak van deze organische stof tijdens langdurige drogere zomers.

Was in de jaren '80 het koolstofgehalte nog vrij constant, vanaf het begin van de jaren 90 is deze op de Vlaamse akkerbouwgronden op alle bodemtypen afgenomen. Deze bereikte omstreeks 2007 haar dieptepunt. De daling is het minst uitgesproken op de Leembodems in het zuiden van de provincie. In onderstaande tabellen zijn de koolstofgehalten sinds 1989 van akkerbouwgronden in diverse gemeentes in West- en Oost-Vlaanderen gegeven.

Periode	Veurne (Polder)	Oostkamp (Zandstreek)	Poperinge (Zandleemstreek)	Heuvelland (enkel leemgronden)
1989-1991	2.490 %	2.193	1.710	1.680
1992-1994	2.282	2.184	1.624	1.679
1995-1997	2.258	2.091	1.553	1.594
1998-2000	2.211	1.925	1.500	1.623
2001-2003	1.954	1.803	1.349	1.389
2004-2007	1.766	1.723	1.275	1.327
2008-2010	1.796	1.782	1.392	1.402

Tabel 3.3 Gemiddeld koolstofgehalte in % van alle akkerbouwstalen genomen door de Bodemkundige Dienst in enkele gemeenten uit West-Vlaanderen

Periode	Assenede (Polder)	Evergem (Zandstreek)	Ninove (Zandleemstreek)	Brakel (enkel leemgronden)
1989-1991	1.929 %	2.148	1.509	1.461
1992-1994	1.863	2.115	1.638	1.533
1995-1997	1.774	1.901	1.472	1.321
1998-2000	1.734	1.883	1.392	1.265
2001-2003	1.606	1.689	1.323	1.352
2004-2007	1.409	1.503	1.295	1.211
2008-2010	1.556	1.725	1.352	1.269

Tabel 3.4 Gemiddeld koolstofgehalte in % van alle akkerbouwstalen genomen door de Bodemkundige Dienst in enkele gemeenten uit Oost-Vlaanderen

De mogelijke oorzaken zijn velerlei (LNE, 2009, Organische stof, sleutel tot bodemvruchtbaarheid) :

- verhoging van de ploegdiepte, zodat de koolstof over een grotere diepte verspreid wordt;
- strengere bemestingsnormen en minder gebruik van stalmest en dierlijke mest;
- vermindering graslandareaal;
- gewijzigde teeltrotaties met minder graangewassen en een hoger aandeel snijmaïs;
- toegenomen bodemerosie;
- klimaatopwarming

Vanaf 2008 jaren is er een tendens tot licht herstel. Deze zijn mogelijk het gevolg van voorlichtingscampagnes voor land- en tuinbouwers, nieuwe wettelijke regelgeving m.b.t. de minimumeisen om landbouwgronden in goede conditie te houden.

3.5 Natuur¹²

3.5.1 Effecten op natuur - algemeen

Klimaatverandering heeft effect op de fysiologie, de fenologie, de geografische verspreiding en de genetische adaptatie van soorten, 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.

De gevolgen van klimaatverandering voor natuur spelen op een hoog schaalniveau. Deze vertalen zich uiteraard naar lokaal niveau. In het navolgende wordt ingegaan op verwachte gevolgen van klimaatverandering voor natuur in Noord-west Europa in het algemeen en wordt op diverse plaatsen alvast ingezoomd naar het lokale niveau. In paragraaf 3.5.2 worden de effecten nader toegesneden op West- en Oost-Vlaanderen.

Versterkte verdroging

Verdroging speelt al decennia in Vlaanderen 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. In droge perioden neemt brakke kwel in de polders 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 (Paulissen et al., 2007).), maar kan anderzijds kansen scheppen voor zoutminnende natuur.

Periodieke vernatting

De verwachting is dat er meer intense buien optreden, waardoor er meer kans is op een tijdelijke vernatting van bepaalde gebieden. Overstroming met regenwater kan tot (negatieve) effecten leiden op vegetatie, afhankelijk van het type vegetatie. Met name (tijdelijke) vernatting tijdens het groeiseizoen kan negatieve gevolgen hebben voor de natuurgebieden die niet waterafhankelijk zijn. Bij een slechte waterkwaliteit treedt mogelijk een vermestend effect op.

Voor fauna (m.n. insecten, kleine zoogdieren) kunnen inundaties tot verdrinking leiden, zeker in reliëfarme terreinen. Dit zorgt voor voedselgebrek bij grotere soorten. Van nature treden overstromingen vooral in de wintermaanden op. Zomerse overstromingen zullen vaker voor gaan komen of in bufferbekkens optreden. Deze bufferbekkens kunnen als moerasgebied bij de start van het broedseizoen veel broedvogels aantrekken, die vervolgens bij de eerste overstroming hun broedsel zien verloren gaan: een 'ecologische val'.

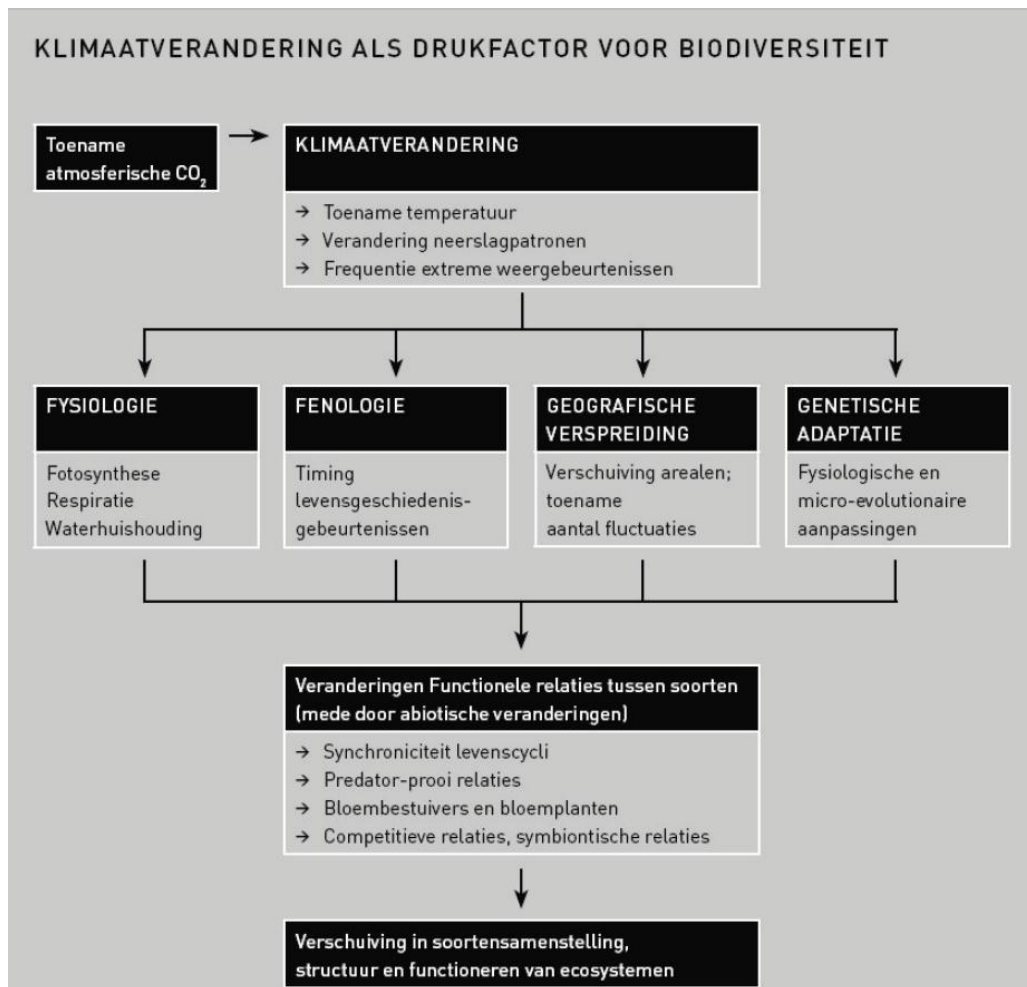
In het heuvelland zal door de erosie tijdens intense buien voedselrijk slib en afstromend water een sterke aanrijking veroorzaken in de lager gelegen gebieden en in de (bron)beken. Ook giftige stoffen kunnen hierdoor naar de lager gelegen gebieden en de beken en rivieren uitspoelen.

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

¹² Gebaseerd op Klimaat-effectschetsboek Zeeland, 2008

voortplantingshabitat; zie figuur 3.7). 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 ecologisch netwerk noodzakelijk.



Figuur 3.7 Samenvatting process die direct en/of indirect doorwerken op de biodiversiteit (gewijzigd naar Hughes 2000; uit Vos et al., 2007).

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. 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.

Verschuivingen in fenologische processen, bijv. in bloeitijdstip van planten, of trekgedrag van diersoorten, kunnen voor een groot aantal soorten en biotooptypes op langere termijn eveneens belangrijke gevolgen hebben. Ook stelselmatige verdroging van waterafhankelijke gebieden zal een belangrijke impact hebben op de biodiversiteit van deze gebieden

3.5.2 Gevolgen van klimaatverandering voor natuur in West- en Oost Vlaanderen

Droogte- en warmtestress

West- en Oost-Vlaanderen herbergen veel natuur in de beekdalen, op de overgang van het heuvelgebied naar de zandgronden en in de duinen. In veel gevallen gaat het om natuur die sterk afhankelijk is van het vochtgehalte in de bodem.

In de duinen is daarbij vooral de hoogte van het grondwater van belang, terwijl het in de beekdalen en aan de rand van het heuvellandschap ook gaat over voldoende aanvoer van de juiste kwaliteit kwelwater. De natuur in de beekdalen is daarnaast soms zelfs afhankelijk van een periodieke overstroming met schoon water uit de beek. Winterinundaties leveren daarbij over het algemeen geen probleem op voor de aanwezige vegetaties, zomer inundaties echter wel omdat de ecosystemen dan volop floreren. Als gevolg van klimaatverandering kunnen de zomerinundaties echter wel vaker gaan voorkomen door de toename van de frequentie van het voorkomen van piekbuien in alle scenario's. In alle gevallen is de waterkwaliteit van het inundatiewater wel van groot belang. Grootschalige inundaties van natuurgebieden langs de Leie en de Schelde hebben bijvoorbeeld door de niet al te beste waterkwaliteit het effect gehad dat de aanwezige vegetatie jaren nodig heeft gehad om zich weer te herstellen.

Door droogte en warmtestress vallen veel poelen niet alleen 's zomers, maar steeds vaker reeds in de lente droog. Dit proces zal in droge perioden op grotere schaal en frequenter gaan voorkomen door de daling van de grondwaterstanden. Dit zal ook het geval zijn voor de bovenlopen van bronbeken. Een gevolg van de droogval van beken is dat deze sneller gaan dichtgroeien waardoor hun watervoerend vermogen afneemt en de kans op wateroverlast dus toeneemt. Maar erger is dat het (voortijdig) droogvallen van beken en poelen ook erg negatief werkt op de fauna, zoals de kamsalamander die door Natura 2000-richtlijn wordt beschermd en juist afhankelijk is van poelen die zelden droogvallen en dus ook 's zomers een minimum aan water bevatten (door te snel droogvallen van poelen wordt metamorfose van larven van amfibieën niet tijdig voltooid). Droogvallende bronbeken zijn nefast voor de zeldzamere bronvegetaties en een heel aantal specifieke diersoorten. De bronbeken binnen de historische boskernen van de Vlaamse Ardennen bijvoorbeeld zijn het leefgebied van de uiterst zeldzame rivierdonderpad, beekprik, beekforel en vuursalamander. In de valleien van het West-Vlaamse en Oost-Vlaamse heuvelland vind je vaak een mozaïek van beekdalbosjes, schrale graslanden en moerassige gedeelten. Door de toenemende droogte zullen ook die steeds meer onder druk te komen staan.

In de zandstreek (o.a. Bulskampveld en Moerbeek) zijn nog enkele heidegebieden aanwezig van vooral droge typen. Dit geldt ook voor de enkele nog verspreid in de zandstreek gelegen moerasgebieden. Beide natuurtypen zullen verder verdrogen als +-scenario's werkelijkheid worden.

Verwacht kan worden dat natuur in de gebieden die nu al te lijden hebben onder verdroging, als gevolg van klimaatverandering in nog sterkere mate hieronder zal lijden in de +-scenario's. Er is immers een reële kans dat extreme droogteperioden vaker zullen voorkomen en langer zullen aanhouden. Ook natuur die nu niet verdroogd is, kan door het optreden van langere en extremere droogte in de gevarenzone komen.

Verder kan verdroging afgeleide effecten met zich meebrengen, zoals aanrijking, verzuring (Lamers, 2001 en Lucassen, 2004) en verzilting (Paulissen et al., 2007). De twee eerstgenoemde effecten treden op in vrijwel alle zoetwater afhankelijke natuurgebieden met een hoge sulfaatbelasting (bijvoorbeeld door aanvoer van door de landbouw beïnvloed oppervlaktewater of grondwater) of in bronbosjes en kwelgebieden waar door verdroging de mineralisatie van organisch materiaal kan toenemen en nutriënten gemakkelijker beschikbaar worden voor snelle groeiers zoals brandnetel.

Witte et al. (2007) hebben onderzoek gedaan naar de vermoedelijke gevolgen van klimaatverandering voor de Nederlandse kustduinen. Omdat deze duinen vergelijkbaar zijn met de Belgische zijn hun conclusies ook in Vlaanderen van toepassing. Hun conclusies zijn dat de droogte op de duinen 's zomers toeneemt, dat daarmee het aandeel kale grond stijgt en de grondwateraanvulling weer (licht) stijgt omdat er geen gewasverdamping meer plaatsvindt op kale grond. Welke effecten dit zal hebben op de grondwaterstanden en of dit tot meer voorjaarskwel aan de binnenduintrand zal leiden is nog niet bekend. Dit laatste is een belangrijke vraag in verband met het ter plekke voorkomen van kwelafhankelijke natuurtypen zoals bos van rijke gronden, bloemrijk grasland en nat schraalgrasland.

Effecten van het neerslagregime op het functioneren van het ecosysteem zijn echter moeilijk te voorspellen. Uiteraard is de omvang van de klimaatveranderingen nog niet zeker, maar de effectenketens op natuur zijn bovendien complex. Of grotere droogte bijvoorbeeld daadwerkelijk leidt tot minder vegetatiebedekking is moeilijk met zekerheid te stellen.

De verwachte temperatuurstijging heeft in de duinen verder waarschijnlijk effecten op het voorkomen van diverse soorten vogels, libellen, sprinkhanen maar ook op vaatplanten (zie ook het boek 'Levende duinen').

Verziltig

In de poldergebieden langs de kust komen zoet, brak en zout grondwater naast elkaar voor in een stabiel evenwicht. Klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling kunnen dat evenwicht verstoren door brakke kwel. Dit is een zeer geleidelijk en continu proces dat op de kortere termijn niet voor negatieve verrassingen zal zorgen.

Verziltig vormt potentieel een grote bedreiging voor bloemrijke graslanden en zoete stilstaande wateren in de poldergebieden. In mindere mate kan verziltig tot problemen leiden voor de natuurtypen bos van laagveen en klei, bos van rijke gronden, zoom, mantel en struweel, nat schraal grasland en multifunctioneel grasland. De actuele zoutbelasting ter plaatse is hierin niet verdisconteerd. Anderzijds heeft zilte natuur ook haar eigen waarde, bijvoorbeeld in weidevogelgebieden in de polders. Lokaal oppervlaktewaterbeleid in de polders kan beheerkeuzes in de ene of andere richting ondersteunen.

De zeespiegelstijging heeft mogelijk ook een belangrijk effect op het kustecosysteem. Het Masterplan Kustveiligheid anticipeert hier op. Tot slot is de windkracht en -richting een belangrijke factor aan de kust met gevolgen voor mobiliteit van duinen (en het voortbestaan van de daaraan gekoppelde levensgemeenschappen).

Effecten van waterberging

Hogere overstromingsfrequenties door oppervlaktewater als gevolg van klimaatverandering (bijvoorbeeld berging als adaptatie aan wateroverlast) vormt met name een bedreiging voor schrale natte natuur zoals de bossen langs de beken en bloemrijke graslanden. De kwaliteit van het overstromingswater is hiervoor onvoldoende en het afgezette slib verdicht de bodem.

Zomerse overstromingen zijn schadelijker dan winterse, ook voor de fauna, zoals op de grond broedende vogels en insecten.

Biodiversiteit

Door de klimaatverandering kan vochtstress bij bomen ontstaan, die daardoor gevoeliger worden voor secundaire ziekten en plagen. Er kan dan sterfte ontstaan door allerlei aantastingen. Verder is het klimaat belangrijk bij het afstemmen van het uitkomen van bijvoorbeeld insecteneitjes en het uitlopen van het blad van bomen. In Nederland en België lopen de eiken sinds de jaren 80 minstens twee weken eerder uit dan in de 25 jaar daarvoor. Insecten die van de zomereik afhankelijk zijn, moeten dus ook eerder actief worden. Wanneer de eitjes te vroeg uitkomen, dan leidt dit tot verhongering van de rupsjes. Uit het voorgaande blijkt dat klimaatverandering een belangrijke impact kan hebben op de ontwikkeling van insecten en andere dieren. We merken bijvoorbeeld dat de trek van padden de laatste jaren vaak steeds

vroeger start, soms al in januari, maar veel vaker onderbroken wordt doordat de warmere nachten sterk afwisselen met koudere nachten. De dieren moeten daardoor veel vroeger hun vetreserves aanspreken, waardoor ze vaak verzwakt de paartijd ingaan.

De klimaatverandering kan voor sommige vogels of insecten voedselschaarste veroorzaken doordat de voedselaanbod vroeger op gang komt, maar tegen de tijd dat de dieren actief worden of de nakomelingen afhankelijk zijn van bepaalde voedselbronnen, deze laatste al gevoelig kunnen geslonken zijn.

Meer en meer exoten, die voordien zich niet in onze streken konden voortplanten, krijgen door de klimaatverandering meer en meer kans om zich succesvol voort te planten, met alle gevolgen van dien.

Dumortier et al. (2009; NARA-S rapport "Klimaat" opgesteld als onderdeel van de Natuurverkenning 2030; beschikbaar via www.natuurverkenning.be) geven het volgende relevante effecten voor natuur aan voor de Vlaamse situatie:

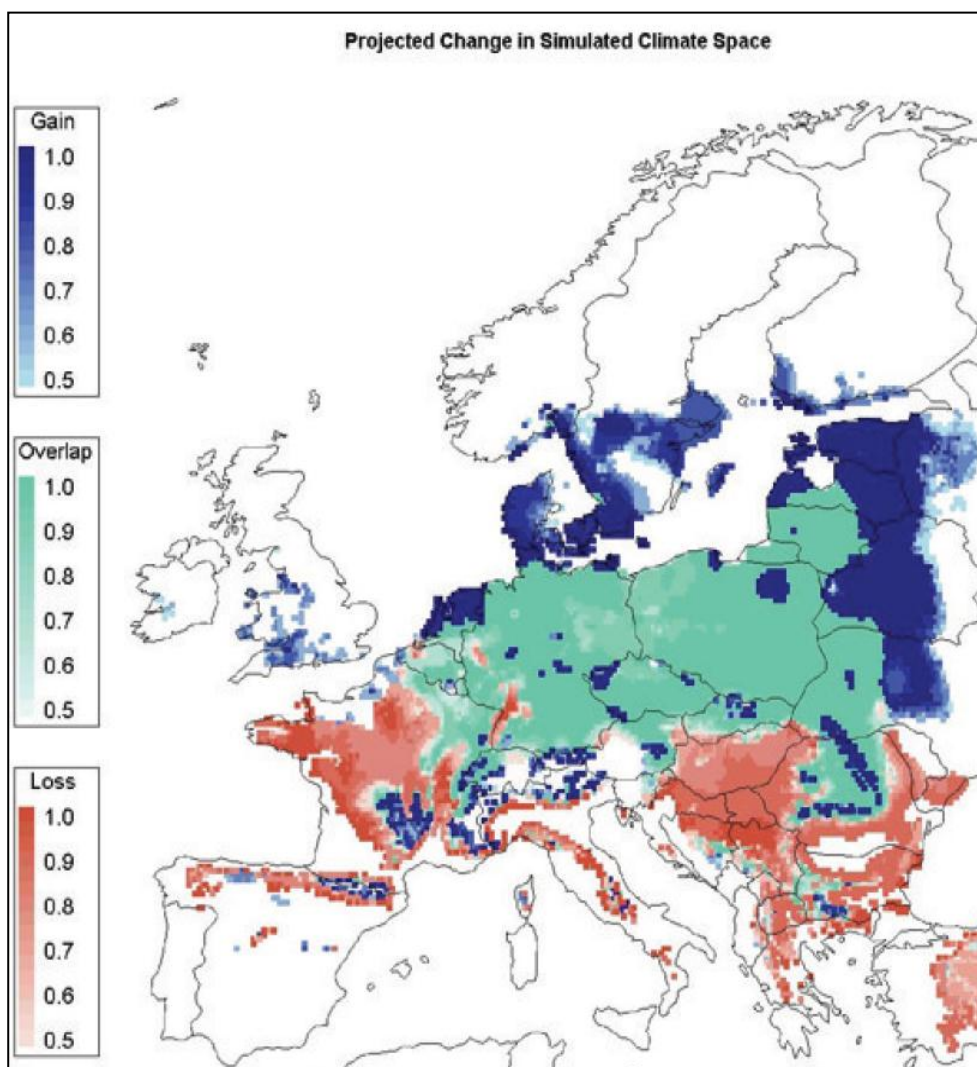
Achttien soorten broedvogels en zestien soorten dagvlinders, waaronder een aantal algemene soorten, lopen een verhoogd risico om tegen 2100 uit Vlaanderen te verdwijnen door de temperatuurstijging; Mogelijk kunnen nieuwe broedvogel- en dagvlindersoorten zich in Vlaanderen vestigen dankzij de temperatuurstijging;

De temperatuurstijging verhoogt de kans dat koudeminnende planten en dieren uit Vlaanderen verdwijnen, ook soorten die nu nog algemeen zijn. Andere meer warmteminnende soorten kunnen zich in Vlaanderen vestigen, indien hun dispersiecapaciteit hoog genoeg is en ze in Vlaanderen een gepast leefgebied vinden. In welke mate deze veranderingen aanleiding geven tot een bijkomend biodiversiteitsverlies, kan met de huidige kennis niet worden uitgemaakt;

Bij een veranderend landgebruik kan ingespeeld worden op klimaatveranderingen. In een gevalstudie voor de Kleine Nete wordt de impact van klimaatverandering en een wijzigend landgebruik op grondwaterafhankelijke vegetaties onderzocht. De potentiële oppervlakte voor grondwaterafhankelijke vegetaties in de vallei van de Kleine Nete neemt in alle landgebruiksscenario's toe. Vegetatietypen met een voorkeur voor zeer natte condities profiteren maximaal van een veranderend landgebruik en klimaat

Verschuiving klimaatvelop broedvogels

Voor veel broedvogels verschuift de geschikte klimaatzone, en daarmee de geschikte broedgebieden op (inter)nationaal niveau. Dit betekent op regionaal/lokaal niveau dat sommige broedvogelsoorten in aantallen achteruit zullen gaan (als Vlaanderen in de rode zone van figuur 3.8 is gelegen; koudeminnende soorten), sommige vooruit (als Vlaanderen in de blauwe zone van figuur 3.8 is gelegen; warmteminnende soorten). Voor andere soorten zal het klimaat geschikt blijven (in de groene zone van figuur 3.8; neutrale soorten). Het verschuiven van arealen van soorten kan lokaal effect hebben op het behalen (of niet) van Natura 2000 en provinciale en nationale doelen.



Figuur 3.8 Verwachte verandering van de ligging van de klimaatvelop van de Middelste Bonte specht bij een veranderend klimaat (Berry et al., 2007).

Vooruitzichten voor weidevogels (mond. Med. A. Schotman, soortexpert weidevogels)

Het broedsucces van weidevogels in Vlaanderen hangt nauw samen met de datum dat de eerste keer wordt gemaaid. Door het maaien worden de nesten vernield. In de loop van de afgelopen eeuw is de eerste maaidatum met enkele weken vervoegd. Dit als gevolg van een betere ontwatering en bemesting van de weilanden, waardoor er eerder kon worden gemaaid. Weidevogels konden zich aan deze veranderende omstandigheden aanpassen door het vervoegen van hun broedseizoen. Uit gegevens blijkt dat de Kievit en grutto hun legpiek met zo'n twee weken vervoegd hebben. Dit proces van vervoegen van het broedseizoen zet nog steeds door; bij het vinden van het eerste Kievitseizoen worden steeds weer records gebroken.

Door klimaatverandering zal het groeiseizoen voor de vegetatie eerder beginnen. Daardoor zal de eerste maaidatum nog verder vervoegd worden. De vraag is of weidevogels hun broedseizoen met de eerste maaidatum mee kunnen vervoegen. Tot voor kort leken ze de vervoeging in de landbouw bij te kunnen houden. De 'rek' in het meeschuiven van het broedseizoen lijkt er echter uit: Er zijn onderzoekers die

beweren dat de grutto haar broedseizoen niet meer kan vervroegen als dat nodig is om de maaibalk voor te blijven. Veel weidevogelsoorten worden dus, behalve door het directe klimaateffect op deze soorten (minder geschikt voor broeden), met name bedreigd door een indirect klimaateffect: de vervroeging van de eerste maaidatum.

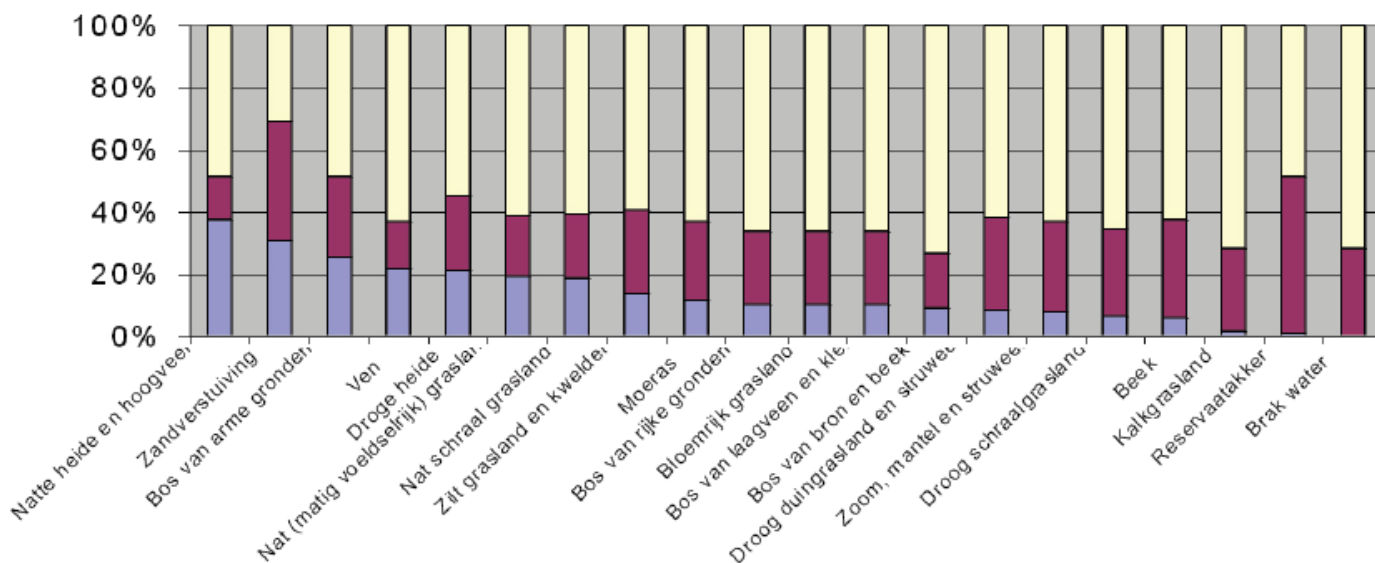
Voor de toekomst is te verwachten dat graslanden uitstekend weidevogelgrasland kunnen blijven, mits de graslandpercelen minder intensief worden gebruikt en de eerste maaidatum niet verder wordt vervroegd. Zonder aangepast beheer is te verwachten dat weidevogels sterk achteruit zullen gaan.

Veranderingen soorten binnen ecosystemen

In ecosystemen met een groot aandeel koudeminnende soorten bestaat de kans dat soorten verdwijnen waardoor het functioneren van het ecosysteem verandert, wanneer de vrijkomende niches niet worden opgevuld door binnenkomende soorten.

Natte en zilte graslanden zijn 'middenmoters' wat betreft het voorkomen van warmte- en koudeminnende soorten, in vergelijking met andere natuurtypen in Vlaanderen. Uit een omvangrijke studie naar de verandering van het voorkomen soorten in Nederland blijkt dat deze natuurtypen voor zo'n 10-20% van de huidige faunadoelsoorten achteruitgaan in aantallen (Vos et al., 2007). Uit dezelfde studie blijkt dat zo'n 20-30% van de huidige faunadoelsoorten zal profiteren van het warmere klimaat (figuur 3.9;). Het is aannemelijk dat in Vlaanderen een vergelijkbare verandering op kan gaan treden. Ook kan de vestiging van nieuwe soorten uit zuidelijker gelegen natte gebieden verwacht worden.

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 een afname van biodiversiteit plaatsvinden. Ook kunnen door areaalverschuivingen plaagsoorten vanuit het zuiden binnenkomen of vaker een probleem worden. Ook soorten uit andere continenten (exoten) kunnen door de grote menselijke mobiliteit makkelijker hier terechtkomen en soms problemen geven bij invasief optreden.



Figuur 3.9 Percentage warmte- en koudeminnende soorten per natuurdoeltype in Nederland (Vos et al., 2007)

Legenda: In blauw: % koudeminnende soorten, In rood: % warmteminnende soorten, In geel: % neutrale soorten

Gebieden zijn te klein

Klimaatverandering leidt tot grotere weersextremen waardoor populaties sterker in aantallen gaan fluctueren. Hierdoor neemt de kans op het plaatselijk uitsterven van populaties toe. Gebieden moeten dus in de toekomst groter zijn om plaats te bieden aan grotere populaties, die beter in staat zijn om extreme situaties te overleven. Extremen in weersomstandigheden komen ook harder aan in gebieden met geringe interne heterogeniteit.

Natuurgebieden in West- en Oost-Vlaanderen zijn relatief klein. Dit betekent dat er een relatief grote kans bestaat dat koudeminnende diersoorten lokaal verdwijnen. Dit geldt ook voor 'neutrale' soorten die op dit moment duurzame populaties hebben; deze hebben in de toekomst grotere oppervlaktes nodig om de extremen in weerstandigheden te kunnen overleven.

Schuiven van soorten

Op Europees niveau is de verwachting dat soorten de grootste problemen krijgen met het verschuiven van geschikte klimaatveloppen (Berry, et al., 2007; Vs et al., 2008). Om verschuiving van soorten te faciliteren is het belangrijk dat gebieden goed verbonden zijn, en dat in grote eenheden natuur soorten aanwezig zijn. Deze gebieden zijn belangrijke dispersiebronnen, die van belang zijn voor de kolonisatie van nieuwe leefgebieden. Zoals hierboven genoemd zijn de meeste natuurgebieden in West- en Oost-Vlaanderen klein, vaak te klein om een sleutelpopulatie te kunnen herbergen van de meeste faunadoelsoorten. Ook liggen de natuurgebieden te veel versnipperd over het grondgebied en is er dringend nood aan kwaliteitsvolle verbingsgebieden. Voor West- en Oost-Vlaanderen wordt een overwegend noordoostelijke migratierichting aangenomen. Vanuit die optiek zijn ecologische verbindingen in die richting (op de lange termijn) het meest zinvol.

Effecten op bodemprocessen

Het effect van klimaatverandering op bodemprocessen is met name dat de processen worden versneld, mits voldoende vocht aanwezig is in de bodem. De strooisellaag in de bodem wordt sneller afgebroken, bomen groeien sneller en ecosystemen worden voedselrijker. Het gevolg is de instelling van een nieuw evenwicht, waarbij een grotere brutovastlegging van CO₂ in de bodem en de vegetatie plaatsvindt.

3.6 Infrastructuur

Voor infrastructuur betekent klimaatverandering het volgende:

Het wegverkeer zal méér hinder ondervinden van neerslag, waarbij hinder als gevolg van sneeuwval minder voorkomt;

Hogere extreme temperaturen leiden tot meer onderhoud en (in combinatie met droogte) tot meer bermbranden.

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. De toename van de buienintensiteit leidt tot grotere verkeershinder (slechte doorstroming), verkeersoverlast en verkeersonveilige situaties als gevolg van water op de weg en slecht zicht bij hevige buien. Ook de toename van winterneerslag zal een negatief effect hebben op de verkeersdoorstroming en -veiligheid.

Voorzieningen voor waterafvoer rond de weg en bij kunstwerken worden gedimensioneerd op basis van een standaard 'maatgevende bui'. De verwachte toename van intensiteit van buien in de zomer is mogelijk zo groot dat deze standaard 'maatgevende bui' wellicht aangepast dient te worden. Aanpassing heeft gevolgen voor ontwerpspecificaties (zoals afwateringshoek, pompen, waterbergingen e.d). In Vlaanderen bepalen de verschillende waterloopbeheerders (provincie, gemeenten, Vlaams Gewest, polders en wateringen) ieder voor zich met welke dimensionering van kunstwerken zij rekening houden. Daar is geen eenvormige lijn in. De provincie Oost-Vlaanderen houdt momenteel rekening met afvoeren die eens per 25 jaar (T25) voorkomen, maar denkt erover na om in de nabije toekomst rekening te houden met afvoeren van eens per 50 jaar voorkomen (T50) of zelfs eens per 100 jaar (T100). Dit is onder andere ingegeven door de wateroverlast van november 2010. De dimensionering van rioleringen door Aquafin (de Vlaamse waterzuiveraar) is momenteel berekend op buien die eens per 2 tot eens per 5 jaar voorkomen, maar in de nieuwe ontwerpcode van goede praktijk wordt voorgesteld dat de capaciteit van rioelstelsels rekening houdt met buien die eens per 20 jaar voorkomen (T20). Met behulp van de overstromingsrisicokaarten en beheerplannen zullen wateroverlastmaatregelen in de toekomst eenvoudiger en doelgerichter genomen kunnen worden (dienst Waterbeleid Provincie Oost-Vlaanderen)

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) maakt het probleem van verkeershinder extra groot.

Adaptatieopgave

Provincie Oost-Vlaanderen en Aquafin passen de standaard 'maatgevende buien' voor het ontwerp van waterafvoeren aan of hebben deze recent al aangepast. Mogelijk zal in de toekomst de standaard maatgevende bui nog verder moeten worden aangepast aan nieuwe klimaatcondities. Bovendien is het belangrijk dat alle waterbeheerders, net als Provincie Oost-Vlaanderen en Aquafin, hun maatgevende buien aanpassen aan de nieuwe klimaatcondities.

Aanpassing van maatgevende buien leidt 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 gevolge 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 (voegen om uitzetting en krimp van materialen op te vangen) bij vaste bruggen.

Meer spoorvorming en problemen met dilatatievoegen zullen tot meer onderhoud leiden op de 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 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

Als gevolg van het warmere weer en het langere zomerseizoen zal de behoefte aan verkoeling langs en op het water toenemen. De waterkwaliteit kan in de +-scenario's echter juist in de zomermaanden afnemen doordat de stroomsnelheden afnemen en bijvoorbeeld blauwalgen sneller gaan groeien. Een zeer groot deel van de huidige recreatielocaties voor surfen en zwemmen heeft nu stilstaand water en is dus zeer gevoelig voor de effecten van de +-scenario's.

Temperatuur en recreatie

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

Bij een toenemende temperatuur zullen er meer dagen komen die geschikt zijn voor recreatie. 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.

Bij een toename aan warme, zomerse en tropische dagen bestaat echter ook een kans op overrecreatie. Er zullen bijvoorbeeld meer mensen naar de Vlaamse kust willen, waardoor de kans op lange files richting de kust groter wordt.

Door de toename van het aantal warme dagen wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik van zwemwater kritischer. Bij een toenemende temperatuur neemt in stilstaande wateren de kwaliteit van zwemwater af. Daarnaast nemen de zwembehoeften toe bij warm weer. Mensen zullen meer geconcentreerd van de zwemwaterlocaties gebruik maken. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot verantwoord gebruik risicovoller. Meer informatie over waterkwaliteit is te vinden in paragraaf 3.1.4.

Door de klimaatverandering neemt de kans op hevige buien toe, zoals eerder aangeven. Recreatieterreinen, zoals campings of evenemententerreinen, ondervinden hier mogelijk hinder van. Een ander mogelijk negatief effect op de recreatiesector is dat de watersport/pleziervaart hinder kan ondervinden van vaker voorkomende lage waterstanden.

REFERENTIES

Alterra, DHV, KNMI, VU, Klimaatschetsboek Zeeland, 2008

Baguis, P., Boukhris, O., Ntegeka, V., Roulin, E., Willems, P., Demarée, G. (2008) Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium. 1. Literature review. Belgian Science Policy – SSD Research Programme, Technical report CCI-HYDR project by K.U.Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, May 2008, 57 p.

Baguis P., Ntegeka V., Willems P., Roulin E. (2009) Extension of CCI-HYDR climate change scenarios for INBO, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) & Belgian Science Policy - SSD Research Programme, Technical report by K.U.Leuven - Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, January 2009.

Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., Ntegeka, V. (2010) Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 273-286.

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 changing climate - BRANCH project Final Report, Natural England, UK.

Bleiman, N. (1976) Estimation des valeurs journalières de l'évaporation d'une nappe d'eau libre et de l'évapotranspiration potentielle du gazon à Uccle (50°48'N,4°21'E, 100m) pour la période 1901-1975. Institut Royal Météorologique de Belgique, *Miscellanea Série A*, N° 5, 16 p.

Baguis, P., Roulin, E., Willems, P., Ntegeka, V. (2010) Climate change and hydrological extremes in Belgian catchments. *Hydrology and Earth System Sciences & Discussions*, 7, 5033-5078.

Besseminder, J. (ed.) et al., 2008. Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland. KNMI-publicatie 221, 35 p.

Bultot, F., Coppens, A. & Dupriez, G.L. (1983) Estimation de l'évapotranspiration potentielle en Belgique (Procédure révisée). Institut Royal Météorologique, *Publications Série A*, N° 112, 28 p.

Cabooter, Y., K., De Ridder, J.P., Van Ypersele, C., Tricot (2007) Improved prediction of wind power in Belgium: final report, Belgian Science Policy, Brussel, 230 pp.

Delbeke, L. (2001). Extreme neerslag in Vlaanderen: nieuwe IDF-curven gebaseerd op langdurige meetreeksen van neerslag. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Afdeling Water: Brussel. xviii, 123 pp.

Demarée G., Baguis P., Deckmyn A., Debontridder L., Pinnock S., Roulin E., Willems P., Ntegeka V., Kattenberg A., Bakker A., Lenderink G., Besseminder J., Beersma J. (2009): Berekening van klimaatscenario's voor Vlaanderen. Rapport voor het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) & K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica, February 2009.

Dumortier, M., De Bruyn, L., Hens, M., Peymen, J., Schneiders, A., Van Daele, T. & Van Reeth, W. (red.) (2009) Natuurverkenning 2030. Natuurrapport Vlaanderen, NARA 2009. Mededeling van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2009.7, Brussel, 221 p.

Dupriez, G.L. et Sneyers, R. (1978) Les normales du réseau pluviométrique belge. Institut Royal Météorologique de Belgique, Série A, No. 101, 70 p.

Dupriez, G.L. & Sneyers, R. (1979) Les nouvelles cartes pluviométriques de la Belgique - De nieuwe pluviometrische kaarten van België. Institut Royal Météorologique de Belgique – Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, Série A - Reeks A, No. 103, 17 p.

FOD Economie, Landbouwtelling: cijfers mei 2010

Gellens-Meulenberghs, F., Gellens, D. (1992) L'évapotranspiration potentielle en Belgique: variabilité spatiale et temporelle. Institut Royal Météorologique, Publication Série A, n° 130, 38 p.

Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? Trends in Ecology and Evolution 15: 56-61.

Hamdi, R. (2011) UHI effects on temperature records near Brussels, Belgium, an observational and modeling study. International Association for Urban Climate, Issue No. 40, June 2011, pp. 5-13.

Hamdi, R., Van de Vyver, H., Termonia, P. (2011) New Cloud and microphysics parameterization for use in high-resolution dynamical downscaling: Application for summer extremes temperature over Belgium. International Journal of Climatology, Accepted.

Huybrechts, P. (2002). Sea-level changes at the LGM from ice-dynamic reconstructions of the Greenland and Antarctic ice sheets during the glacial cycles. Quaternary Science Reviews, 21, pp. 203-231.

IPCC (2001). Climate change 2001: the scientific basis, contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton JT et al. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881 p.

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

Journée, M., Bertrand, C. (2010) Improving the spatio-temporal distribution of surface solar radiation data by merging ground and satellite measurements. Remote Sensing of Environment, 114, pp. 2692–2704.

Klein Tank, A.M.G. & Lenderink, G. (red.) (2009) Klimaatverandering in Nederland; Aanvullingen op de KNMI'06 scenario's, KNMI, De Bilt, 32 p.

KMI (2009). Oog voor het klimaat, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België, 58 p.

KNMI (2006). Klimaat in de 21ste eeuw. Vier scenario's voor Nederland. Brochure. KNMI, De Bilt.

KNMI (2009). Klimaatschetsboek Nederland: het huidige en toekomstige klimaat. KNMI, De Bilt. Publicatie nr. 223, 85 p.

Lamers LPM 2001. Tackling some biogeochemical questions in peatlands. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.

Lucassen ECHET 2004. Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Proefschrift, Radboud Universiteit Nijmegen.

Ntegeka, V., Willems, P., Baguis, P., Roulin, E. (2008a) Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems – Summary Report Phase 1: Literature review and development of climate change scenarios, Belgian Science Policy – SSD Research Programme, CCI-HYDR project by K.U.Leuven - Afdeling Hydraulica en KMI voor Federaal Wetenschapsbeleid, April 2008, 64 p.

Ntegeka, V., Baguis, P., Boukhris, O., Willems, P., Roulin, E. (2008b) Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems II. Study of rainfall and ETo climate change scenarios. Belgian Science Policy – SSD Research Programme, Technical Report CCI-HYDR project by K.U.Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, May 2008, 112 p.

Ntegeka, V., Willems, P. (2008) Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems. III. Statistical analysis of historical rainfall, ETo and river flow series trends and cycles. Belgian Science Policy – SSD Research Programme, Technical Report CCI-HYDR project by K.U.Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, May 2008, 37 p.

Ntegeka, V., Willems, P. (2009) CCI-HYDR Perturbation Tool: a climate change tool for generating perturbed time series for the Belgian climate. Manual version January 2009, K.U.Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, 7 p.

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.

Penman, H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A193, p. 120-146.

Secretariaat Bekken van de Gentse Kanalen. Wie is wie in de Gentse kanalen?

Sneyers, R., Vandiepenbeeck, M. (1995) Notice sur le Climat de la Belgique. Institut Royal Météorologique de Belgique, Publication scientifique et technique N° 002, 62 p.

Ullmann A., D. Van den Eynde, A. Sterl & J. Monbaliu (2009). Contemporary and future climate variability and climate change: Impacts on sea-surge and wave height along the Belgian coast. Katholieke Universiteit Leuven, Hydraulics Laboratory, Internal Report, 54 pp.

Van den Eynde, D. (2011) Zeespiegelstijging: moeten we vrezen voor natte voeten? Grote Rede n°30, 3-9, Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ).

Van den Eynde, D. (2011) En wat met de stormen, worden die talrijker en/of krachtiger? Grote Rede n°30, 10-14, Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ).

Van den Eynde, D., De Sutter, R., Maes, F., Verwaest, T., Van Bockstaele, E. (2008) Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities: CLIMAR. Samenvattend rapport bij de Fase 1 van het CLIMAR project voor het Federaal Wetenschapsbeleid.

Van den Hurk, B.J.J.M., 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 (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for The Netherlands. KNMI-publicatie: WR-2006-01, 82 p.

Van de Vyver, H. , Delcloo, A. (2011) Stable estimations for extreme wind speeds – An application to Belgium. Theoretical and Applied Climatology, In press, published online 27 Januari 2011. Doi: 10.1007/s00704-010-0365-9.

Van de Vyver, H. (2011a) Evolution of extreme temperatures in Belgium since the 1950s, Theoretical and Applied Climatology, In press, published online 09 June 2011. Doi: 10.1007/s00704-011-0456-2.

Van de Vyver, H. (2011b) Spatial modelling of extreme precipitation in Belgium. In voorbereiding.

Van Steertegem, M. (eindredactie) (2009) Milieuverkenning 2030, Milieurapport Vlaanderen, Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), Aalst, 383 p.

Vos, C., H. Kuipers, R. Wegman & M. van der Veen, 2007. Klimaatverandering en natuur: zoekgebieden voor ruimtelijke adaptatie EHS. Alterra-rapport 1602. Wageningen.

Vos, C., P. Opdam, G.J. Nabuurs, R. Bugter & M. Epe, 2007. Klimaatverandering en ruimtelijke adaptatie natuur: wat we (niet) weten. Routeplanner. Klimaat voor Ruimte, Leven met Water en Habitatforum.

Willems P., Boukhris O., Ntegeka V., Roulin E., Baguis P. (2006-2009) Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems in Belgium (CCI-HYDR). Activity reports. Project for the Belgian Science Policy Office; program "Science for a sustainable development". K.U.Leuven, Department of Civil Engineering, Hydraulics Section, and Royal Meteorological Institute of Belgium, Department of Meteorological Research and Development, Risk Analysis and Sustainable Development Section.

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

Websites:

www.binnenvaart.be/nl/waterwegen/kaart_benelux.html

http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/

<https://dov.vlaanderen.be/>

<http://lv.vlaanderen.be>

www.knmi.nl/klimaatscenarios/

www.natuurverkenning.be

www.sigmaplan.be

www.vlaamsebaaien.com/geintegreerd-kustveiligheidsplan

<http://www.west-vlaanderen.be>

<http://www.wvi.be/nl/nieuws/p/detail/studiedag-klimaatadaptatie-van-13-september-een-succes>
[www.west-
vlaanderen.be/provincie/beleid_bestuur/gebiedsgerichte_werking/kustbeheer_nl/eengreepuitonzerealisatie
s/activiteitenkalender/Documents/kustbeheer_rsd_zeewering_PPT_Tina_Mertens_plannen.pdf](http://www.west-vlaanderen.be/provincie/beleid_bestuur/gebiedsgerichte_werking/kustbeheer_nl/eengreepuitonzerealisaties/activiteitenkalender/Documents/kustbeheer_rsd_zeewering_PPT_Tina_Mertens_plannen.pdf)

VERKLARENDE WOORDENLIJST

90 percentiel	Het getal zodanig dat 90% van de data kleiner is of eraan gelijk, en dus 10 % groter of eraan gelijk
Dilatatievoegen	Voegen welke het uitzetten en krimpen van materialen (werking) opvangen. Zo wordt voorkomen dat materialen scheuren bij veranderende spanningen.
Doodtij	De periode dat het verschil tussen laag- en hoogwater minimaal is
Fenologie	De studie van jaarlijks terugkerende natuurverschijnselen
Depositie	Neerslaan van minerale stoffen en gassen op een vaste ondergrond.
Habitat	Typische woon- of verblijfplaats van een planten- of diersoort.
Infiltratie	Naar beneden gerichte verticale grondwaterstroming als gevolg van drukverschillen; het indringen van water in de bodem
Kwel	Opwaarts gerichte grondwaterstroming, waarbij grondwater aan de oppervlakte uittreedt
Maaiveld	Oppervlakte van het natuurlijke of aangelegde terrein
Maatgevende bui	
Mediaan	De mediaan het midden van een verdeling of gegevensverzameling
Mitigeren	Verzachten, matigen of verlichten van de negatieve gevolgen (milieueffecten) van een ingreep.
Natura 2000	Europees Netwerk van beschermde natuurgebieden.
Pedologisch	Bodemkundig

COLOFON

Opdrachtgever	: Provincie West en Oost-Vlaanderen	Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.
Project	: Klimaat-effectschetsboek	
West- en Oost-Vlaanderen		
Dossier	: BA2458-101-100	
Omvang rapport	: 76 pagina's	
Auteurs	: Pierre Baguis	KMI
	Walter Boon	Bodemkundige Dienst
	Stef Kampkuiper	DHV B.V.
	Remko Rosenboom	DHV B.V.
	Annemarieke Verbout	DHV B.V.
	Liesanne Verwij	DHV B.V.
	Hans van de Vijver	KMI
Redactie	: Stef Kampkuiper	
Projectleider	: Annemarieke Verbout	
Projectmanager	: Janine Leeuwis	
Datum	: 9 februari 2012	

Naam/Paraaf :

DHV B.V.

Laan 1914 nr. 35

3818 EX Amersfoort

Postbus 1132

3800 BC Amersfoort

T (033) 468 20 00

F (033) 468 28 01

E wnr@dhv.com

www.dhv.com

BIJLAGE 1 Twee soorten klimaatscenario's

Het INBO.FD.2007.5 project getiteld "*Berekening van klimaatscenario's voor Vlaanderen*" (zie [Demarée et al., 2009](#)) werd uitgevoerd in 2008 voor rekening van het Instituut voor Natuur- en Bosbouw (INBO) in Brussel. De contactpersoon van dit project bij INBO was Dr. Luc De Bruyn. In het INBO.FD.2007.5 werkten volgende drie wetenschappelijke ploegen samen:
het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI);
het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI);
de Afdeling Hydraulica van de Katholieke Universiteit te Leuven (K.U.Leuven).

In het INBO.FD.2007.5 project werden twee verschillende klimaatscenario's gebruikt die recent door de drie projectpartners werden bekomen:

de KNMI'06 scenario's; dit zijn de klimaatscenario's die in 2006 op het KNMI werden opgesteld en die momenteel in Nederland op grote schaal gebruikt worden.

De CCI-HYDR scenario's; dit zijn de klimaatscenario's die in het kader van het CCI-HYDR onderzoeksproject voor het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO) werden opgesteld voor hydrologische impactanalyse (met bijzondere aandacht voor hydrologische extremen zoals overstroming en laagwater).

Wat de raakvlakken betreft, waren beide onderzoeksteams het er over eens dat er met verschillende klimaatscenario's moet gewerkt worden (zie paragraaf 4.1) om de onzekerheden in ons toekomstige klimaat voldoende in beeld te brengen (zie paragraaf 4.2). In feite zijn deze twee sets van scenario's niets anders dan een uiting van de onzekerheden die gepaard gaan met de aanmaak van deze scenario's.

Zowel de KNMI'06 en CCI-HYDR klimaatscenario's hebben als doel om een groot deel van de bestaande onzekerheden in beeld brengen. De onzekerheden m.b.t. het klimaatstelsel zijn in kaart gebracht door gebruik te maken van een zo groot mogelijk aantal mondiale en regionale klimaatmodellen alsook IPCC-basisscenario's ([IPCC, 2001](#); [IPCC, 2007](#)). Er is dus bewust gekozen voor een multi-modelbenadering. Impactstudies die uitgaan van een beperkt aantal modellen en/of emissiescenario's zullen immers niet goed de mogelijke range aan impacts in de toekomst in kaart kunnen brengen.

Naast de sterke consensus tussen de CCI-HYDR en KNMI'06 onderzoeksteams m.b.t. het werken met scenario's, waren er ook verschillen in de gevolgde aanpak. Deze hebben onder meer te maken met het verschil in de doelstelling van beide studies: de KNMI'06 scenario's zijn gericht op een breed publiek, de CCI-HYDR scenario's zijn specifiek impact-gebaseerd (hydrologische extremen). Anderzijds zijn er ook enkele verschillen die te maken hebben met expertkeuzes door de projectpartners.

Zowel de KNMI'06 als de CCI-HYDR scenario's zijn 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 diverse scenario's te gebruiken en deze te vergelijken met de huidige situatie.

KNMI'06: generieke klimaatscenario's

In 2006 is door het KNMI een nieuwe set regionale klimaatscenario's gepresenteerd ([Bessembinder et al., 2008](#); [van den Hurk et al., 2006](#)). De belangrijkste kenmerken van deze scenario's zijn:

ze zijn ontwikkeld voor een brede range aan toepassingen, met als achterliggende gedachte dat bij gebruik van deze scenario's in verschillende impact- en adaptatiestudies de resultaten toch gemakkelijker te integreren zijn;

ze spannen een groot deel van de onzekerheid over ons toekomstige klimaat op (bandbreedte van waarschijnlijke uitkomsten op basis van de kennis uit 2006).

Hoe het klimaat in Nederland en omgeving 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 overheersende winden. De indeling van de klimaatscenario's is daarom op deze twee aspecten gebaseerd. De veranderingen in het klimaat van Nederland volgens de KNMI'06 klimaatscenario's zijn (KNMI, 2006; Klein Tank & Lenderink, 2009):

de opwarming zet door; hierdoor komen zachte winters en warme zomers vaker voor;

winters gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;

de hevigheid van extreme zomerbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;

de veranderingen in het windklimaat zijn klein ten opzichte van de natuurlijke grilligheid;

de zeespiegel blijft stijgen.

Samen geven deze KNMI'06 klimaatscenario's een groot deel van de range voor het mogelijke toekomstige klimaat in Nederland en omgeving 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 toekomstige klimaat zich zal ontwikkelen binnen deze vier hoekpunten dan daarbuiten.

Voor een uitgebreidere beschrijving van deze klimaatscenario's wordt verwezen naar de brochure '*Klimaat in de 21^e eeuw: vier scenario's voor Nederland*' (KNMI, 2006; Klein Tank & Lenderink, 2009), het bijbehorende wetenschappelijke achtergrondrapport, (van den Hurk *et al.*, 2006) en de website www.knmi.nl/klimaatscenarios/.

Aangezien Vlaanderen, en a priori de Provincies West- en Oost-Vlaanderen, aansluit bij Zuid-Nederland (o.a. de Provincie Zeeland) en net als Nederland aan de Noordzee ligt, en de ruimtelijke patronen binnen Vlaanderen veel op deze van Nederland lijken, zijn de KNMI'06 scenario's ook in Vlaanderen bruikbaar (KNMI, 2009).

Bij de KNMI'06 scenario's heeft het KNMI een transformatieprogramma ontwikkeld: http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. Hiermee kunnen voor elk gewenst KNMI'06 scenario en voor de tijdshorizonten 2020, 2030, tot 2100 waargenomen temperatuur- en neerslagreeksen op dagbasis dusdanig worden getransformeerd dat deze tijdreeksen passen bij de KNMI'06 scenario's. Het programma is ook voor Vlaanderen te gebruiken; er is aangenomen dat de veranderingen in Vlaanderen gelijk zullen zijn aan de veranderingen in Nederland in de KNMI'06 scenario's. Wel is de verdeling van de neerslagverandering over de verschillende dagen in Vlaanderen in bepaalde maanden iets anders, aangezien de neerslagkarakteristieken in Vlaanderen iets anders zijn.

Het KNMI transformatieprogramma is ontwikkeld voor temperatuur en neerslag. Voor potentiële verdamping zijn wel veranderingen per maand bepaald, en voor wind zijn de verwachte veranderingen nihil of erg klein, en kan men zeer waarschijnlijk volstaan met het gebruik van de historische reeksen. De temperatuur en neerslagreeksen worden door het KNMI afzonderlijk van elkaar getransformeerd, waardoor de consistentie op dagbasis iets minder kan zijn, maar zolang men niet naar individuele dagen in de toekomst wil kijken, is het effect hiervan klein.

CCI-HYDR klimaatscenario's voor hydrologische impactanalyse

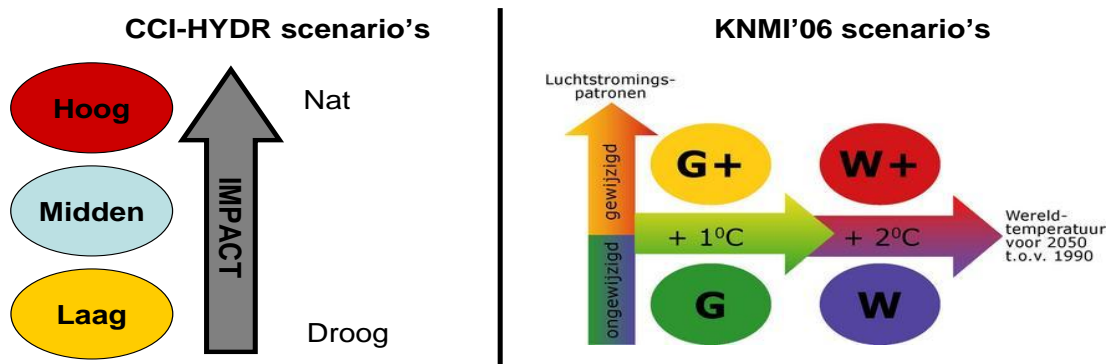
Het CCI-HYDR project werd gefinancierd door Federaal Wetenschapsbeleid in het kader van het onderzoeksprogramma Duurzame Ontwikkeling / Science for Sustainable Development). Het CCI-HYDR project liep van januari 2006 tot december 2009. Het CCI-HYDR project bestudeert de impact van klimaatverandering op het risico van hydrologisch uitzonderlijke gebeurtenissen langs waterlopen en rioleringen in België. Voor waterlopen omvatten hydrologische extrema zowel perioden van hoge neerslagafstroming en dus overstromingsgevaar, als droge perioden met uitzonderlijk lage afvoer (voor rioleringsystemen zijn enkel perioden met hoge afvoer relevant).

De resultaten van de mondiale (GCMs) en regionale (RCMs) klimaatmodelruns werden statistisch geanalyseerd. De simulatieresultaten worden niet rechtstreeks gebruikt omdat ze voor het huidige klimaat (de controleruns) systematische afwijkingen kunnen vertonen met de historische waarnemingen, en dus ook voor een vertekening kunnen zorgen in de impactresultaten. In plaats daarvan worden de scenarioruns vergeleken met de controleruns, het relatieve of absolute verschil berekend (in functie van tijdschaal, intensiteit, ...) en toegepast op de invoertijdreeksen van de hydrologische modellen. De verandering wordt in het project CCI-HYDR perturbatiefactor genoemd; de tool die ontwikkeld werd om de meteorologische invoerreeksen voor impactmodellen (vb. neerslag- en ETo-invoer voor hydrologische modellen) aan te passen aan deze perturbatiefactoren wordt overeenkomstig "*Perturbation Tool*" genoemd (Ntegeka & Willems, 2009). Perturbatiefactoren werden afgeleid die de verandering voorstellen in neerslag-, temperatuur-, windsnelheid- en ETo-kwantielen van de controleperiode (referentieperiode in het recente verleden) tot de scenarioperiode (periode in de toekomst, deze gaat maximaal tot 2100). De brede waaier aan simulatieresultaten werd na statistische verwerking samengevat in een "*laagscenario*" (= minst pessimistisch scenario), "*middenscenario*" en "*hoogscenario*" (= meest pessimistisch scenario).

Voor meer details over de CCI-HYDR methodologie en de CCI-HYDR klimaatscenario's die eerder voor neerslag (inclusief extreme neerslag) en ETo werden bekomen, wordt verwezen naar de drie technische CCI-HYDR rapporten (Baguis *et al.*, 2008a; Ntegeka *et al.*, 2008b; Ntegeka & Willems, 2008) en het summary report (Ntegeka *et al.*, 2008a). Aanvullend aan deze rapporten heeft het CCI-HYDR team een bijkomend rapport opgemaakt, dat enerzijds een korte samenvatting geeft van de CCI-HYDR klimaatscenario's voor neerslag en ETo, en anderzijds de bijkomende scenario's beschrijft die in het kader van het INBO.FD.2007.5 werden bekomen voor temperatuur en windsnelheid (Baguis *et al.*, 2009).

KNMI'06 versus CCI-HYDR klimaatscenario's

De conceptuele verschillen tussen de CCI-HYDR en de KNMI'06 scenario's zijn schematisch weergegeven in bijgevoegde *Figuur* en *Tabel*. De naamgeving van de KNMI'06 scenario's is 'generiek'. Ze komen overeen met verandering in de temperatuur en de stromingspatronen van de lucht en de daarmee samenhangende veranderingen in de overheersende wind(richting). De naamgeving van de CCI-HYDR scenario's is gebaseerd op de hydrologische impact. Bij het opstellen van deze scenario's werden de simulatieresultaten met de regionale klimaatmodellen immers na statistische verwerking gecombineerd (voor de verschillende maanden en voor de variabelen neerslag, temperatuur en ETo) tot drie klimaatscenario's die een hoge, gemiddelde en lage hydrologische impact hebben.



Figuur. CCI-HYDR (links) versus KNMI'06 (rechts) scenario's.

De voornaamste overeenkomsten en verschillen tussen de CCI-HYDR en de KNMI'06 klimaatscenario's

	CCI-HYDR klimaatscenario's	KNMI'06 klimaatscenario's	Overeenkomsten en verschillen
Doelgroep	Hydrologische studies	Generieke set voor een brede groep gebruikers	Specifiek versus generiek
Doel	Regiospecifieke klimaatscenario's die de onzekerheid over het toekomstig klimaat grotendeels opspannen	Regiospecifieke klimaatscenario's die de onzekerheid over het toekomstig klimaat grotendeels opspannen	Idem, maar uitwerking in aantal scenario's verschillend
Aantal scenario's	3 (laag, midden, hoog; gaande van droog naar nat)	4 (G, G+, W, W+)	
Methode/ basismateriaal	- PRUDENCE-runs voor A2 en B2 emissiescenario's - AR4 GCM-runs voor verschillende emissiescenario's - Lokale historische reeksen	- AR4 GCM-runs voor verschillende emissiescenario's - 10 PRUDENCE-runs, emissiescenario A2 - Lokale historische reeksen	Grotendeels zelfde basismateriaal
Geanalyseerd aantal gridpunten van RCM's	Voor België	Voor Nederland en omgeving	
Consistentie tussen klimaatvariabelen per klimaatscenario	Op basis van correlatieanalyse en hydrologische controleruns	Nadrukkelijk nagestreefd bij constructie scenario's	
Mogelijkheid genereren tijdreeksen	Transformatieprogramma beschikbaar: CCI-HYDR Perturbation Tool (werkt op basis van bepaalde veranderingen voor alle empirische kwantielen in de controle- en scenarioperioden (periodes van 30 jaar))	Transformatieprogramma beschikbaar (werkt op basis van bepaalde veranderingen in beperkt aantal kwantielen, verder inter/extrapolatie)	Beiden transformatie van historische reeksen, maar kleine verschillen in methode
Link met socio-economische scenario's	Geen 1-op-1 relatie, Hoge scenario's passen best bij A1/A2, lage bij B1/B2	Geen 1-op-1 relatie, Hoge scenario's passen best bij A1/A2, lage bij B1/B2	Idem

worden voorgesteld in de volgende tabel.

Tabel. Overeenkomsten en verschillen tussen de CCI-HYDR en de KNMI'06 scenario's.

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 29 KMI-stations gebruikt en voor neerslag 37 KMI-neerslagstations. Om voor punten tussen deze stations een waarde te bepalen, is een interpolatieschema gebruikt (zie bijlage 4). 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.

Voor temperatuur kunnen alleen grootschalige patronen worden weergegeven, vanwege het beperkte aantal KMI-stations. Dit betekent dat alleen grootschalige patronen 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.

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. het in het heuvelachtige gebied in Zuid-Oost-Vlaanderen), en steden (bijv. lokale maxima bij Gent). 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 dat voor een deel samenhangt met de toevallige ligging van de KMI-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 KMI verricht echter nauwelijks metingen in grotere steden. Steden hebben zo veel variabiliteit op kleine schaal dat het niet goed mogelijk is om daar representatieve metingen te verrichten. Daarnaast is het volgens de WMO-standaard vereist dat er in de landelijke omgeving gemeten wordt. Dit betekent dat alle gegevens die in dit rapport gepresenteerd worden, gebaseerd zijn op metingen in landelijke omgevingen. Effecten van bebouwing en steden op temperatuur zijn daarom niet zichtbaar in het kaartmateriaal dat gebaseerd is op deze metingen.

Warmte eiland

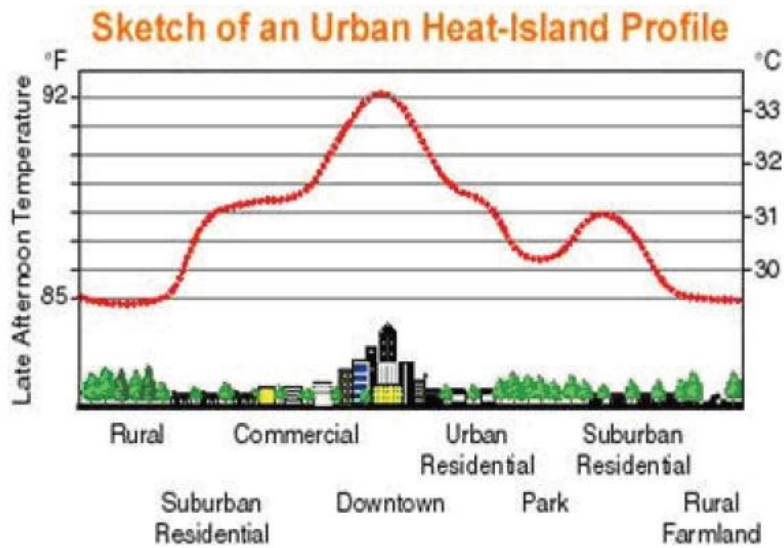
Het is bekend dat zich boven steden zogenaamde warmte eilanden ontwikkelen, waarvan de sterkte voor een belangrijk deel afhankelijk is van de grootte van de stad. Het fenomeen is vooral 's nachts van belang. Het omringende platteland koelt dan sneller af dan de stad omdat de geometrie van de stad ervoor zorgt dat de warmte niet goed uit kan stralen naar de ruimte erboven. Daarnaast wordt in een stad overdag meer warmte geborgen dan op het platteland, door opwarming van gebouwen e.d. Deze warmte wordt 's nachts vertraagd weer afgegeven. De grootte van het temperatuurverschil tussen de stad en het omringende platteland is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Voor een stad als Brussel 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 4°C. Bij bewolkte omstandigheden met veel wind zijn de verschillen echter verwaarloosbaar. Modelberekeningen geven aan dat gemiddeld in het centrum van Brussel circa 0,6°C warmer is dan het omringende platteland (Hamdi, 2011). 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. 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.

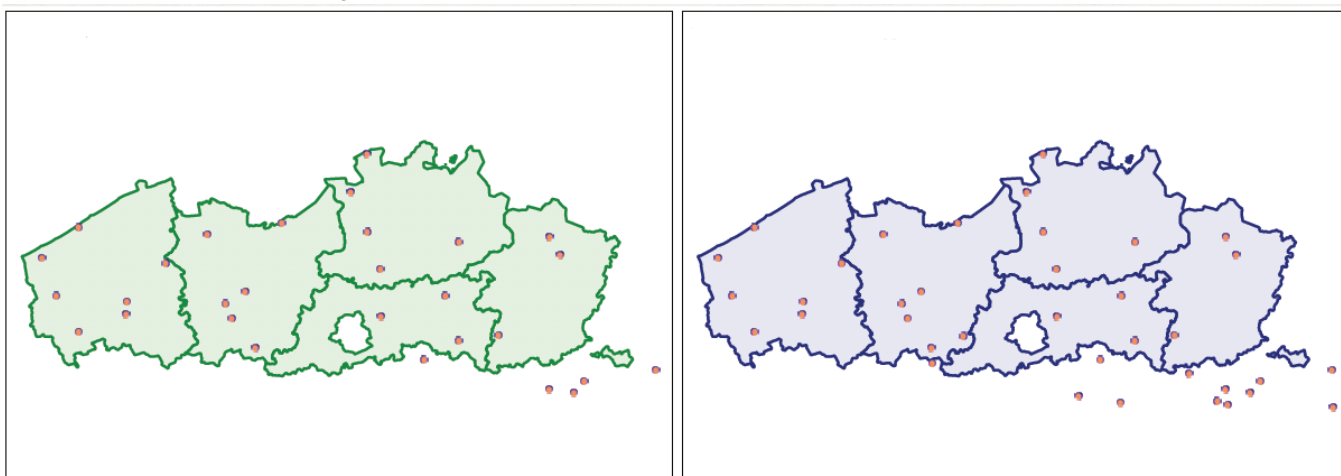


Figuur B3 1 Schematische weergave van het temperatuur profiel van een 'Urban Heat Island'.

BIJLAGE 4 METHODIEKEN KLIMATOLOGISCHE KAARTEN

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. De daggegevens van alle weerstations van het KMI zitten in een database, die zeer regelmatig met de meest recente gegevens wordt aangevuld. Het KMI heeft meer dan 650 weerstations, waar een grote verscheidenheid aan gegevens wordt verzameld, zoals de dagelijkse neerslag en maximum/minimumtemperatuur. De historische periode waarover gemeten waarden aanwezig zijn verschilt per station.



Figuur B4.1 Locatie van de gebruikte KMI-weerstations. Links: temperatuur en rechts: neerslag.

Klimaatgegevens voor de toekomst

Voor de toekomst data is gebruik gemaakt van het transformatieprogramma op http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/. Het doel van dit programma is het omzetten van een historische neerslag- of temperatuurreeks op dagbasis in een reeks die past bij het klimaat onder één van de vier KNMI'06 klimaatscenario's voor een bepaalde tijdshorizon. Via het menu op de webpagina kan er gekozen worden uit verschillende klimaatscenario's, stations en tijdshorizonten. 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 29 stations met voldoende lange tijdreeksen en voor neerslag 37 stations.

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.

BIJLAGE 5 Overige studies

Parallel aan voorliggende studie vinden de volgende klimaatstudies plaats in Vlaanderen:

- Het Vlaamse klimaatbeleidsplan: <http://www.lne.be/themas/klimaatverandering/vlaams-klimaatbeleidsplan-2013-2020>
- Milieurapportage: www.milieurapport.be
- CcASPAR (Climate change and changes in spatial structures research project): www.ccaspar.ugent.be