

Adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw aan klimaatverandering

Eindrapport



*Onderzoek uitgevoerd in opdracht van:
Departement Landbouw en Visserij
Afdeling Monitoring en Studie*

*Anne Gobin, Philippe Van De Vreken, Jos
Van Orshoven, Wannas Keulemans,
Rony Geers, Jan Diels, Hubert Gulinck,
Martin Hermy, Dirk Raes, Walter Boon,
Bart Muys, Erik Mathijs*

*Klimaatpark Arenberg
Spatial Applications Division Leuven
Katholieke Universiteit Leuven*

Vlaamse overheid



Colofon

Titel: Adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw aan klimaatverandering

Auteur(s): Anne Gobin, Philippe Van De Vreken, Jos Van Orshoven, Wannes Keulemans, Rony Geers, Jan Diels, Hubert Gulinck, Martin Hermy, Dirk Raes, Walter Boon, Bart Muys, Erik Mathijs

Versie van: 2008-06-09

Afgedrukt op: 2008-06-09

Bestandslocatie: ADAPT-FinalReport-V6.doc

Klimaatpark Arenberg

URL: <http://www.biw.kuleuven.be/klimaatpark>



Ten behoeve van deze studie participeren de volgende onderzoekseenheden van de K.U.Leuven in het klimaatpark Arenberg:

De R&D Divisie voor Ruimtelijke Informatieverwerking (SADL)

De Afdeling Bos, natuur en landschap

De Afdeling Landbouw- en Voedseleconomie;

Het Zoötechnisch centrum;

De Afdeling Bodem- en waterbeheer;

De Afdeling Plantenbiotechniek.

Contactadres voor deze studie

SADL/K.U.Leuven

Celestijnenlaan 200 E, BE-3001 LEUVEN

TEL.: +32 16 32 97 32 FAX +32 16 32 97 24



SADL

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	8
2	Inleiding	11
2.1	Achtergrond	11
2.2	Doelstellingen	11
3	Selectie en beschrijving van klimaatscenario's	13
3.1	Opwarming van de aarde	13
3.1.1	Opwarming in Vlaanderen	15
3.2	Antropogene klimaatverandering	17
3.2.1	Verklaringen	17
3.2.2	Wereldomvattende emissiescenario's	17
3.2.3	Klimaatmodellen en trendanalyse	18
3.3	Scenario's en verhaallijnen	21
3.3.1	Scenario's en verhaallijnen voor Europa (EUruralis)	21
3.3.2	Scenario's en verhaallijnen voor Vlaanderen (VLM)	22
3.4	Scenariokeuze	24
3.4.1	Kwalitatieve inschattingen	24
3.4.2	Kwantatieve inschattingen	24
4	Impacten van klimaatverandering op microniveau	26
4.1	Inleiding	26
4.2	Plantaardige productie	28
4.2.1	Verandering in omgevingsvariabelen	28
4.2.2	Verwachte impact op gewasproductie	29
4.2.3	Waterbalanssimulaties voor verschillende gewassen	37
4.2.4	Conclusies plantproductie	53
4.3	Dierlijke productie	54
4.3.1	Verandering in omgevingsvariabelen	54
4.3.2	Verwachte impact van warmtestress op rundvee, varkens en pluimvee	54
4.3.3	Groeisimulatie voor vleesvarkens	56
4.3.4	Impact op dierziekten	59
4.4	Landbouw en de ruimere omgeving	61
4.4.1	Omschrijving van de diensten van de landbouw	61
4.4.2	Verwachte impact van klimaatverandering op de diensten	62
4.4.3	Emissiescenario's en diensten	65
5	Adaptatiemaatregelen op microniveau	69
5.1	Inleiding	69
5.2	Adaptatiemaatregelen Dierlijke Productie	72
5.2.1	Voldoende schaduw voorzien	72
5.2.2	Staldak isoleren en voorzien van reflectie-coating	73
5.2.3	Optimale ventilatie van de stal	74
5.2.4	Evaporatieve koeling (direct en indirect)	76
5.2.5	Aanpassingen aan de rantsoensamenstelling	78
5.2.6	Aanpassingen aan de drinkwatervoorziening	81
5.2.7	Selectie van hittestolerante dierenrassen	83
5.2.8	Voorkomen en bestrijden van dierziekten	85
5.3	Adaptatiemaatregelen Plantaardige Productie	87

5.3.1	Aanpassen van plant- en oogstdata	87
5.3.2	Substitutie van gewas of cultivar	88
5.3.3	Ontwikkeling van nieuwe cultivars (variëteiten)	90
5.3.4	Gewassen voor biomassaproductie	92
5.3.5	Waterconserverende en gereduceerde bodembewerking	93
5.3.6	Irrigatie en drainage	94
5.3.7	Bestrijden van ziekten, plagen en onkruiden	96
5.4	Adaptatiemaatregelen andere diensten	97
5.4.1	Wateropslag op het landbouwbedrijf	97
5.4.2	Bewaken van residu's en emissies van nutriënten en pesticiden	98
5.4.3	Aanwenden van meer agrarische biodiversiteit	99
5.4.4	Landschapszorg	100
5.4.5	Vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen	101
5.4.6	Bieden van kader voor agrotourisme en recreatie	102
5.4.7	Stormresistente windturbines voor energie	103
6	Evaluatie van de effectiviteit van adaptatiemaatregelen op macroniveau	105
6.1	Inleiding	105
6.2	Materiaal en methode	105
6.2.1	Rationale	105
6.2.2	Geen klimaatverandering en geen adaptatie (Referentietoestand)	105
6.2.3	Klimaatverandering zonder adaptatie	107
6.2.4	Klimaatverandering met adaptatie	107
6.3	Resultaten	110
6.3.1	Klimaatverandering zonder adaptatie vergeleken met de referentietoestand	110
6.3.2	Klimaatverandering met adaptatie	111
6.4	Evaluatie	113
6.4.1	Effectiviteit	113
6.4.2	Efficiëntie	116
6.5	Discussie	116
7	Conclusie, opties en aanbevelingen	118
7.1	Conclusie	118
7.2	Aanbevelingen voor verder onderzoek	119
7.2.1	Selectie van klimaatscenario's	119
7.2.2	Impacten op microniveau	119
7.2.3	Evaluatie van de effectiviteit van adaptatiemaatregelen op macroniveau	120
7.3	Opties voor beleid	120
8	Referenties	123

Lijst met tabellen

Tabel 1	Verwachte temperatuurverandering en CO ₂ -equivalent in 2090-2099 ten opzichte van 1980-1999 volgens de verschillende SRES (Special Report on Emission Scenarios) & GCM (Global Circulation Model) scenario's	19
Tabel 2	Overzicht van diensten	27
Tabel 3	Vervroeging van de lente in Nederland aan de hand van bladontplooiing of bloei bij geselecteerde bomen, struiken en heesters in het KNMI-park (Zwart, 2006)	28

Tabel 4	Gemiddelde jaartemperatuurstijgingen tegen 2100 onder een laag, midden en hoog klimaatveranderingscenario, gebaseerd op eigen berekeningen afgeleid van de KNMI klimaatscenario's	38
Tabel 5	Bodemvariabelen afgeleid met behulp van Saxton et al. (2006)	38
Tabel 6	Gewasparameters en variabelen afgeleid met behulp van Allen et al., 1998.....	38
Tabel 7	Gewasparameters en variabelen afgeleid mbv Vanclooster et al., 1994.	39
Tabel 8	Gemiddelde voor Historische Waarnemingen	51
Tabel 9	Gemiddelde voor een laag klimaatveranderingscenario	51
Tabel 10	Gemiddelde voor een midden klimaatveranderingscenario	52
Tabel 11	Gemiddelde voor een hoog klimaatveranderingscenario	52
Tabel 12	Vergelijking van gesimuleerde waterbalanstekort, oogstfractie en waterbalansoverschot ten opzichte van de simulaties met historische klimaatgegevens (+ is meer, - is minder)	53
Tabel 13	Productieverliezen in percentage op basis van de maximumtemperatuur.....	57
Tabel 14	Productieverliezen in percentage op basis van de gemiddelde temperatuur.....	58
Tabel 15	Overzicht van de impact van klimaatverandering op de diensten	63
Tabel 16	Overzicht van de impact van de klimaatverandering op de diensten onder verschillende emissiescenario's en bijhorende verhaallijnen (- is afname en + is toename).....	67
Tabel 17	Lijst van beschreven adaptatiemaatregelen gerelateerd aan de diensten te leveren door de landbouwsector.	70
Tabel 18	Eindproductiewaarde (EW), economische productiviteit (EP) technische productiviteit (TP), prijseffect (PE), areaal en aantal dieren voor 16 landbouwproductieactiviteiten in 2020 volgens Gellynck et al. (2007)of afgeleid daarvan.....	107
Tabel 19	Overzicht van de maatregelen in de twee onderscheiden adaptatiepakketten.....	109
Tabel 20	Relatieve aantallen, oppervlakten en veestapel voor drie types van bedrijven.....	110
Tabel 21	Berekende fracties per adoptiegraad aan de hand van de cijfers in Tabel 20.	110
Tabel 22	Waarden voor technische productiviteit en eindproductie in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd) en voor de laag, midden en hoog klimaatveranderingscenario's (CC-Laag-NoAd, CC-Midden-NoAd, CC-Hoog-NoAd)	110
Tabel 23	Gewogen productiefactoren als gemiddelde van de gesimuleerde productiviteit onder drie klimaatscenario's (laag midden hoog), relatief ten opzichte van de historisch gemiddelde productie en in het geval van plantaardige productie ruimtelijk gewogen aan de hand van het relatieve voorkomen van de productieactiviteit (teelt) en de ruimtelijke spreiding van elk van de drie bodemtexturen (zand, leem, klei) in Vlaanderen.....	111
Tabel 24	Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het laag klimaatveranderingscenario (CC-Laag-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het laag klimaatveranderingscenario (CC-Laag-Ad1, CC-Laag-Ad2, CC-Laag-Ad3).....	111
Tabel 25	Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het midden klimaatveranderingscenario (CC-Midden-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het midden klimaatveranderingscenario (CC-Midden-Ad1, CC-Midden-Ad2, CC-Midden-Ad3).	112
Tabel 26	Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het hoog klimaatveranderingscenario (CC-Hoog-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het hoog klimaatveranderingscenario (CC-Hoog-Ad1, CC-Hoog-Ad2, CC-Hoog-Ad3).....	112
Tabel 27	Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk. 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-laag-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Laag-Ad1, CC-Laag-Ad2, CC-Laag-Ad3) onder het laag klimaatveranderingscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd)	113
Tabel 28	Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk. 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-Midden-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Midden-Ad1, CC-Midden-Ad2, CC-Midden-Ad3) onder het midden klimaatveranderingscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd)	114

Tabel 29 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-Hoog-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Hoog-Ad1, CC-Hoog-Ad2, CC-Hoog-Ad3) onder het midden klimaatveranderingsscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd) 115

Lijst met figuren

Figuur 1	Gemiddelde mondiale temperatuur 1856-2004, gebaseerd op de HADCRUT3 dataset (Brohan et al., 2006) die bestaat uit waarnemingen van weerstations gelocaliseerd op land en zee. De nullijn geeft de gemiddelde temperatuur weer voor de periode 1961-1990.....	13
Figuur 2	Bijdrage van verschillende factoren aan de opwarming van de Aarde (Meehl et al., 2004). De nullijn zijn de temperaturen in 1900.....	14
Figuur 3	Evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur te Ukkel (1833-2003) – Verschillen met de omstandigheden in het midden van de 19de eeuw (1833-1862) (in het blauw: mobiel gemiddelde in de afgelopen 30 jaar). Bron: berekeningen Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie volgens cijfers van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.	15
Figuur 4	Evolutie van de gemiddelde jaarneerslag te Ukkel (1833-2003) – Verschillen met de omstandigheden in het midden van de 19de eeuw (1833-1862). Bron: berekeningen Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie volgens cijfers van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.	16
Figuur 5	Evolutie van de relatieve zeespiegel te Oostende van 1925 tot 2004, gemeten met maregraaf. De punten geven de gefilterde metingen weer. De vloeiende lijn is de trendlijn doorheen de punten. (Verwaest & Verstraeten 2005).....	16
Figuur 6	De vier scenario's voorgesteld op de assen van beleid en schaalniveau van interventie	18
Figuur 7	Mondiale temperatuurprojecties op basis van multi-model ensemble-member simulaties.	19
Figuur 8	Voorbeeld van een getransformeerde tijdreeks voor evapotranspiratie op basis van de door het KMI afgeleide trendanalyse (Bron: gegevens ter beschikking gesteld door het CCI-HYDR project).	21
Figuur 9	Schematische weergave van de VLM scenario's op de assen van marktwerking en energieprijzen (van Bockstal et al., 2006) – Noteer dat de assen verschillen van deze gehanteerd voor de IPCC emissiescenario's.....	23
Figuur 10	Waterbalans tijdens de groeiperiode voor maïs op een leembodem voor historische klimatologische data voor Ukkel (gele balken: referentie-evapotranspiratie; blauwe balken: neerslag; groene lijn: gewastranspiratie; oranje lijn: actuele evapotranspiratie; telkens tijdens het groeiseizoen)..	40
Figuur 11	Jaarlijkse neerslag en waterbalans voor maïs op een leembodem voor historische klimatologische data voor Ukkel (donkerblauwe balken: neerslag op jaarbasis, waterbalansvariabelen tijdens het groeiseizoen zoals in beschreven in Figuur 10).....	40
Figuur 12	Oogstverandering ten gevolge van waterstress voor maïs op drie verschillende bodemtypes.	41
Figuur 13	Cumulatief wateroverschot voor maïs op drie verschillende bodemtypes (BL=leem, BLZ=lemig zand, BU=polderklei).....	41
Figuur 14	Cumulatief wateroverschot voor aardappelen op drie verschillende bodemtypes en volgens drie verschillende klimaatveranderingsscenario's (BL=Leem, BLZ=Lemig Zand, BU=Polderklei; LOW= laag klimaat, MID=midden, HIGH= hoog klimaatscenario).....	42
Figuur 15	Effect van de klimaatverandering op de waterbalans en op de oogst voor aardappelen onder een laag (links), midden (midden) en hoog (rechts) klimaatveranderingsscenario.....	43
Figuur 16	Waterbalansberekeningen voor verschillende gewassen op drie verschillende bodems (BL=Belgische Leem, BLZ=Belgische lemige zand en BU=Belgische Polderklei).....	46
Figuur 17	Gesimuleerde oogstverliezen ten gevolge van droogtestress voor verschillende gewassen op drie verschillende bodems (leem, lemige zand en Polderklei).....	48

Figuur 18	Waterbalansoverschot als maat voor diepere drainage of bijkomende runoff (BL=Leem, BLZ=Lemig Zand, BU=polderklei; LOW= laag klimaatscenario, MID=midden klimaatscenario, HIGH= hoog klimaatscenario, HIST=historische waarnemingen).....	50
Figuur 19	Links: melkveestal met open zijwand (© bvba Vervaeke); Rechts: serrestal voor melkvee (© ID Agro)	75
Figuur 20	Links: HVLS-ventilatoren in melkveestal (© ID Agro); Rechts: Tunnelgeventileerde melkveestal (Bray et al., 2003).....	75
Figuur 21	Relatieve technische productiviteit voor lage klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 27).....	113
Figuur 22	Relatieve technische productiviteit voor midden klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 28).....	114
Figuur 23	Relatieve technische productiviteit voor hoge klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 29).....	115

LIJST MET AFKORTINGEN

Bt	Bacillus thuringiensis
C	koolstof
Ca	calcium
ca	externe CO ₂ -concentratie
CC-Ad	Climate Change with Adaptation
CC-NoAd	Climate Change, No Adaptation
CH ₄	methaan
ci	interne CO ₂ -concentratie
CO ₂	koolstofdioxide
Cu	koper
cv.	cultivar
DEK	Directe Evaporatieve Koeling
DPSIR	Driving forces, Pressures, States, Impacts and Responses
EP	Economische Productiviteit
ETo	potentiële EvapoTranspiratie
EU	Europese Unie
EUR	euro
EW	EindproductieWaarde
FAVV	Federaal Agentschap voor Veiligheid van de Voedselketen
GCM	Global Change Model, Global Climate Model, Global Circulation Model
GGO	Genetisch Gemodificeerd Organisme
GLB	Gemeenschappelijk LandbouwBeleid
HSF	Heat Shock transcription Factor
HSP	Heat Shock Protein
HVLS	High Volume Low Speed
IEK	Indirecte Evaporatieve Koeling
ILVO	Instituut voor Landbouw- en VisserijOnderzoek
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUE	Irrigation Use Efficiency
K	kalium
KCl	kaliumchloride
kle's	kleine landschapselementen
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LBers	LandBouwers
LNV	Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
MAP	Mest Actie Plan

N	stikstof
N ₂ O	distikstofoxide
NaHCO ₃	natriumbicarbonaat
NIS	Nationaal Instituut voor de Statistiek
NoCC-NoAd	No Climate Change, No Adaptation
PDPO	ProgrammaDocument voor PlattelandsOntwikkeling
PE	PrijsEffect
ppm	parts per million
PRUDENCE	Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeN Climate change risks and Effects'
RCM	Regional Climate Model
RUP	Ruimtelijk UitvoeringsPlan
RV	Relatieve luchtVochtigheid
Se	selenium
SRES	Special Report on Emission Scenarios
THI	Temperature Humidity Index
TP	Technische Productiviteit
VLM	Vlaamse LandMaatschappij
VMM	Vlaamse MilieuMaatschappij
WUE	Water Use Efficiency
Zn	zink

1 SAMENVATTING

Klimaatverandering is de verandering van het klimaat of het gemiddelde weertype over een periode van minimum 30 jaar. In Vlaanderen manifesteert de **klimaatverandering** zich het duidelijkst in een sterke temperatuurstijging met een frequentietoename van de warmste zomerdagen, en in een hogere neerslagvariabiliteit met een toename van vooral de winterneerslag. Over de oorzaken en mogelijke gevolgen van de waargenomen mondiale opwarming is men het nog niet eens. De vermeende relatie tussen het stijgende broeikasgasgehalte en de mondiale opwarming heeft aanleiding gegeven tot het ontwikkelen van emissiescenario's. Het vierde Assessment Report van IPCC heeft het over een waarschijnlijkheid van meer dan 90% dat de mens het broeikasgaseffect versterkt. Zeker is dat het aandeel van menselijke activiteit het hoogst is in de uitstoot van broeikasgassen. Zeker is ook dat de huidige opwarming een feit is en dat de symptomen best bestreden worden door adaptatie. Aangezien landbouw één van de meest klimaatafhankelijke sectoren is, dringt een analyse van impacten en adaptatiemaatregelen zich op. De doelstelling van deze studie is de adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse land- en tuinbouw aan klimaatverandering te inventariseren en met cijfers te onderbouwen. Een belangrijk aspect hierbij is de scenariokeuze.

Voor **kwantitatieve inschattingen** komen de gebruikte klimatologische tijdreeksen voor neerslag en evaporatie overeen met een laag, midden en hoog klimaatveranderingscenario voor Ukkel. Deze klimaatveranderingscenario's zijn gebaseerd op de PRUDENCE regionale klimaatvoorspellingen voor West-Europa, waarvoor de randvoorwaarden op hun beurt afgeleid zijn van de generatie "third assessment" mondiale klimaatmodellen. Om tegemoet te komen aan de geobserveerde onderschattingen van deze generatie modellen ten opzichte van de "fourth assessment" mondiale klimaatmodellen werd geopteerd voor tijdreeksen 2070-2099 die teruggebracht werden tot een vroegere tijdsspanne. Voor temperatuur konden de bijhorende tijdreeksen niet ter beschikking worden gesteld en werd een methode ontwikkeld van verfijnde empirische trendanalyse, waarvoor de randvoorwaarden werden gesteld door de laag, midden en hoog scenario's van de regionale klimaatmodellen én de temperatuurstijgingen in winter en zomer getoetst werden aan de klimaatveranderingscenario's opgesteld door het KNMI voor Nederland. Deze randvoorwaarden en temperatuurstijgingen werden toegepast op de historische tijdreeks te Ukkel om toekomstige temperatuurtijdreeksen te schatten die horen bij de drie scenario's. Een trendanalyse van de diurnale variatie liet toe om op stochastische wijze een minimale en maximale dagelijkse temperatuur toe te kennen aan de gemiddelde etmaaltemperatuur.

Voor **kwantitatieve inschattingen** werd gebruik gemaakt van de vier families van emissiescenario's en bijhorende mondiale verhaallijnen zoals opgesteld door het IPCC. De emissiescenario's worden voorgesteld op de assen van beleid (mondiaal tot regionaal) en schaalniveau van interventie (zwakke tot sterke regularisering). Binnen het EURuralis-project werden de IPCC emissiescenario's als basis gebruikt om de ontwikkelingsmogelijkheden van landgebruik en landbedekking in Europa te schetsen met een tijdshorizon van het jaar 2030. Aangezien meer dan 50% van het Vlaamse landgebruik gedomineerd wordt door landbouw én het Europese Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) een sterk beleidsraamwerk is met verschillende stimulerende maatregelen die niet enkel de landbouw maar ook het landgebruik in het algemeen beïnvloeden, zijn de Europese verhaallijnen opgesteld door het EURuralis project ook van toepassing op Vlaanderen. Binnen de Vlaamse Land Maatschappij (VLM) stelde de projectgroep 'plattelandsbeleid, een gezamenlijk innovatieproces' een set van vier mogelijke maar duidelijk verschillende ontwikkelingsscenario's op voor het Vlaamse platteland die worden voorgesteld op de assen van handel (regionaal tot mondiaal) en energieprijzen (laag tot hoog). De VLMscenario's en bijhorende verhaallijnen werden in de mate van het mogelijke gekoppeld aan de IPCC emissiescenario's én gebruikt voor de invulling van kwalitatieve inschattingen van de impacten.

De landbouwsector levert een brede waaier aan **diensten**, met name productieve diensten, ondersteunende diensten, regulerende diensten en culturele diensten. De impact van klimaatverandering op de Vlaamse landbouw werd gesimuleerd op perceelsniveau voor plantaardige productieve diensten en op bedrijfsniveau voor dierlijke productieve diensten aan de hand van fysisch gebaseerde **productiemodellen**, aangevuld met en getoetst aan bevindingen uit de literatuur. Om de impacten van klimaatverandering op de ondersteunende, regulerende en culturele diensten in te schatten, werd gebruik gemaakt van een **heuristische matrix** waarin de mogelijke verwachtingen voor de ruimere agrarische omgeving werden beschouwd voor klimaatverandering in het algemeen (Tabel 14) en voor elk van de emissiescenario's en bijhorende verhaallijnen afzonderlijk (Tabel 15).

Voor **plantaardige productie** leiden temperatuurstijgingen vanaf 2°C met het actuele grondgebruik tot een daling van de mogelijke opbrengst en leiden neerslagtekorten tot gereduceerde gewasgroei, terwijl verhoogde CO₂-concentraties een positieve invloed hebben tot op een zekere hoogte. De mate waarin de effecten elkaar opheffen varieert naargelang de gewassen. Gewasgroeisimulaties in gematigde streken beschouwen meestal enkel de effecten van temperatuur en CO₂-bemesting maar zelden de effecten van de waterbalans. De jaarlijkse waterbalans in Vlaanderen toont een gemiddelde surplus van 238 mm en een variatiecoëfficiënt van 1.4 (KMI-data 1972-2001), met een tekort van eind mei tot begin oktober en een surplus van oktober tot maart. In een laag klimaatveranderingsscenario wordt een toename van 6% op de jaarlijkse surplus verwacht, terwijl in het midden en hoog scenario een afname van 40% tot 60% verwacht wordt. Het effect van de klimaatverandering op de **waterbalans** werd gesimuleerd met een eigen dynamisch vegetatiemodel voor acht verschillende gewassen (aardappel, bloemkool voorjaar, bloemkool najaar, voedermaïs, suikerbiet, wintertarwe, gras en korrelmaïs) en drie geselecteerde bodemtypes (lemig zand, leem en polderklei). In totaal werden ruim **3480 jaarsimulaties** uitgevoerd met een modeltijdstep van één dag voor vier tijdreeksen: historisch klimaat en laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario. De impact op de vegetatiewaterbalans werd begroot als evolutie van de waterstress, oogstverliezen en waterbalansoverschotten. De variabiliteit in oogstverliezen ten gevolge van de waterbalans is voor de historische klimaatgegevens van dezelfde orde grootte als de variabiliteit in gerapporteerde opbrengstgegevens van het NIS.

De resultaten tonen dat de klimaatverandering voor het merendeel van de gewassen leidt tot oogstverliezen, waarbij de impact groter is naarmate het scenario sterker is. In alle drie de scenario's treden oogstverliezen op in vergelijking met de berekeningen voor de historische klimaatgegevens met uitzondering van winter- en voorjaarteelten. **Oogstverliezen tot 30%** kunnen verwacht worden voor voor ondiep wortelende zomergewassen zoals suikerbiet, geteelt op een zandige bodem onder een hoog klimaatveranderingsscenario. De droogtestress is kleiner naarmate het gewas een diepere worteldiepte bereikt en toleranter is voor droogte. Gewassen die gebruik kunnen maken van de vochttopslag tijdens winter, najaar of voorjaar ondervinden minder grote effecten. Voor wintergranen neemt het surplus op de waterbalans tijdens de winter toe van de historische klimaatgegevens tot het hoog klimaatveranderingsscenario. Droogtestress tijdens de aarvorming en rijping in de zomer kunnen echter leiden tot een verlies van 5,7% voor het hoog klimaatveranderingsscenario. Berekende productieverliezen ten gevolge van waterstress bedragen tot 29% voor gras, 27,5% voor silomaïs, 25% voor korrelmaïs, 22,4% voor aardappelen, 8,5% voor voorjaarsbloemkool, en 5,9% voor najaarsbloemkool op een zandige bodem (n= 435 simulaties per gewas). Het waterbalansoverschot is het grootst voor lemig zand, gevolgd door polderklei en is het laagst voor leem.

Voor dierlijke productie leiden overschrijdingen van de kritische gevoelstemperatuur tot hittestress en als gevolg daarvan een afname in voederopname waardoor een vermindering van de productie optreedt. Toenemende omgevingstemperaturen in combinatie met een gewijzigd neerslagpatroon kunnen immers leiden tot mogelijke uitbraken van exotische dierziekten zoals de blauwtongziekte. De impact van de klimaatverandering op de dierlijke productie werd gekwantificeerd aan de hand van een **threshold model** op basis van dagelijkse gemiddelde en maximale temperatuur. Productieverliezen bij kippen, runderen, schapen en varkens werden berekend voor de gemiddelde en maximale temperaturen voor het scenario met de hoogst verwachte temperatuurstijging, waarbij als hoge kritische droge luchttemperatuur 30°C werd genomen. **Productieverliezen tot 9%** voor schapen, 8% voor runderen, 6% voor varkens en 3% voor pluimvee werden berekend.

Op basis van de berekende productieresultaten en aangevuld met bevindingen uit de literatuur werden **22 adaptatiemaatregelen**, waarvoor telkens een informatiefiche met een korte omschrijving, de betrokken subsector en actoren, de termijn van implementatie, mate van toepassing en de milieueffecten werd opgesteld. Voor de **dierlijke** productiesector werden 8 adaptatiemaatregelen geïdentificeerd: (1) voorzien van voldoende schaduw, (2) staldak isoleren en voorzien van een reflectie-coating, (3) de ventilatie van de stal optimaliseren, (4) de stal uitrusten met evaporatieve koelingstechnieken (zowel directe als indirecte evaporatieve koeling), (5) aanpassingen doorvoeren aan de rantsoensamenstelling, (6) aanpassingen doorvoeren aan de drinkwatervoorziening, (7) het selecteren van hittestolerante dierenrassen en (8) het voorkomen en bestrijden van dierziekten. Voor de **plantaardige** productiesector werden 7 maatregelen geformuleerd: (1) het aanpassen van plant- en oogstdata, (2) de substitutie van gewas of cultivar, (3) het ontwikkelen van nieuwe cultivars (variëteiten), (4) het telen van gewassen voor biomassa-productie, (5) waterconserverende en gereduceerde bodembewerking, (6) irrigatie en drainage en (7) het bestrijden van onkruiden, plantenziekten en -plagen. Voor de **andere diensten** werden 7 maatregelen besproken: (1)

wateropslag op het landbouwbedrijf, (2) het bewaken van de residu's en emissies van nutriënten en pesticiden, (3) het aanwenden van meer agrarische biodiversiteit, (4) landschapszorg, (5) het vastleggen van en vermijden van de uitstoot van broeikasgassen, (6) het scheppen van een kader voor agrotourisme en recreatie en (7) het plaatsen van stormresistente windturbines voor energie. Tussen de adaptatiemaatregelen enerzijds en de diensten (productieve, ondersteunende, regulerende en culturele) anderzijds is er een veel-op-veel relatie zodat beleidsmatig een impetus voor een maatregel kan ontstaan vanuit adaptatie aan de klimaatverandering of vanuit de taakstelling voor het verwezenlijken van de diensten. De duurzaamheid van een maatregel vereist een holistische benadering die reeds aanwezig is in het huidige landbouwbeleid (cross-compliance, beheersovereenkomsten).

De impacten van de klimaatverandering zoals die berekend werden voor het microniveau werden geaggregeerd en **opgeschaald tot het niveau Vlaanderen**. Het referentieniveau werd overgenomen uit de studie van Gellynck et al. (2007), waarin een prognose gemaakt werd voor 2020 van de potentiële eindproductiewaarde, technische productiviteit, prijseffect en benodigd areaal of aantal dieren dat nodig is om de potentiële eindproductiewaarde te realiseren voor 16 productieactiviteiten. Klimaatverandering en adaptatie zijn niet aan de orde in de studie van Gellynck et al. zodat de cijfers gebruikt kunnen worden om de verschillende klimaatveranderingsscenario's te kwantificeren, enerzijds los van enige adaptatiemaatregel en anderzijds onder de veronderstelling dat adaptatiemaatregelen in uitvoering worden gebracht.

Om de impacten van de drie geselecteerde klimaatveranderingsscenario's te begroten gaat de methode uit van gelijkblijvend areaal, gelijkblijvend aantal dieren én een constant prijseffect. Als gevolg daarvan wordt de verandering van de eindproductiewaarden onder gewijzigd klimaat uitsluitend bepaald door de gewijzigde technische productiviteit, waardoor het effect van de klimaatverandering apart kan begroot worden. Voor grondgebonden plantaardige productieactiviteiten werd een **correctiefactor voor de referentie technische productiviteit** berekend aan de hand van de modelsimulaties en een ruimtelijk aggregatie voor landbouwsysteem en bodemtype. Voor dierlijke productieactiviteiten gebeurde dit door middel van de simulaties met het threshold model. Aan de hand van de vastgestelde impacten van de klimaatverandering op de technische productiviteit en de eindproductiewaarden werd in de methode aangenomen dat deze impacten ongedaan gemaakt kunnen worden met gepaste inzet van de geïdentificeerde adaptatiemaatregelen. In die zin zal de mate waarin de impacten van de klimaatverandering gecounterd worden enkel afhangen van de mate waarin de landbouwers de gepaste maatregelen effectief uitvoeren. Vanuit deze logica werd voor elk klimaatveranderingsscenario drie niveaus van adoptie van adaptatiemaatregelen door de landbouwers verondersteld en doorgerekend.

De resultaten van de opschalingsmethode geven aan dat de technische productiviteit van vooral de zomergewassen negatief beïnvloed wordt door de klimaatveranderingen, in het bijzonder voor het hoge klimaatveranderingsscenario. In totaal blijven de **impacten financieel** beperkt tot 0,1% of 6.6 miljoen Euro voor het lage klimaatveranderingsscenario, 1,5% of 71 miljoen Euro voor het midden klimaatveranderingsscenario en 4,1 % of 201 miljoen Euro voor het hoge klimaatveranderingsscenario. Indien 70% van de bedrijven zouden overgaan tot adaptatie dan blijven de impacten beperkt tot respectievelijk 0%, 0,1% en 0,4%. De opschalingsmethode behandelt enkel de effectiviteit en niet de efficiëntie. De resultaten geven weer wat de adaptatiemaatregelen mogen kosten om tot een **acceptabele efficiëntie** te komen. De efficiëntie van de individuele maatregelen werd niet beoordeeld.

Voor Vlaanderen dienen zich **opportunities** aan met betrekking tot adaptatie van de landbouw aan klimaatverandering: de economische dynamiek in de landbouw functioneert vooralsnog veel sneller dan die van klimaatverandering. De gevolgen van klimaatverandering dienen integraal deel uit te maken van het landbouwbeleid door middel van een aantal **beleidsopties** en bijhorende instrumenten zoals verfijnde verzekeringsmechanismen, beheer van natuurlijke hulpbronnen en waarborgen van agro-ecologische diensten (creëren van een milieumarkt), en verhogen van klimaatbestendigheid door onder meer aangepaste infrastructuur. Belangrijk hierbij is het opzetten van (tijds) informatiesystemen wat op zich de nodige technische en institutionele capaciteit vereist.

2 INLEIDING

2.1 Achtergrond

In 2005 publiceerde de afdeling Monitoring en Studie (AMS) van het departement Landbouw en Visserij een rapport over de gevolgen van klimaatverandering voor de Vlaamse landbouw. Ondertussen kan het niet meer in twijfel getrokken worden dat we vandaag geconfronteerd worden met erg uitzonderlijke klimaatverschijnselen, die mede veroorzaakt worden door menselijke activiteit. Het vierde Assessment Report van IPCC Werkgroep 1 (IPCC 2007a) heeft het over een waarschijnlijkheid van meer dan 90% dat de mens het broeikasgaseffect versterkt. Volgens de recentste studies wordt geschat dat tegen 2100 de gemiddelde temperatuur op onze planeet met 1,8° tot 4°C stijgen zal. Het niveau van de oceanen zal met 28 cm tot 43 cm stijgen.

Ondertussen is het duidelijk dat de opwarming van het klimaat niet meer kan tegenhouden worden. Het panel stelt dat indien de concentratie van broeikasgassen vanaf vandaag stabiel zou blijven, de temperatuurstijgingen nog eeuwen zouden doorgaan. Om de negatieve effecten van klimaatverandering te vermijden, zou de huidige CO₂-uitstoot met één derde verminderd moeten worden.

Vlaanderen heeft in juli 2006 haar tweede klimaatplan voorgesteld voor de periode 2006-2012. Ook de landbouwsector draagt bij tot het verwezenlijken van de Kyoto-doelstelling. Naast het nemen van bijkomende maatregelen om de CO₂-emissies verder te verminderen moet de landbouw, net als andere maatschappelijke sectoren in Vlaanderen, zich ook gaan voorbereiden op de gevolgen van de klimaatopwarming. Vlaams minister van Leefmilieu Kris Peeters wil hiertoe tegen 2012 een adaptatieplan uitwerken. Dit is in lijn met de suggesties die gedaan worden in het vierde Assessment Report van IPCC Werkgroep 2 over impact, adaptatie en kwetsbaarheid (IPCC 2007b) en met het Nairobi Work Programme van de Verenigde Naties (NWP UNFCCC) dat landen wil motiveren en ondersteunen bij het nemen van initiatieven op het vlak van adaptatie (UNFCCC 2006, 2007).

Aangezien de landbouwsector één van de eerste sectoren is, die beïnvloed wordt door de klimaatwijzigingen, is er nood aan een studierapport over de aanpassingen die de Vlaamse landbouw (zowel op bedrijfsniveau als op sectorniveau) kan nemen om met deze klimaatverandering om te gaan.

Het wetenschappelijk onderzoek inzake adaptatie staat veel minder ver dan het onderzoek op het vlak van broeikasgasuitstoot en –reductie. In enkele landen zoals de Verenigde Staten (USDA 1996), het Verenigd Koninkrijk (Land Use Consultants University of Edinburgh and CAG Consultants, 2006) en Nederland (Milieu- en Natuurplanbureau, 2005) werden verkennende studies gedaan maar die beperken zich meestal tot een opsomming van mogelijke maatregelen. Coherente adaptatiestrategieën werden reeds voor aanverwante sectoren verkend (FAO, 2005). Een selectie van mogelijke maatregelen relevant voor de Vlaamse context dringt zich op, alsook hun vertaling naar mogelijke sectorscenario's.

2.2 Doelstellingen

De doelstelling van de studie is een inventarisatie te maken van mogelijke adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse land- en tuinbouw aan de klimaatverandering, waarbij de mogelijkheden met cijfers onderbouwd zijn.

Deze adaptaties kunnen betrekking hebben op:

- bedrijfstechnische adaptaties zoals teeltechniek, rassenkeuze, mest- en watergebruik, productiekeuze en dierhuisvesting,
- aanpassingen op sectorniveau zoals herlocatie en verandering van langebruik,
- risicobeheersingmaatregelen tegen klimaatverandering.

Om deze doelstelling te verwezenlijken zullen de volgende stappen worden gezet:

- Selectie en beschrijving van klimaatscenario's;

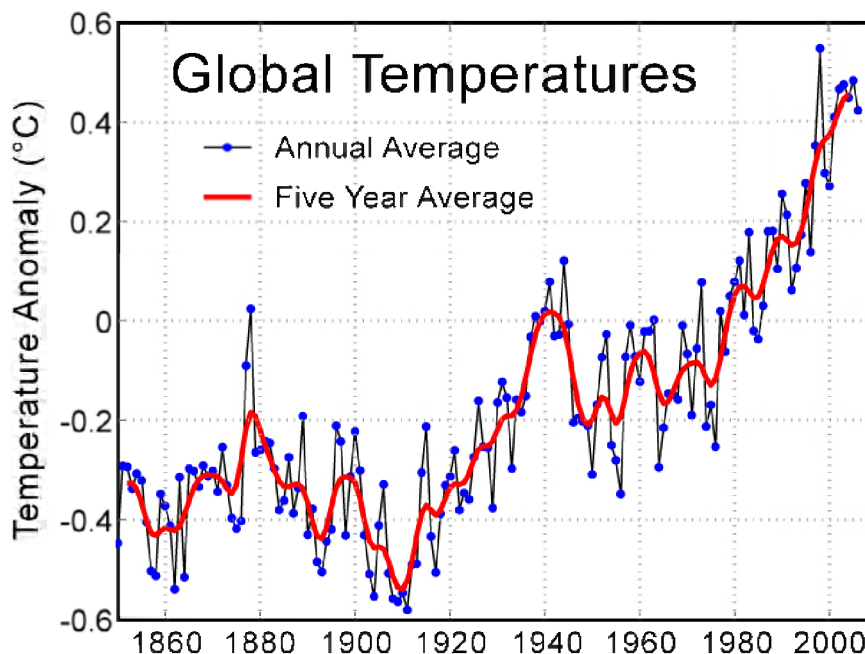
- Beschrijving en cijfermatige onderbouwing van de impacten van klimaatsverandering zoals beschreven door de geselecteerde scenario's, op de economische performantie, het ruimtegebruik en de broeikasgasbalans van de professionele land- en tuinbouwsector in Vlaanderen bij afwezigheid van adaptatie. De uitgangstoestand is deze van de jaren voor 2004;
- Oplijsting van adaptatiemaatregelen en bespreking en onderbouwing van de effecten van elk van deze maatregelen op het milieu, het ruimtegebruik en waar mogelijk op de economische performantie van de betrokken sector of deelsectoren;
- Opschaling van de impacten van de klimaatscenario's van het perceels- en bedrijfsniveau naar het niveau Vlaanderen;
- Groepering van de individuele maatregelen tot adaptatiestrategieën die gerelateerd zijn aan de geselecteerde klimaatscenario's en berekening van de effectiviteit en efficiëntie van de strategieën op het niveau van Vlaanderen;
- Formulering van besluiten en aanbevelingen voor beleid en onderzoek.

3 SELECTIE EN BESCHRIJVING VAN KLIMAATSCENARIO'S

3.1 Opwarming van de aarde

Klimaatverandering is de verandering van het klimaat of het gemiddelde weertype over een bepaalde periode. De verandering manifesteert zich het duidelijkst in een stijging of daling van de gemiddelde temperatuur en van de gemiddelde hoeveelheid neerslag op Aarde.

Sinds het begin van de 20e eeuw is de temperatuur op aarde sterk toegenomen (Figuur 1) en spreekt men over de opwarming van de aarde. Volgens berekeningen aan de hand van de HADCRUT3¹ dataset is sinds het begin van de twintigste eeuw de gemiddelde mondiale temperatuur met ongeveer 0,74°C gestegen (Brohan et al., 2006).

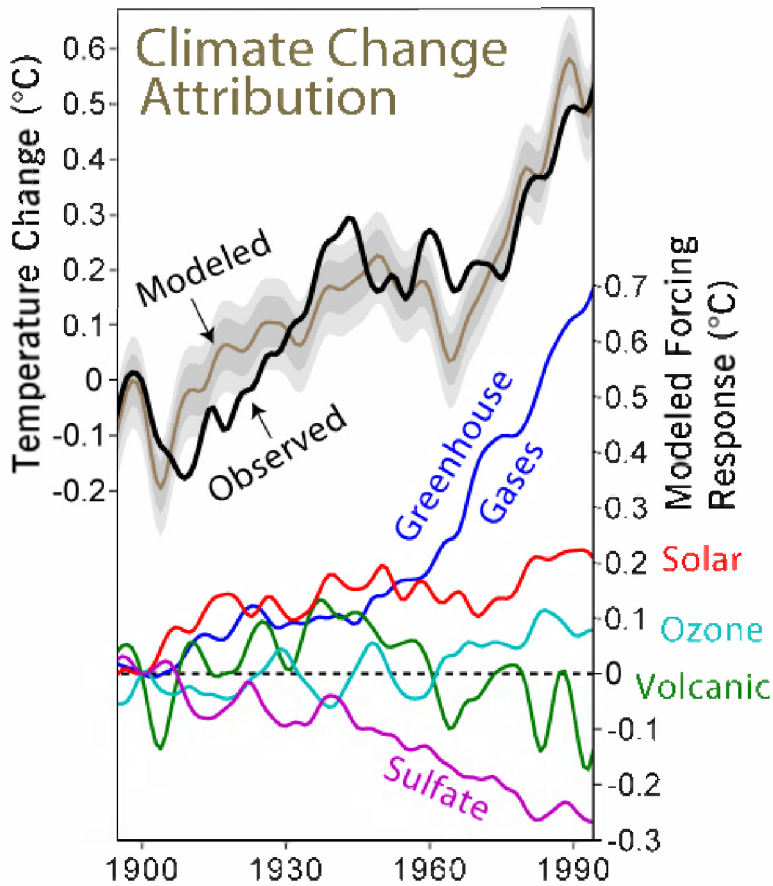


Figuur 1 Gemiddelde mondiale temperatuur 1856-2004, gebaseerd op de HADCRUT3 dataset (Brohan et al., 2006) die bestaat uit waarnemingen van weerstations gelocaliseerd op land en zee. De nullijn geeft de gemiddelde temperatuur weer voor de periode 1961-1990.

Een reconstructie van de historische gemiddelde mondiale temperatuur aan de hand van een GCM (global Change Model) laat toe om het effect van vijf verschillende factoren op de temperatuurstijging te analyseren. Deze factoren zijn broeikasgassen, antropogene sulfaatemissies, zonneactiviteit, ozonconcentraties en vulkanische emissies (inclusief natuurlijke sulfaatemissies). Historische tijdreeksen lieten toe om op basis van de gekende stralingskracht van elk van deze factoren temperatuurswijzigingen te berekenen voor elk van de factoren afzonderlijk (rechtsonder op Figuur 2) en gecombineerd (bruine lijn op Figuur 2) (Meehl et al., 2004). De gemodelleerde gemiddelde temperatuurstijging is omgeven door grijze banden die een 68% en 95% interval voor natuurlijke

¹ HadCRUT3 is een raster dataset gebaseerd op mondiale waarnemingen van oppervlaktetemperatuur. De data zijn beschikbaar voor elke maand sinds januari 1850, op een gridgrootte van 5°. De dataset is een product van het "Met Office Hadley Centre" en het "Climatic Research Unit at the University of East Anglia".

variabiliteit in weersomstandigheden weergegeven gebaseerd op meervoudige simulaties met telkens verschillende randvoorwaarden. De beste modelresultaten werden bekomen door alle vijf de beschouwde factoren in rekening te brengen. Het aandeel van de broeikasgassen (waterdamp, kooldioxide, methaan) is het hoogst maar kan niet alles verklaren zoals blijkt uit de modelresultaten (Figuur 2). De concentraties van de kooldioxide en methaan in de atmosfeer zijn op dit moment de hoogste in minstens 650.000 jaar, zo blijkt uit de analyse van ijsboringen (IPCC, 2007).



Figuur 2 Bijdrage van verschillende factoren aan de opwarming van de Aarde (Meehl et al., 2004). De nullijn zijn de temperaturen in 1900.

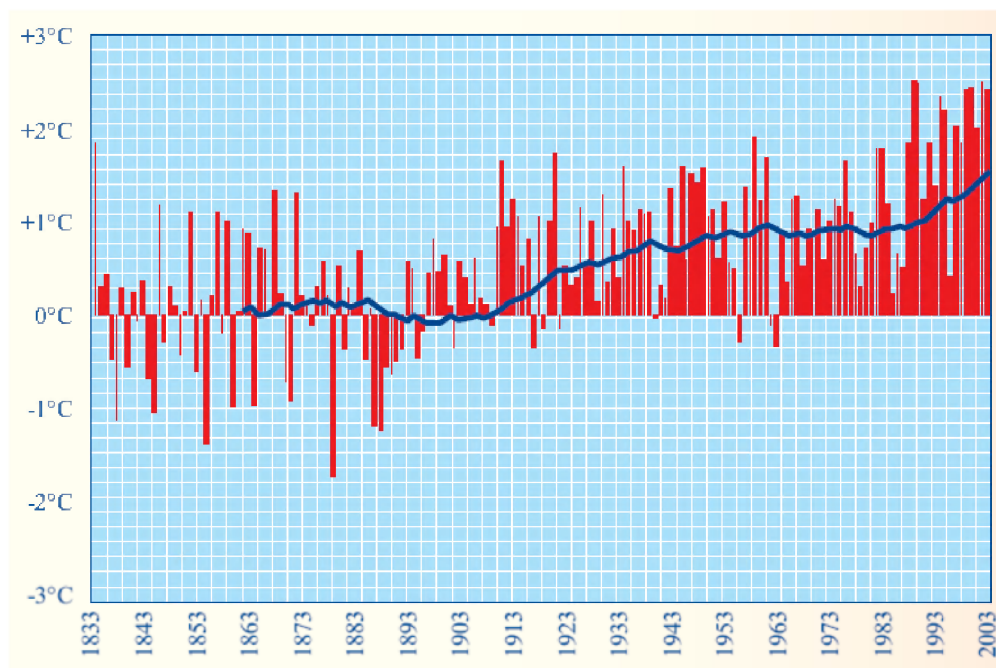
In het algemeen is het klimaat onderworpen aan grote aardse cycli van duizenden jaren: ijstijden komen en gaan doordat de stand van de aardas en de vorm van de aardbaan variëren. Net zoals de opwarming geen vat heeft op het ritme van dag en nacht, en ook de wisseling van de seizoenen intact laat, zo zal de opwarming vroeg of laat gestuit worden door een volgende ijstijd. Deze grote aardse cycli van 100.000 jaar zijn goed begrepen door geologen, maar de kleinere minder. Daardoor is het moeilijk te achterhalen in welke mate de huidige variatie (opwarming) te wijten is aan een natuurlijke golf, aan menselijke activiteiten of aan een combinatie van beiden. Het vierde Assessment Report van IPCC heeft het over een waarschijnlijkheid van meer dan 90% dat de mens het broeikasgaseffect versterkt. Zeker is dat het aandeel van menselijke activiteit het hoogst is in de uitstoot van broeikasgassen. Dit neemt niet weg dat de opwarming een feit is en dat de symptomen best kunnen bestreden worden door adaptatiemaatregelen.

3.1.1 Opwarming in Vlaanderen

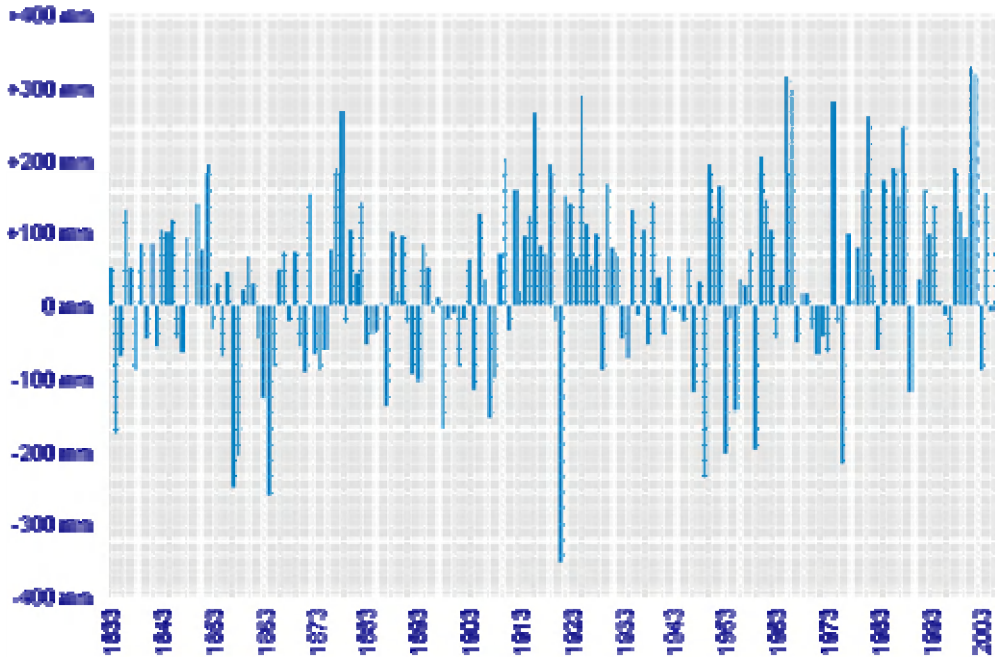
In Vlaanderen is de temperatuur inmiddels sterker gestegen dan het wereldgemiddelde. Dit is vooral te wijten aan een frequentietoename van de warmste zomerdagen en een frequentieafname van de koudste winterdagen. De evolutie van de gemiddelde jaarlijkse temperatuur in de twintigste eeuw in Ukkel vertoont een stijgende curve (Figuur 3). Een eerste betrekkelijk abrupte opwarming komt voor in de eerste helft van de twintigste eeuw en een tweede sprong vindt plaats vanaf de jaren tachtig. De gemiddelde temperatuur in de periode 2000-2004 is 1,2°C hoger dan de normale waarde in de periode 1961-1990. De elf warmste jaren, sedert het begin van de meteorologische metingen te Ukkel, komen voor na het jaar 1989.

De jaarneerslag is in Noord-Europa in de 20e eeuw gemiddeld met 5-10% toegenomen (IPCC, 2007). Voor Vlaanderen toont trendanalyse een toename van de neerslag van 6.6 % op jaarbasis gedurende de 20e eeuw, waarbij de winterneerslag zelfs met 25% gestegen is in Vlaanderen (Mira, 2008). De intensiteit van de extreme neerslag is toegenomen, de winters zijn duidelijk natter en de zomers over het algemeen iets droger. De natuurlijke variatie van de neerslag van jaar tot jaar is veel groter dan de trend over een bepaalde periode.

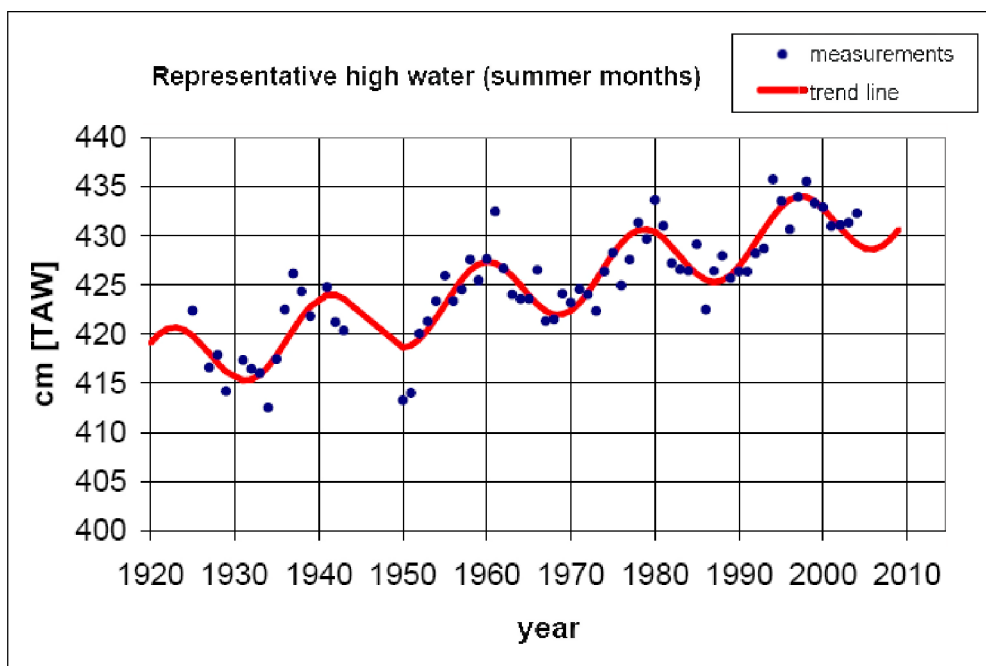
De stijging van de zeespiegel ten gevolge van de mondiale opwarming zal niet dezelfde zijn in alle streken van de wereld. Regionale veranderingen ontstaan uit schommelingen in de thermische uitzetting van het zeewater, schommelingen in de stromingen in de oceanen en landverschuivingen. Gedurende de voorbije tientallen jaren werd de morfologische evolutie van de stranden en vooroevers in detail gevolgd aan de Belgische Kust. De zeespiegelstijging bedroeg in deze periode gemiddeld 1,5 à 2 mm per jaar (Verwaest et al., 2005). De waarnemingen voor de periode 1937-2003 in Oostende wijzen op een stijging van de zeespiegel die geraamd wordt op 18 cm/ eeuw, zonder teken van recente versnelling (Figuur 5).



Figuur 3 Evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur te Ukkel (1833-2003) – Verschillen met de omstandigheden in het midden van de 19de eeuw (1833-1862) (in het blauw: mobiel gemiddelde in de afgelopen 30 jaar). Bron: berekeningen Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie volgens cijfers van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.



Figuur 4 Evolutie van de gemiddelde jaanneerslag te Ukkel (1833-2003) – Verschillen met de omstandigheden in het midden van de 19de eeuw (1833-1862). Bron: berekeningen Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie volgens cijfers van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België.



Figuur 5 Evolutie van de relatieve zeespiegel te Oostende van 1925 tot 2004, gemeten met maregraaf. De punten geven de gefilterde metingen weer. De vloeiende lijn is de trendlijn doorheen de punten. (Verwaest & Verstraeten 2005)

3.2 Antropogene klimaatverandering

3.2.1 Verklaringen

Over de oorzaken en mogelijke gevolgen van de mondiale opwarming is men het nog niet eens. Aangenomen wordt dat het aandeel van menselijke activiteit het hoogst is in de uitstoot van broeikasgassen. De algemeen aanvaarde opvatting is dan ook dat de recente klimaatverandering zeer waarschijnlijk door de mens veroorzaakt wordt en dat dit zal leiden tot verdere opwarming van de aarde, een paradigma dat verwoord wordt door het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC, 2007). Dit betekent dat door de mens effectief maatregelen kunnen genomen worden om de klimaatsverandering tegen te gaan en bijvoorbeeld de oorzaken van het broeikaseffect te matigen (mitigatie) of de samenleving beter bestendig (adaptatie) te maken tegen klimaatverandering. In deze studie worden de adaptatiemogelijkheden van de Vlaamse landbouw ten gevolge van de klimaatverandering bestudeerd.

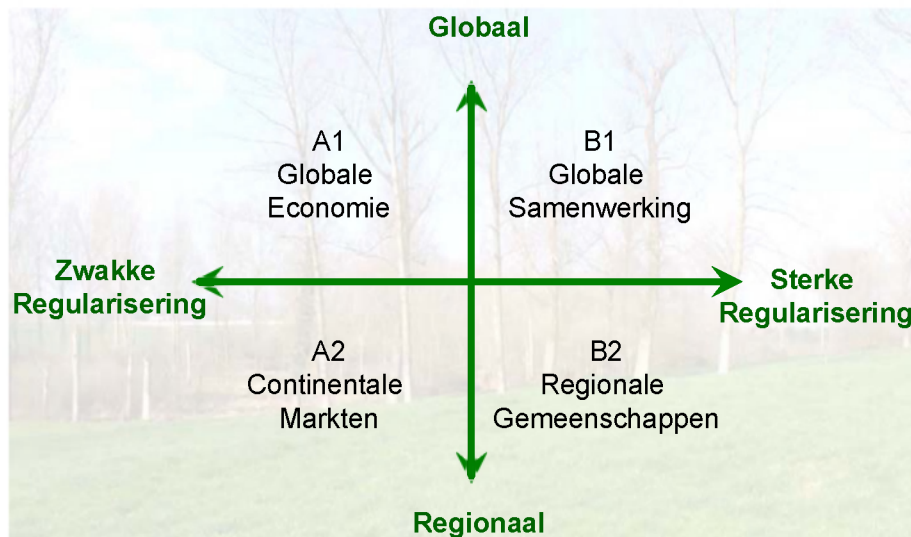
Klimaatverandering is moeilijk te meten en te voorspellen omdat het ingewikkelde patronen betreft die geaggregeerd over tijd en ruimte spelen. Naarmate meer metingen over een langere tijd beschikbaar zijn kunnen uitspraken met meer zekerheid gedaan worden. Dat uitspraken omtrent de mondiale opwarming nu al gedaan kunnen worden is een indicatie van hoe snel de veranderingen plaatsvinden. Het belangrijkste is echter dat het klimaat zal veranderen, wat aanpassingen vereist.

Twee grote bronnen van onzekerheid bij klimaatvoorspellingen betreffen enerzijds de klimaatfysica en anderzijds het effect van maatschappelijke ontwikkelingen op het klimaat:

- Klimaat en klimaatverandering (Klimaatfysica) zijn beperkt begrepen waardoor er verschillende mondiale klimaatmodellen (GCM) met verschillende aannames en resultaten bestaan; en,
- Verschillende geopolitieke, technologische en maatschappelijke ontwikkelingen resulteren in verschillende broeikasgasemissies die telkens een ander effect hebben op klimaatverandering.

3.2.2 Wereldomvattende emissiescenario's

De bekendste, meest algemeen aanvaarde en wereldomvattende scenarios zijn de emissiescenario's uit IPCC's derde en vierde beoordelingsrapporten (IPCC, 2001 & 2007). In het emissierapport (Special Report on Emission Scenarios) stellen Nakicenovic et al. (2000) vier grote scenariofamilies voor op twee assen die de veronderstelde rol van de overheid en het schaalniveau van processen en interventies weergeven. De twee assen vormen vier kwadranten van zwak tot sterk gecontroleerde regularisering en van toenemende globalisering tot toenemende regionalisering (Figuur 6). Een scenariofamilie bestaat uit meerdere scenario's die telkens door dezelfde demografische, politiek-sociale, economische en technologische beschrijvingen (verhaallijnen) worden gekenmerkt. Geen van deze scenariofamilies gaat uit van extra klimaat-initiatieven, en bijgevolg geen implementatie van de United Nations Framework Convention on Climate Change of de emissie-doelen van het Kyoto Protocol. Het gevolg van de vier contrasterende scenariofamilies zijn de concentraties van de broeikasgassen die in de atmosfeer blijven toenemen tot in het jaar 2100 met in het slechtste geval een verdrievoudiging van de broeikasgasuitstoot.



Figuur 6 De vier scenario's voorgesteld op de assen van beleid en schaalniveau van interventie

De vier families van emissiescenario's die werden vooropgesteld zijn:

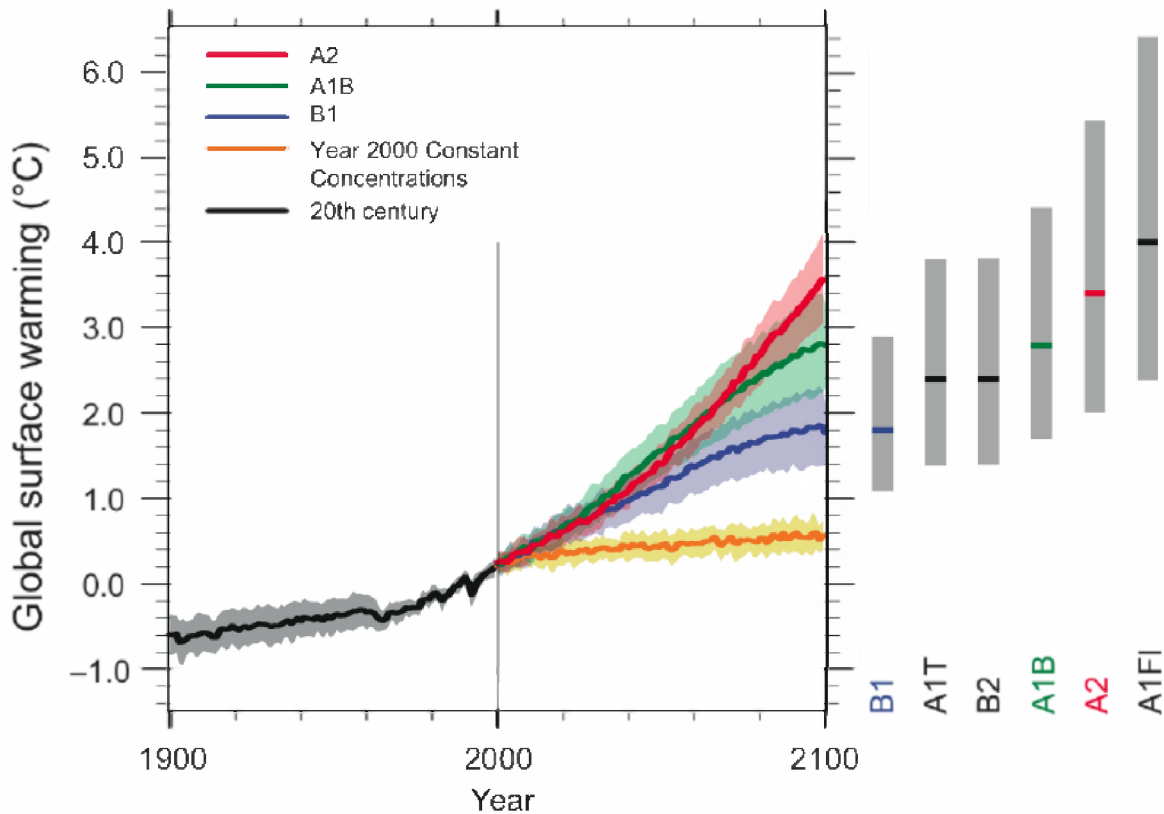
- De A1 familie (Mondiale Economie) beschrijft de toekomst als een wereld van snelle economische groei. Deze familie omvat verschillende deelscenario's. In het A1FI scenario gaat de snelle economische groei gepaard met een intensief gebruik van fossiele brandstof, in A1T met een hoog gebruik aan niet-fossiele brandstof en A1B met een balans tussen brandstoffen. Het A1B scenario wordt vaak als uitgangspunt genomen bij uitspraken over de verwachtingen. Het A1FI is een zeer hoog emissiescenario, met CO₂-equivalent broeikasgasconcentraties van 1550 ppm tegen de jaren 2090-2099.
- De A2 familie (Continentale Markten) beschrijft een zeer heterogene wereld van zelfvoorziening en behoud van de lokale identiteit, constant stijgende bevolkingsgroei, de economische ontwikkeling is sterk regio-gebonden, met ongelijke verdeling van inkomens en technologische ontwikkeling. Hieraan verbonden zijn middelmatige tot hoge emissies met CO₂-equivalent broeikasgasconcentraties tot 1250 ppm tegen de jaren 2090-2099.
- De B1 familie (Mondiale Samenwerking) reflecteert een wereld van globale strategieën, met snelle veranderingen naar een diensten- en informatie-economie, afname in materiële intensiteit en de invoering van schone en bronefficiënte technologieën. Een rechtvaardige wereld met wereldwijde oplossingen voor economische, sociale en milieu-duurzaamheid maar zonder extra klimaat-initiatieven. Dit gaat gepaard met lage emissies, met CO₂-equivalent broeikasgasconcentraties van 600 ppm tegen de jaren 2090-2099.
- De B2 familie (Regionale Gemeenschappen) legt de nadruk op lokale oplossingen voor economische, sociale en milieukundige duurzaamheid. Het emissiescenario is middelmatig tot laag met CO₂-equivalent broeikasgasconcentraties rond 800 ppm tegen de jaren 2090-2099.

3.2.3 Klimaatmodellen en trendanalyse

Complexe gekoppelde atmosfeer-oceaan-ijskap klimaatmodellen gebruiken kwantitatieve methoden om de interacties te simuleren tussen atmosfeer, oceaan, land- en ijsoppervlakken. Deze mondiale klimaatmodellen (= GCM, Global Climate Model or Global Circulation Model) zijn fysisch gebaseerd en grofschalig in tijd en ruimte. Ze leveren seizoensgemiddelde of maandelijkse resultaten op voor een ruimtelijke resolutie van 150x150 tot 300x300 km².

De meest recente kennis van het mondiale klimaatsysteem heeft aanleiding gegeven tot nieuwe modelresultaten. In het 2007 IPCC rapport werden de klimaatveranderingen geanalyseerd voor 23 wereldwijd gerenomeerde GCMs bij verschillende initiële condities voor de modellen (ensemble) en voor verschillende broeikasgasemissiescenario's (A1FI, A1B, A1T, A2, B1, B2 en andere zoals constant veronderstelde of multi-pele concentraties sinds het jaar 2000). De resultaten of zogenaamde 'multi-model ensemble-member' simulaties werden verder geanalyseerd met behulp van een multi-model databank en resulteren in gemiddelde verwachtingen met bijhorende statistische variabiliteit

(Figuur 7, Tabel 1). Binnen eenzelfde ensemble-member leveren verschillende modellen andere resultaten op vanwege het verschil in fysische parameterisatie.



Figuur 7 Mondiale temperatuurprojecties op basis van multi-model ensemble-member simulaties

Tabel 1 Verwachte temperatuurverandering en CO₂-equivalent in 2090-2099 ten opzichte van 1980-1999 volgens de verschillende SRES (Special Report on Emission Scenarios) & GCM (Global Circulation Model) scenario's

Scenario	Δ Temp (°C)	Bereik (90% Kans) (°C)	CO ₂ equivalent (ppm)
Y2K - Ref	0.6	0.3 - 0.9	
B1	1.8	1.1 - 2.9	600
A1T	2.4	1.4 - 3.8	700
B2	2.4	1.4 - 3.8	800
A1B	2.8	1.7 - 4.4	850
A2	3.4	2.0 - 5.4	1250
A1FI	4.0	2.4 - 6.4	1550

Noteer dat A1T, A1B en A1FI tot de A1 scenariofamilie behoren. Het A1B scenario wordt vaak als uitgangspunt genomen bij uitspraken over de verwachtingen. Het Y2K scenario is een referentiescenario waarbij de broeikasgasuitstoot constant wordt verondersteld sinds het jaar 2000.

Hoewel vanuit een rekenkundig standpunt de resolutie van GCM resultaten ruimtelijk en temporeel kan verbeterd worden, blijven ze ontoereikend om de fijschalige klimaatsystemen in verschillende regio's te simuleren (IPCC, 2007). De resultaten van GCMs kunnen echter gebruikt worden bij het inschatten van de sturende krachten op de regionale klimaatverandering. Dit kan op verschillende

manieren gebeuren gaande van zuiver empirische trendanalyse tot volledig fysisch gebaseerde regionale klimaatmodellen. Vele klimaatvoorspellingen zijn gebaseerd op een hybride methode. In Nederland beschrijft het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, 2006) vier klimaatveranderingsscenario's (G, G+, W en W+) en voert deze uit op basis van een empirische trendanalyse waarvoor de voorwaarden gezet worden door regionale (noord-Europese) klimaatmodellen. De letters staan voor de temperatuurstijging; 'G' staat voor 'gemiddeld' (2° C) en 'W' voor 'warm' (4° C) (de uiterste waarden worden in de KNMI-scenario's niet meegenomen). De '+' staat voor verandering van de voornoemde circulatie, met meer westenwinden in de winter en meer oostenwinden in de zomer (geen '+' staat voor geen verandering daarin).

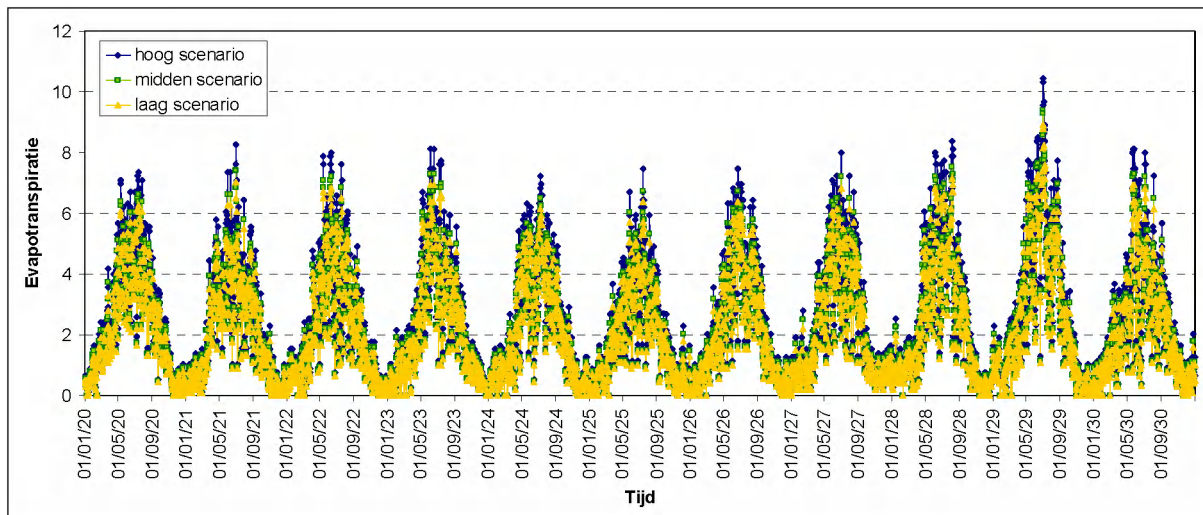
Empirische trendanalyse wordt courant gebruikt om historische tijdreeksen van weersgegevens te transformeren (weergenerator). Meestal gebeurt dit aan de hand van een grondige voorafgaande statistische analyse en worden de tijdreeksen getransformeerd op basis van gemiddelde, percentielen, variabiliteit en de verandering daarin per tijdstap (meestal maand) zoals voorgeschreven door het gekozen scenario. Dit voorgeschreven gekozen scenario wordt afgeleid van klimaatmodellen op een ruwere schaal. De getransformeerde tijdreeksen geven bijgevolg informatie over de gemiddelden, variatie tussen dagen, kans op extremen, etc. voor het mogelijke klimaat in de toekomst. De getransformeerde tijdreeksen leveren echter géén voorspelling van het weer in de toekomst op een bepaalde dag of in een bepaald jaar.

De resoluties waarmee **regionale klimaatmodellen** (RCMs) werken zijn typisch dagelijks in de temporele schaal en 25x25 tot 50x50 km² in de ruimtelijke schaal. In het Europese 5^e kader onderzoeksproject PRUDENCE ('Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects') werden 12 regionale klimaatmodellen gebruikt om tijdreeksen van neerslag en temperatuur met hoge resolutie in tijd (dagwaarden) en ruimte (0.5° grid voor heel Europa) te genereren voor een huidig klimaat (voor de 1961-1990 referentieperiode) en voor een toekomstige periode (2071-2100), voor IPCC emissiescenario's (vooral A2 en B2) en bij verschillende initiële condities (ensemble-members) om het toekomstige klimaat te voorspellen (Christensen, 2007a). De resultaten van de simulaties voor elk ensemble-member en voor elk van de verschillende RCMs zijn beschikbaar op <http://prudence.dmi.dk>.

In het kader van het CCI-HYDR project (Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems; Willems et al., 2007; Boukhris et al., 2007) analyseerde het KMI de 24 simulaties die beschikbaar zijn op de PRUDENCE dataserver. Voor elk van de simulaties zijn door het KMI modelresultaten afgeleid voor neerslag en evaporatie voor de locatie dichtst bij Ukkel. Het KMI berekende vervolgens de potentiële evapotranspiratie (ET_o) volgens de Bultot-methode (Bultot et al., 1988). Door statistische analyse voor consistentie werden 5 van de 24 RCM-simulaties verworpen omdat ze in de referentieperiode 1961 – 1990 sterk afwijkende resultaten met de historische Ukkel-waarnemingen voor neerslag vertoonden (hindcast) én sterk afwijken ten opzichte van de andere scenario's voor wat betreft voorspellingen (forecast). Na weglating van de verworpen simulaties werden de gemiddelde, ondergrens- en bovengrenswaarden vastgelegd voor neerslag en evapotranspiratie als respectievelijk midden, laag en hoog klimaatveranderingsscenario. Op basis van de randvoorwaarden en empirische trendanalyse werden vervolgens tijdreeksen afgeleid.

In het CCI-HYDR project transformeerde men een historische tijdreeks (1967-2002) met evapotranspiratie berekeningen volgens de Bultot-methode volgens de randvoorwaarden van het gekozen scenario (laag-midden-hoog) (Figuur 8). Aangezien de randvoorwaarden sterk vereenvoudigd werden, in casu een herschaling in herfst/winter en een andere herschaling in lente/zomer, leverde dit noch voor neerslag, noch voor evapotranspiratie resultaten op die een verbetering betekenden ten opzichte van de door de regionale klimaatmodellen gemodelleerde tijdreeksen zowel in hindcast als in forecast. Voor deze studie werden daarom de originele tijdreeksen van neerslag en evaporatie op basis van de resultaten van drie klimaatmodellen die overeenkomen met een laag, midden en hoog scenario ter beschikking gesteld voor een grid dat Ukkel omvat. Omdat het over weertijdreeksen gaat die aansluiten bij een toekomstig klimaat en er voor de regio Vlaanderen geen grote klimaatverschillen zijn, kunnen modelresultaten van plantaardige of dierlijke productie gebaseerd op deze weertijdreeksen geëxtrapoleerd worden voor Vlaanderen.

We verkozen om voor evapotranspiratie niet met het model van Bultot te werken. De reden hiervoor is dat de gebruikte gewasparameters in de gewasmodellen afgeleid zijn op basis van evapotranspiratie volgens de gewijzigde methode van Penman-Monteith.



Figuur 8 Voorbeeld van een getransformeerde tijdreeks voor evapotranspiratie op basis van de door het KMI afgeleide trendanalyse (Bron: gegevens ter beschikking gesteld door het CCI-HYDR project).

Voor temperatuur konden de tijdreeksen horende bij de weerhouden regionale modellen echter niet ter beschikking worden gesteld en werd daarom gezocht naar een methode van verfijnde empirische trendanalyse uitgaande van de randvoorwaarden gesteld door de weerhouden laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario's. In deze studie werden de voorwaarden gesteld door de drie weerhouden regionale klimaatveranderingsscenario's van het prudence project (op Europese schaal) én werden de gemiddelde temperatuurstijgingen in winter en zomer afgeleid van de klimaatveranderingsscenario's opgesteld door het KNMI voor Nederland. Deze randvoorwaarden en temperatuurstijgingen werden toegepast op de historische tijdreeks te Ukkel om toekomstige temperatuurtijdreeksen te schatten die horen bij de respectievelijke laag, midden en hoog scenario's.

Meer details over de gebruikte klimatologische tijdreeksen in deze studie worden gegeven in sectie 2.2.3.1 (klimatologische variabelen: invoerparameters voor waterbalanssimulaties).

3.3 Scenario's en verhaallijnen

3.3.1 Scenario's en verhaallijnen voor Europa (EURuralis)

Binnen het EURuralisproject werden de vier IPCC emissiescenario's als basis gebruikt om de ontwikkelingsmogelijkheden van landgebruik en landbedekking in Europa te schetsen met een tijdshorizon van het jaar 2030 (EURURALIS Scenarios, 2004). De EURuralis studie werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van LNV in het kader van het Nederlands voorzitterschap van de EU, om de strategische discussie in Europa te stimuleren. De vier scenario's voor de toekomst van het Europese landgebruik zijn verkend op hun gevolgen voor "people, planet and profit".

EURuralis werd ontworpen om steun te bieden aan beleidsmakers op Europees en regionaal niveau die steeds meer bezorgd zijn om duurzame ontwikkelingen in rurale gebieden en het daarmee inherent verbonden landgebruik in het algemeen. Algemeen aanvaarde concepten en methoden werden gebruikt (Klijn et al., 2005), zoals het gebruik van de wetenschappelijk en politiek aanvaardbare IPCC emissiescenario's, de identificatie van drijfveren volgens het DPSIR kader en het gebruik van algemeen aanvaarde en geteste modellen die geconcateneerd kunnen worden om de drijvende krachten te specificeren van Europese tot regionale schaal en om hun impacten op People, Profit en Planet te kennen.

Aan de hierboven beschreven vier grote contrasterende IPCC emissiescenario's (sectie 3.2.2) werd in EURuralis inhoud gegeven door middel van kwalitatieve verhaallijnen (storylines), ingevuld op Europese en nationale (lidstaten) schaal. Het kwantificeren van de scenario's gebeurde aan de hand van een aantal aan elkaar gekoppelde modellen:

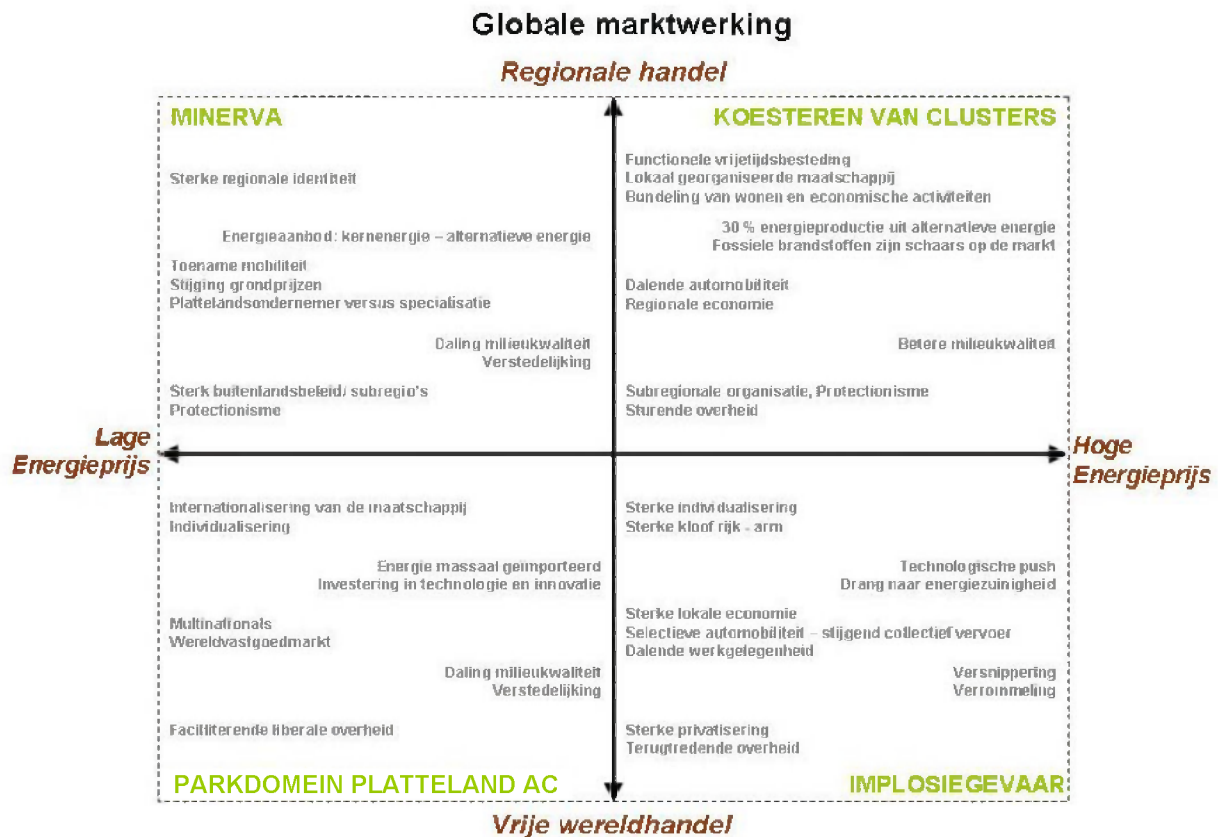
- Het Global Trade Analysis model (GTAP) heeft als doel de internationale handel, hulpbronnen en omgevingsaspecten in een economische context te analyseren. Een variant van dit model, i.e. LEITAP, werd gebruikt zodat landbouweconomische verfijningen konden begroot worden;
- Via het IMAGE model wordt de lange termijn dynamica van klimaatveranderingen en milieukundige effecten onderzocht; en,
- Het CLUE model wordt gebruikt om landgebruiksveranderingen ruimtelijk te expliciteren en om het effect van verschillende scenario's te visualiseren.

Eén van de opmerkelijke conclusies van het EURuralis project is dat in alle scenario's het aantal bewoners van het platteland sterk daalt; van circa 100 miljoen nu tot ongeveer 75 miljoen in 2030. Eén van de oorzaken is de trek naar de stad, omdat daar meer werkgelegenheid is. Een andere oorzaak is de algemene vergrijzing van Europa. Tussen de vier scenario's verschilt het veronderstelde Gemeenschappelijke Landbouwbeleid sterk, van handhaving van het bestaande beleid tot aan complete afschaffing ervan. De omvang van het landbouwareaal verschilt echter weinig tussen de scenario's. Bij een vrije wereldmarkt bijvoorbeeld vindt de veronderstelde afschaffing van subsidies en importheffingen wereldwijd plaats, waardoor de welvaart wereldwijd toeneemt. De dan sterk stijgende vraag naar voedselproducten uit Azië zorgt ervoor dat er nog steeds toekomst is voor Europese landbouwers in deze scenario's. Wel zullen de inkomens onder druk blijven staan, evenals de werkgelegenheid.

De vier scenario's zijn voor wat betreft veranderend landgebruik in de vorm van kaartbeelden uitgewerkt, zodat ook te zien is waar wat gebeurt. Recentelijk werd het model vrijgegeven waarmee evoluties van de landbedekking tot op de vierkante kilometer kunnen worden gesimuleerd voor een periode van 30 jaar. In december 2006 werden nieuwe simulaties aangemaakt met een verfijning van de vroegere landbedekkingsklassen om te voldoen aan de noden van Europese beleidsmakers, onder meer om erosie als belangrijke bodembedreiging te begroten.

3.3.2 Scenario's en verhaallijnen voor Vlaanderen (VLM)

De projectgroep 'plattelandsbeleid, een gezamenlijk innovatieproces' stelde een set van vier mogelijke maar duidelijk verschillende ontwikkelingsscenario's op voor het Vlaamse platteland. De scenario's zijn vormgegeven vanuit een assenstelsel waarbij de uitersten gevormd worden door een lage en een hoge energieprijzen ten opzichte van een globale en regionale marktwerking. De toekomstverkenning beschrijft vier mogelijke toekomstbeelden zonder impliciet de wenselijkheid te vermelden.



Figuur 9 Schematische weergave van de VLM scenario's op de assen van marktwerking en energieprijs (van Bockstal et al., 2006) – Noteer dat de assen verschillen van deze gehanteerd voor de IPCC emissiescenario's.

Een uitgebreid rapport dat de verhaallijnen schetst voor elk van de vier scenario's is beschikbaar op de website van de VLM. Hieronder lichten we de aandachtspunten die betrekking hebben op de Vlaamse landbouw eruit.

Het scenario **parkdomein platteland** komt *grosso modo* overeen met het A1 scenario mondiale economie:

- Vlaanderen is verstedelijkt, weinig open ruimte
- Weinig grondgebonden productielandbouw
- Geen gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB), agro-industrie domineert

Het scenario **minerva** komt *grosso modo* overeen met het A2 scenario continentale/regionale markten:

- Vermarkten van landbouw: streekproducten & labels
- Toenemende druk van landbouw op open ruimte
- Landbouwersers zijn plattelandsondernemers

Het scenario **implosiegevaar** komt *grosso modo* overeen met het B1 scenario globale samenwerking:

- Afschaffing van subsidies en marginalisering van de klassieke landbouw
- Productie voor lokale markten, specialisatie in producten met hoge toegevoegde waarde
- Geen serres door te hoge energieprijzen

Het scenario **koesteren van clusters** komt *grosso modo* overeen met het B2 scenario regionale gemeenschappen:

- Dualisering van de landbouw: sommige bedrijven worden intensiever en groter, andere leggen zich toe op bioproductie & thuisverkoop
- Korte keten (verkoop op lokale markt) en grote samenwerkingsverbanden

- Plattelandstoerisme
- Akkers nemen toe voor energiegewassen, eiwitrijke veevoedergewassen en industriële gewassen; weiden nemen af; bosaanplanting neemt toe.

3.4 Scenariokeuze

3.4.1 Kwalitatieve inschattingen

Voor kwalitatieve inschattingen in het kader van deze onderzoeksopdracht dienen de emissiescenario's zoals uitgewerkt door IPCC (2007) vertaald te worden naar de Europese schaal en naar de Vlaamse regionale schaal.

Landbouw domineert het Europese landschap en bedekt meer dan 45% van de oppervlakte van de EU-25 landen. Voor Vlaanderen is dit tussen 50 en 60% volgens de cijfers van het NIS. Het Europese Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) is een sterk Europees beleidsraamwerk met verschillende stimulerende maatregelen en subsidies die niet enkel de landbouw beïnvloeden, maar ook het landschap, ecosystemen, recreatie, economische infrastructuur en het beheer van natuurlijke rijkdommen. Het multifunctionele karakter van de landbouw en het landbouwbeleid zijn daarom belangrijke drijfveren voor agrarische landgebruiksveranderingen. De klimaatverandering zal niet alleen gevolgen hebben voor de opbrengsten van land- en tuinbouw, maar ook voor de structuur van het landschap op zich. De verfijnde EURuralis simulaties (Klijn et al., 2005) worden gebruikt om de invloed van het GLB en landgebruikveranderingen kwalitatief te beschrijven.

Veel bedrijven zullen intensiveren of hun omvang vergroten. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor de leefbaarheid van het platteland. Kansen liggen er in sommige scenario's onder andere op het gebied van biodiversiteit, doordat de landbouw daar juist extensiveert of van akkerland grasland maakt. Ook de meest erosiegevoelige gebieden kunnen worden ontzien. Het braak laten liggen van landbouwgronden heeft overigens lang niet altijd een positief effect op de natuur: juist door het goed landbeheer is de flora en fauna in sommige extensief beheerde gebieden rijker geworden. De landschapskwaliteiten kunnen afnemen, zowel door intensiever gebruik als door het niet meer onderhouden van landbouwgrond. In de mate van het mogelijke worden de VLM scenario's gebruikt (van Bockstal et al., 2006) om een beeld te schetsen van de toekomst van het platteland in Vlaanderen.

3.4.2 Kwantitatieve inschattingen

Temperatuurstijgingen vanaf 2°C leiden met het actuele grondgebruik meestal tot een daling van de mogelijke opbrengst terwijl verhoogde CO₂-concentraties een positieve invloed hebben op de mogelijke opbrengst. Bij een stijgende temperatuur dient een verhoogde verspreiding van ziekten en plagen in rekening gebracht. Een verminderde neerslag tijdens het groeiseizoen zal de noodzaak aan irrigatie doen toenemen. Een toename van de neerslag in het voorjaar en in het najaar zal de werking op het land bemoeilijken en erosie doen toenemen. Deze en andere weersgerelateerde elementen en de wisselwerking ertussen dienen begroot te worden van de veldschaal tot de regionale schaal om mogelijke adaptaties in te schatten. Voor kwantitatieve inschattingen zullen verschillende tijdreeksen voor het mogelijke klimaat in de toekomst gebruikt worden zoals gegenereerd door verschillende klimaatmodellen. Twee methoden worden hierbij vooropgeschoven: de methode van het KMI voor de afleiding van neerslag en evapotranspiratie op basis van regionale klimaatmodellen en de methode van de getransformeerde tijdreeksen (weersgeneratoren) voor de afleiding van andere parameters.

De gebruikte klimatologische tijdreeksen zijn gebaseerd op regionale klimaatvoorspellingen afgeleid van de generatie third assessment mondiale klimaatmodellen. Om tegemoet te komen aan de geobserveerde onderschattingen van de generatie third assessment ten opzichte van de fourth assessment mondiale klimaatmodellen werd geopteerd voor tijdreeksen gecentreerd rond 2085 (2070-2099) waarvan de resultaten werden terugggebracht tot de tijdspanne 2020-2050. Voor neerslag en evaporatie werd gebruik gemaakt van de tijdreeksen die door het KMI als laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario werden bepaald op basis van de PRUDENCE regionale klimaatmodellen voor West Europa. Voor temperatuur konden de tijdreeksen horende bij de weerhouden regionale modellen echter niet ter beschikking worden gesteld en werd een methode ontwikkeld van verfijnde empirische trendanalyse. In deze studie werden de randvoorwaarden gesteld door de drie

weehouden regionale klimaatveranderingsscenario's van het prudence project (op Europese schaal) én werden de gemiddelde temperatuurstijgingen in winter en zomer getoetst aan de klimaatveranderingsscenario's opgesteld door het KNMI voor Nederland. Deze randvoorwaarden en temperatuurstijgingen werden toegepast op de historische tijdreeks te Ukkel om toekomstige temperatuurtijdreeksen te schatten die horen bij de respectievelijke laag, midden en hoog scenario's.

De historische tijdreeks of referentie zijn beschikbare Ukkel-waarnemingen voor neerlag en evaporatie voor de periode 1959-2001. Op basis van een klimatologische analyse van waarnemingen voor de kust en de Kempen (regio Mol), concludeerde het KMI dat er geen grote klimatologische verschillen zijn tussen de twee regio's. Aangezien de historische ruimtelijke variatie niet erg groot is, kan men uitgaan van het feit dat in de toekomst de klimaatverschillen tussen verschillende Vlaamse regio's niet groot zullen zijn. Meer details over de klimaatveranderingsscenario's en de gebruikte klimatologische tijdreeksen in deze studie worden gegeven in sectie 2.2.3.1 (klimatologische variabelen: invoerparameters voor waterbalanssimulaties) en sectie 4.3.3.1 (invoervariabelen).

4 IMPACTEN VAN KLIMAATVERANDERING OP MICRONIVEAU

4.1 Inleiding

De sector 'Landbouw' kan op verschillende wijzen omschreven worden. Eén mogelijkheid is landbouw te benoemen als het geheel van activiteiten die gebruik maken van plaats-specifieke stukken land (met inbegrip van bodem, klimaat en externe inputs van o.a. water en energie) en genetisch plantmateriaal, om planten te produceren voor direct gebruik of voor conversie in andere types van voor de mens nuttige producten, waarbij dieren en/of microflora kunnen ingeschakeld worden (Gellynk et al., 2007). In deze studie worden de plantaardige productie en de dierlijke productie (veehouderij) als 'landbouw' beschouwd. De verdere verwerking van de plantaardige of dierlijke productie via microbiële- e.a. processen op ambachtelijke of industriële schaal, wordt echter niet als 'landbouw' beschouwd.

In dit hoofdstuk wordt de landbouw beschouwd op micro-niveau. Het gaat om aparte plantaardige en dierlijke productieactiviteiten die uitgevoerd worden door 'courante' landbouwbedrijven met percelen, stallen en ondersteunende infrastructuur. In hoofdstuk 6 zullen de bevindingen voor deze micro-activiteiten geaggregeerd worden tot subsectoren, i.e. tot het geheel van een gegeven activiteit die door alle actoren (bedrijven) in Vlaanderen wordt beoefend (Gellynk et al., 2007). De indeling die gevolgd wordt in de landbouwstatistieken maakt een onderscheid tussen de volgende vier subsectoren en daaronder in totaal 16 activiteiten: akkerbouw (granen, suikerbieten, aardappelen, energiegewassen, andere akkerbouwteelten), tuinbouw (groenten in open lucht, groenten onder glas, fruitteelt, niet-eetbare tuinbouwproducten vnl. sierteelt), graasdieren (runderen melk, runderen vlees, andere dieren, voedergewassen en grasland) en niet-graasdieren (varkens, leghennen, braadkippen, kalveren).

Klimaat speelt een fundamentele rol in de landbouw vanwege de directe invloed op productie en andere diensten. 'Klimaatverandering' wordt gekwantificeerd door meerjarige tijdreeksen van geschatte dagwaarden voor klimatologische variabelen zoals neerslag, evapotranspiratie en temperatuur. De tijdreeksen van klimaatvariabelen worden afgeleid van regionale klimaatmodellen waarvoor de randvoorwaarden gezet worden door mondiale klimaatmodellen. Vanwege de onzekerheid tussen de verschillende klimaatmodellen werden drie tijdreeksen van klimaatvariabelen gekozen: een hoge, midden en lage tijdreeks.

Aangezien de verandering van het klimaat gedreven wordt door de socio-economische activiteit op wereldschaal (emissie van broeikasgassen en landgebruiksveranderingen) en zelf aanleiding geeft tot veranderingen van de socio-economische organisatie (bv. landgebruik), kan - ook op micro-niveau - geen abstractie gemaakt worden van de socio-economische dynamiek. Het landbouwbedrijf produceert kwantiteit en kwaliteit van biomassa en afgeleide producten en doet hiervoor beroep op productiefactoren (o.a. agro-biodiversiteit, bodem, water, energie) die zelf beïnvloed worden door het (veranderend) klimaat. Er zijn tevens mede door het klimaat gestuurde nevenproducten en neveneffecten. Deze zijn gekoppeld aan de plaats van de activiteit (on-site; bv. vastlegging in of emissie van CO₂ uit de landbouwbodem) maar kunnen ook effecten teweegbrengen op andere plaatsen (off-site; bv. export van nutriënten naar lager gelegen delen van het landschap en naar waterlopen en waterlagen).

Gezien deze veelheid aan rollen die de landbouw speelt, wordt voor de systematische bespreking van de impact - op micro-niveau - van de verwachte klimaatveranderingen (in zowel directe (gewijzigde klimaatvariabelen) als indirecte termen (gewijzigde socio-economische context), gewerkt met de indeling volgens de rapporten van het Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) en aangepast volgens type dienst die aan de landbouw kan toegeschreven worden: (i) productieve diensten, (ii) ondersteunende diensten, (iii) regulerende diensten en (iv) culturele diensten. In sectie 4.4 worden deze diensten opgesomd en een indicatieve oplijsting gegeven van de mogelijke impacten. De plantaardige en dierlijke productiediensten worden verder besproken in sectie 4.2 respectievelijk sectie 4.3. In sectie 4.4 worden de niet-productieve diensten overlopen en geplaatst in de vier

emissiescenario's. Het gaat zowel om ondersteunende diensten die relatief los staan van de plantaardige of dierlijke productie als om de regulerende en culturele diensten. De ondersteunende, regulerende en culturele diensten hebben betrekking tot de 'ruimere omgeving' waarin landbouwbedrijven actief zijn, waardoor ze beïnvloed worden en dewelke ze actief beïnvloeden.

Tabel 2 Overzicht van diensten

Diensten	Behandeld in deel
<i>Productieve diensten:</i>	
<i>Plantaardige productie vollegrond</i>	4.2
<i>Plantaardige productie onder glas</i>	Niet behandeld
<i>Dierlijke productie o.b.v. graassystemen (grondgebonden)</i>	4.3
<i>Dierlijke productie (grondloos)</i>	Niet behandeld
<i>Biomassaproductie (biobrandstof)</i>	4.2
<i>Wind harvesting (windmolens op landbouwgrond)</i>	4.4
<i>Water harvesting (in grond- en oppervlaktewater, eventueel reservoirs)</i>	4.4
<i>Ondersteunende diensten:</i>	
<i>Biodiversiteit in agrarische context (binnen en buiten percelen/kassen in akkerbouw, tuinbouw, grasland)</i>	4.4
<i>Bodemkwaliteit</i>	4.4
<i>Fysische (erosie, verdichting)</i>	
<i>Chemische (bufferend, fertiliteit)</i>	
<i>Waterkwaliteit en –kwantiteit</i>	4.4
<i>Regulerende diensten:</i>	
<i>Klimaat (C-vastlegging)</i>	4.4
<i>Hydrologie (bufferen van afvoer en erosie)</i>	4.4
<i>Nutrientencyclus</i>	4.4
<i>Culturele diensten:</i>	
<i>Agro-toerisme & recreatie</i>	4.4
<i>Landschappelijke kwaliteit</i>	4.4

4.2 Plantaardige productie

4.2.1 Verandering in omgevingsvariabelen

Klimatologische variabelen vormen één van de voornaamste verklaringen in variabiliteit van zowel kwaliteit als kwantiteit van plantaardige productie. Fysiologische processen zoals respiratie, fotosynthese en transpiratie worden beïnvloed door weerspatronen en door de combinatie van klimatologische variabelen op verschillende tijdschalen gaande van dagelijks tot maandelijks, seizoenaal en jaarlijks.

Fenologie is de studie van jaarlijks terugkerende natuurverschijnselen. Voorbeelden uit de plantproductie zijn tijdstip van bloei, vegetatieve groei, vruchtvorming en bladval. De belangrijkste reden voor veranderende tijdstippen in fenologische kalenders is een verandering in de temperatuur zoals bevestigd door Menzel et al. (2006) op basis van fenologische frekwentieanalyses van 542 plantensoorten in 21 Europese landen tijdens de periode 1971 tot 2000. Tijdens het laatste decennium steeg de temperatuur met 1°C. Lente- en zomerfasen vervroegden tijdens dit decennium met 2,5 dagen en herfstfasen (senescentie) zoals verkleuring en bladval werden verlaat met 1 dag. Op de bijhorende landbouwpraktijken werden er vooralsnog geen veranderingen waargenomen door Menzel et al. (2006).

Waarnemingen in het KNMI-park te Nederland tonen aan dat vergeleken met de periode 1975-1988 de herfst 1 week later begint en de lente met 2 weken vervroegd is ten opzichte van 40 jaar geleden (Zwart, 2006).

Tabel 3 Vervroeging van de lente in Nederland aan de hand van bladontplooiing of bloei bij geselecteerde bomen, struiken en heesters in het KNMI-park (Zwart, 2006)

	Gemiddelde datum 1975-1988	Gemiddelde datum 1988-2002	Verschil in dagen
<i>Fagus sylvatica</i> (Beuk)	01-Mei	22-Apr	9 dagen
<i>Quercus</i> (Eik)	03-Mei	24-Apr	9 dagen
<i>Castanea</i> (Kastanje) (vroegste)	07-Apr	19-Mar	19 dagen
<i>Castanea</i> (Kastanje) (begin bloei)	04-Mei	15-Apr	19 dagen
<i>Malus</i> (Appel)	07-Mei	23-Apr	14 dagen
<i>Pyrus</i> (Peer)	22-Apr	11-Apr	11 dagen
<i>Prunus serrulata</i> (Japanse Sierkers)	25-Apr	17-Apr	8 dagen
<i>Magnolia</i> (Beverboom of "Valse Tulpenboom")	18-Apr	03-Apr	15 dagen
<i>Hamamelis</i> (Toverhazelaar)	14-Jan	04-Jan	10 dagen
<i>Forsythia</i> (Chinees klokje)	25-Mar	05-Mar	20 dagen
<i>Cornus mas</i> (Gele Kornoelje)	01-Mar	10-Feb	19 dagen
<i>Corylus avellane</i> (Hazelaar) (begin stuiven)	07-Feb	19-Jan	19 dagen
<i>Alnus glutinosa</i> (Zwarte Els) (begin stuiven)	02-Mar	13-Feb	17 dagen
<i>Crocus</i> (Krokus)	07-Mar	19-Feb	14 dagen
<i>Narcissus pseudonarcissus</i> (Trompetnarcis)	30-Mar	11-Mar	19 dagen
<i>Ranunculus ficaria</i> (Speenkruid)	29-Mar	02-Mar	27 dagen
<i>Anthriscus sylvestris</i> (Fluitenkruid)	25-Apr	08-Apr	17 dagen

<i>Tussilago farfara</i> (Klein Hoefblad)	24-Mar	26-Feb	26 dagen
<i>Taraxacum officinale</i> (Paardebloem)	15-Apr	13-Mar	33 dagen

Temperatuurstijgingen vanaf 2°C leiden met het actuele grondgebruik meestal tot een daling van de mogelijke opbrengst terwijl verhoogde CO₂-concentraties een positieve invloed hebben op de mogelijke opbrengst. De mate waarin deze beide effecten elkaar opheffen, varieert naargelang van de gewassen. Boven bepaalde fysiologische drempels bereikt het bemestende effect van de CO₂ zijn plafond en verminderen de opbrengsten, omdat de temperatuur extreem hoog is voor de nu verbouwde teelten of omdat er een gebrek aan water is. Voor de meeste bij ons verbouwde teelten zoals tarwe, mais, etc. ligt het temperatuuroptimum boven wat we in België hebben zodat het belang van het watertekort relatief toeneemt. Het watertekort zal beschreven en begroot worden voor een aantal courante gewassen (zie secties 4.2.2.1 en 4.2.3)

De hoeveelheid, de intensiteit en de periode waarin de neerslag valt zijn belangrijke factoren voor plantproductie. Voor Vlaanderen toont trendanalyse een toename van de neerslag van 6.6% op jaarbasis gedurende de 20e eeuw, waarbij de winterneerslag met 25% gestegen is (zie hoofdstuk 3). Een toename van de neerslag in de winterperiode en in het voor- en najaar bemoeilijkt grondbewerkingen en doet het risico op bodemerosie toenemen. Een hogere regenvalintensiteit reduceert infiltratie van de neerslag en vermindert het beschikbare bodemwater voor planten. Perioden met meer frequente neerslag resulteren in vochtigere omstandigheden waardoor onder meer de spreiding van ziekten wordt bevorderd. Voor Vlaanderen wordt verwacht dat de neerslag met 6 tot 20% zal afnemen tijdens de zomer. Een toename in droogteperioden tijdens de zomer, een trend die de laatste decennia reeds wordt waargenomen, resulteert in een grotere irrigatiebehoefte.

De klimaatverandering geeft aanleiding tot een grotere variabiliteit zodat extremere weersomstandigheden voorkomen waarbij risicodrempels kunnen overschreden worden in een soms zeer korte periode. Voorbeelden daarvan zijn hittegolven (met onder andere de zomers van 1976, 2003 en 2006), droogteperioden (april 2007), zware regenval (zoals de stormen waargenomen op 12-15 september 1998, 7 december 1993 tot 6 januari 1994), overstroming en windstormen (met grote schade in de bosbouw in 1987, 1990 en 2000) (Feyen, W., 2002). Hittegolven en de daarmee gepaard gaande droogteperioden hebben tijdens het laatste decennium ook in Vlaanderen oogstverliezen tot gevolg gehad.

4.2.2 Verwachte impact op gewasproductie

4.2.2.1 Waterbalans

Voor Vlaanderen wordt naast een toename van de temperatuur een toename van de winterneerslag en een geringe afname van de zomerneerslag verwacht (Christensen et al., 2007). Deze verschuiving van het neerslagpatroon en de mogelijke toename van neerslagextremen zou leiden tot verhoogde overstromingsrisico's in de winter, en een verhoogde kans op droogte (waterstress voor de gewassen) in de zomer. In Vlaanderen bedraagt het neerslagoverschot (= neerslag - evapotranspiratie) ongeveer 300 mm per jaar, maar is het neerslagoverschot sterk seizoensgebonden met een overschot in de periode oktober-maart, en een neerslagtekort van begin mei tot eind augustus. Dit tekort kan in de meeste jaren opgevangen worden door de bodemvochtreserve in de wortelzone. Doordat de verwachte neerslagtoename zich in de winter situeert, en de verdampingsvraag vooral in de groeiperiode (april - september) zou toenemen, verwacht men een hogere kans op droogte in de zomer. Dit wordt verder in de hand gewerkt door de verwachte toename in de temporele variabiliteit van de neerslagverdeling (meer droge en natte extremen). Uiteraard zal de mate waarin dit effectief tot opbrengstverliezen leidt, afhangen van het waterbergend vermogen van de bodem, met gevoelige verschillen naargelang de bodemtextuur (zand, klei, leem in toenemende volgorde van plantbeschikbare waterberging) en het organische stofgehalte, bodemstructuur en worteldiepte van de gewassen.

De toename van het voorkomen van droogte in de zomerperiode kan daardoor mogelijk de productietoename door het CO₂-bemestingseffect (zie verder) teniet doen, en zelf leiden tot gemiddelde opbrengstverliezen in Vlaanderen. Dergelijke verliezen door waterstress in regengevoede landbouw is voorspeld voor de teelt van suikerbieten voor België en Noord Frankrijk (Jones et al. 2003: gemiddelde afname met 0.5 à 1 ton suiker per ha). Deze studie voorspelt ook dat door het toegenomen risico op droogte de opbrengsten gevoelig meer gaan schommelen van jaar tot jaar, wat

niet onbelangrijk is voor de suikerindustrie. Andere studies voorspellen dan weer opbrengststijgingen, en geven aan dat het CO₂-bemestingseffect het negatieve effect van toegenomen droogte ruimschoots compenseert. Zo voorspelt de Europese studie van Olesen et al. (2007) een gemiddelde opbrengsttoename voor wintertarwe in Vlaanderen, een gewas waarvoor door de zaai vóór de winter de risicoperiode voor droogtestress in de zomer grotendeels ontweken wordt.

Hoewel deze studies rekening hielden met het effect van klimaatwijzigingen op de waterbeschikbaarheid en opbrengstreducties door droogte, rapporteren ze geen cijfers op te verwachten effecten op de componenten van de waterbalans (bodem- en gewasverdamping, diepe drainage, oppervlakkige afstroming...). Dergelijke gegevens zijn dan wel beschikbaar van hydrologische studies, maar hier zijn de resultaten geaggregeerd per rivierbekken of regio, en niet specifiek voor een bepaald gewas. Voor de noordelijke helft van Europa (> 47°N) wordt verwacht dat rond 2020 het neerslagoverschot (= neerslag - evapotranspiratie) met ongeveer 15% toegenomen zal zijn (Alcamo et al., 2007), maar de grootte van die toename hangt sterk af van welk klimaatmodel (GCM) gebruikt werd.

Het effect van klimaatveranderingen op de waterbalans en waterbeschikbaarheid kan niet los gezien worden van het effect van de verhoogde CO₂-concentratie op fotosynthese (CO₂-bemestingseffect) en gewasverdamping (verhoogde watergebruiksefficiëntie). Fotosynthese en gewasverdamping zijn nauw gekoppeld via het openen en sluiten van de huidmondjes (het CO₂-bemestingseffect is in feite niets anders dan een verhoogde transpiratie-efficiëntie door het feit dat de huidmondjes zich minder moeten openen om eenzelfde hoeveelheid CO₂ binnen te krijgen), en het gezamenlijk resultaat van deze twee effecten op de gewasverdamping hangt bovendien af van de waterbeschikbaarheid voor de plant. Deze twee effecten op gewasverdamping worden doorgaans niet beschouwd als men het effect van klimaatveranderingen op de waterbalans berekent, dit met het argument dat ze verwaarloosbaar zouden zijn in vergelijking met de onzekerheid op de voorspelde neerslag, terwijl ze nochtans een aanzienlijk effect op de waterbalans hebben (Betts et al., 2007).

Voor gewassen met een C₄-fotosynthesecyclus (met maïs als de enige voor onze landbouw belangrijke vertegenwoordiger) is het CO₂-bemestingseffect relatief klein omdat C₄-gewassen een mechanisme hebben om CO₂ te concentreren in de cellen waar de CO₂ geassimileerd wordt. Onder omstandigheden waar water en nutriënten niet beperkend zijn heeft men in veldexperimenten met kunstmatige CO₂-bemesting bijvoorbeeld vastgesteld dat bij een verhoging van de CO₂-concentratie met 200 ppm de biomassaproductie van het C₄-gewas sorghum met slechts 4% toenam (Triggs et al., 2004; Ottman et al., 2001). De grassen van de gematigde streken en alle voor ons belangrijke gewassen op maïs na hebben een C₃-fotosynthesecyclus. Voor deze gewassen is het CO₂-bemestingseffect wel aanzienlijk, maar verschilt de grootte van het effect van gewas tot gewas (Kimball et al., 2002). Voor tarwe werden bijvoorbeeld verhogingen van de biomassaproductie met ongeveer 20% geobserveerd (bij verhoging van 350 naar 550 ppm CO₂; Tubiello et al., 2007), terwijl voor sommige gewassen verhogingen tot 40% (voor katoen; Mauney et al., 1994) werden vastgesteld. Voor bosbouwgewassen heeft men vastgesteld dat het CO₂-bemestingseffect in potproeven steeds groter is dan in praktijk op volwassen bomen. Er blijkt een soort gewinningseffect op te treden waarbij de verhoogde CO₂-efficiëntie onder hogere CO₂ terug afneemt.

Gewasverdamping hangt sterk samen met de regeling van de huidmondjes (stomata). Planten passen de opening van de huidmondjes zodanig aan dat de verhouding tussen de interne CO₂-concentratie (c_i = concentratie in de intercellulaire ruimtes van het blad) en de externe CO₂-concentratie (c_a) constant blijft op een verhouding c_i/c_a van 0.4 voor C₄-gewassen en 0.7 voor C₃-gewassen (Wong et al., 1979). Naarmate de fotosynthesesnelheid en dus de vraag naar CO₂ toeneemt, gaan huidmondjes meer open, maar neemt ook het verdampingsverlies toe. De constante c_i/c_a verhouding impliceert dat het concentratieverschil over de stomatale opening ($c_a - c_i$), de drijvende kracht achter de CO₂-diffusie doorheen de stomatale opening, toeneemt bij een hogere omgevingsconcentratie (c_a). Bij een verhoogde CO₂-concentratie kan daarom de voor fotosynthese nodige hoeveelheid CO₂ opgenomen worden met minder wijd geopende huidmondjes, wat aan de basis ligt van het feit dat de gewassen het water dan efficiënter gebruiken: per hoeveelheid CO₂ die ze opnemen, verliezen ze minder water. De watergebruiksefficiëntie – de verhouding tussen de biomassaproductie en evapotranspiratie – neemt toe als de CO₂-concentratie van de atmosfeer toeneemt. Deze toename is aanzienlijk: op het bladniveau vertaalt een bepaalde procentuele toename in de CO₂-concentratie van de lucht zich in een even grote procentuele toename van de watergebruiksefficiëntie. Dat betekent bijvoorbeeld dat bij een stijging van de CO₂-concentratie van 350 naar 550 ppm (voor de CO₂-concentraties die door de verschillende klimaatscenario's worden voorspeld, zie Tabel 1), de watergebruiksefficiëntie op bladniveau met 58% toeneemt, en dit geldt zowel onder voorwaarden van watertekort als goede watervoorziening. Op gewasniveau (veldniveau) is de geobserveerde toename in

watergebruiksefficiëntie echter zelden meer dan 75% van wat op blad of plantniveau geobserveerd wordt door een aantal negatieve terugkoppelingen (Polley, 2002).

Het uiteindelijke effect van de toename van de CO₂-concentratie van de atmosfeer op de gewasverdamping wordt door twee tegengestelde effecten bepaald. Enerzijds verhoogt het CO₂-bemestingseffect de CO₂-assimilatie van het gewas en dus ook de daarmee gepaard gaande verdampingsverliezen (huidmondjes moeten meer open om meer CO₂ op te nemen). Anderzijds maakt de verhoogde CO₂-concentratie op zich dat er per eenheid opgenomen CO₂ minder water verdampt. Voor gewassen met een sterk CO₂-bemestingseffect op de biomassa-productie heeft men daarom vastgesteld dat de twee effecten elkaar opheffen waardoor gewasverdamping nauwelijks verandert als de atmosfeer met CO₂ wordt verrijkt (Triggs et al., 2004). Voor een gewas met een klein CO₂-bemestingseffect (sorghum, maïs) is het effect op biomassa-productie klein (grootteorde 4%), maar neemt de evapotranspiratie aanzienlijk af. Zo werd voor het C₄-gewas sorghum een afname vastgesteld van -19% bij een verhoging van de CO₂-concentratie van 370 naar 570 ppm (Triggs et al., 2004). Voor tarwe zijn de effecten intermediair: een zelfde CO₂-toename verhoogde de biomassa-productie met 20% en verlaagde de evapotranspiratie met 7% (Kimball et al., 1999). Deze cijfers gelden voor een gewas dat goed van water voorzien is. Bij watertekort kan het CO₂-bemestingseffect niet volledig spelen – omdat water de beperkende factor is – en zorgt de hogere watergebruiksefficiëntie ervoor dat met het beschikbare water meer productie gerealiseerd kan worden.

De effecten van de klimaatverandering op de waterbalans en oogstverliezen ten gevolge daarvan worden gesimuleerd aan de hand van een waterbalans en gewasgroei-model in sectie 4.2.3.

4.2.2.2 Biomassa-productie en oogst

Gewasopbrengsten worden rechtstreeks beïnvloed door veranderingen in klimaatfactoren zoals temperatuur en neerslag en de frequentie en intensiteit van extreme weersgebeurtenissen zoals droogtes, overstromingen en windstormen. Koolstofdioxide is bovendien fundamenteel voor plantproductie: toenemende concentraties kunnen de productiviteit van agro-ecosystemen verhogen. De effecten van toenemende CO₂-concentraties worden vaak bestudeerd in 'open-top-kamers': dit zijn structuren met transparante zijdelingse muren en een open bovenzijde waardoor CO₂-verrijkte lucht kan worden toegediend.

Het effect van klimaatverandering op gewasopbrengst varieert naargelang de aard van het gewas en de regio waar het gewas wordt verbouwd (Adams et al., 1998). In Noord-Europa (Scandinavië) zal de klimaatverandering doorgaans een positief effect hebben op de landbouw met o.a. een hogere gewasproductie. In zuidelijk Europa echter (Middellands Zeegebied en Zuidoost-Europa) zullen de nadelige effecten overheersen: de mogelijke toename in watertekort evenals het mogelijks frequenter plaatsgrijpen van extreme weersgebeurtenissen kunnen hier lagere oogstbare opbrengsten veroorzaken, alsook een grotere opbrengstvariabiliteit (Olesen en Bindi, 2002).

Hoewel een toename in de omgevingstemperatuur gewasopbrengst zowel positief als negatief kan beïnvloeden, leiden temperatuurstijgingen over het algemeen tot een vermindering van de opbrengst en kwaliteit van vele gewassen, in het bijzonder graangewassen. Hoge temperaturen leiden er tot een kortere korrelvullingsperiode, kleinere en lichtere graankorrels, met een lagere gewasopbrengst als gevolg en eventueel ook een lagere korrelkwaliteit (een lager eiwitgehalte) (Adams et al., 1998). In onderzoek waarbij de groei van een aantal gewassen werd gesimuleerd op 2 verschillende locaties in Italië (Modena en Foggia) om het gecombineerd effect van klimaatverandering en verhoogde atmosferische CO₂-concentratie (700 ppm) op gewasopbrengst te onderzoeken, werden opbrengstdervingen opgetekend voor o.a. tarwe en gerst. Voor tarwe bijvoorbeeld nam de opbrengst in Modena (gematigd, continentaal klimaat) af met 5 à 15%. In Foggia (Mediterraan klimaat met lage hoeveelheid zomereerslag), waar het tarwegewas vandaag reeds te lijden heeft onder aanzienlijke waterstress, bedroegen de opbrengstverliezen 30 à 50%. Deze afnamen in gewasopbrengst zouden voornamelijk veroorzaakt worden door een kortere groeiperiode als gevolg van de versnelde plantfenologie onder de hogere omgevingstemperaturen. De negatieve effecten op gewasopbrengst door de hogere temperaturen zouden groter zijn dan de positieve effecten door het verhoogd CO₂-gehalte (Tubiello et al., 2000). Het negatieve temperatuurseffect kan echter worden opgevangen door een variëteit te kiezen die aangepast is aan de hogere temperatuur, d.w.z. een variëteit die een grotere temperatuursom nodig heeft.

Het aardappelgewas wordt algemeen verondersteld sterk te reageren op toenames in de atmosferische CO₂-concentratie (Olesen en Bindi, 2002). Zo toonde Brits onderzoek in 'open-top-kamers' aan dat bij oogst zowel de bovengrondse als ondergrondse biomassa van aardappelen (*Solanum tuberosum* cv. Bintje) significant groter was onder een verhoogd CO₂-gehalte in vergelijking

met het controlegewas: het totale plantdrooggewicht nam toe met 32 en 37% voor respectievelijk een 550 pmm- en 680 pmm-CO₂-behandeling. Ook de knolopbrengst was significant groter onder een verhoogd CO₂-gehalte: het finale totale knoldrooggewicht was 36 en 40 % groter in vergelijking met de controle voor respectievelijk de 550 pmm- en 680 pmm-CO₂-behandeling. De toename in knolopbrengst was in dit onderzoek toe te schrijven aan een toename in gemiddeld knolgewicht, eerder dan aan een toename in het aantal knollen per eenheid grondoppervlak (Donnelly et al., 2001). Wat temperatuurseffecten op het aardappelgewas betreft, kan gesteld worden dat de klimaatopwarming het groeiseizoen van sommige aardappelspecies kan verkorten en de waterbehoeften kan doen toenemen met gevolgen voor de opbrengst. Studies aan de hand van gewasmodellen laten geen consequente veranderingen zien in de gemiddelde aardappelopbrengst, doch een bijna constante toename in opbrengstvariabiliteit wordt voorspeld voor heel Europa, wat het teeltrisico zal verhogen (Olesen en Bindi, 2002).

Wortelgewassen zoals de suikerbiet worden verwacht voordeel te kunnen halen uit zowel de toename in omgevingstemperatuur als de toename in de atmosferische CO₂-concentratie (Olesen en Bindi, 2002). Volgens onderzoek van Jones et al. (2003) zou er voor de periode 2021-2050 als gevolg van de toename van de atmosferische CO₂-concentratie tot 470 ppm CO₂ (en andere effecten zoals temperatuur en waterbeschikbaarheid buiten beschouwing gehouden) een toename zijn van de opbrengst van suikerbieten in Europa met 9%. Over dezelfde periode zou er opnieuw volgens Jones et al. in Noord-Europa een (additionele) opbrengsttoename zijn ten gevolge van de klimaatverandering (temperatuurseffect) van om en bij de 1 ton suiker per hectare, aangezien warmere temperaturen in de lente de groei versnellen met een vroegere sluiting van het gewas tot gevolg, waardoor meer zonnestraling kan onderschept worden. In Noord-Frankrijk, België en West- en Centraal-Polen daarentegen zal er een afname zijn qua suikeropbrengst volgens dezelfde orde van grootte en zullen de voordelen van een warmere lente en vroeger zomerweer meer dan teniet gedaan worden door het frequenter en intenser optreden van waterstress (droogtestress). Droogtestress-verliezen zullen bij benadering verdubbelen waar het probleem van droogtestress vandaag reeds bestaat en zullen een aanzienlijk nieuw probleem gaan vormen in Noordoost-Frankrijk en België. Naast wijzigingen in de gemiddelde opbrengst, zal er ook een toename zijn in de opbrengstvariabiliteit van jaar tot jaar, en dit in Noord-Frankrijk, Duitsland, België, Nederland en de biet-producerende regio's in Engeland (Jones et al., 2003).

Voor wat betreft grasland worden eveneens duidelijke effecten voorspeld op de biomassa-productie bij verhoogde temperatuur en/of CO₂-concentratie. Zo neemt volgens een studie uit het Verenigd Koninkrijk de drogestof-opbrengst van regelmatig gemaaid grasland toe met 30, 46 en 56% voor respectievelijk een toename in de omgevingstemperaturen, een toename in de atmosferische CO₂-concentraties en een combinatie van verhoogde temperaturen en CO₂-concentraties in vergelijking met de huidige temperaturen en CO₂-concentraties (Hopkins en Del Prado, 2007).

4.2.2.3 Fruitteelt

De fruitteelt is een economisch belangrijke sector voor Vlaanderen en de toekomstmogelijkheden zijn zeer gunstig. Op de aardbeiteelt na gaat het om een meerjarige teelt waarop structurele klimaatveranderingen een sterkere impact kunnen hebben dan het geval is bij éénjarige teelten. Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van mogelijke effecten van een klimaatverandering in de fruitteelt. Deze synthese is niet gebaseerd op een literatuurstudie (want er is niet zo veel specifieke literatuur over dit onderwerp in de fruitteelt ter beschikking), maar steunt op inzichten en ervaring van onderzoekers in de fruitteelt aan K.U.Leuven en het Proefcentrum voor Fruitteelt (PCF).

De voorspelling gaat uit van de mogelijke klimaatveranderingen zoals die hierboven bij de scenario's werden beschreven. In het kader van deze studieopdracht was het niet mogelijk deze voorspellingen kwantitatief te beschrijven. Het onderstaande overzicht heeft ook niet de bedoeling volledig te zijn.

TEMPERATUUREFFECTEN

De zachtere winters zullen aanleiding geven tot een vroegere bloei² (*), wat het risico op vorstschade tijdens de bloeiperiode vergroot. Zachtere winters zullen ook minder knoppen doen afsterven die aangetast zijn door de schimmel *Podospheera leucotricha* (witziekte). Zachtere winters betekenen

² De optimale temperatuur voor het doorbreken van endodormantie bij appel bedraagt ongeveer 7°C. Na endodormantie reageren bloemknoppen op warmte om tot bloei te komen en dit vrij lineair vanaf 5°C tot 25°C. Dit impliceert bij warmere winters een vroegere bloei in meer wisselvallige weersomstandigheden (vorstgevaar, neerslag).

meer overleving van bepaalde parasieten, zoals bladluizen, en dus een groter probleem van bestrijding.

Hogere temperaturen impliceren meer cycli van plagen, zoals bladluizen, spint en fruitmot en ook meer problemen met ziektes zoals *Stemphylium* bij peer en *Colleotrichum* bij aardbei. Men verwacht dat ook nieuwe ziektes zullen ontwikkelen (vb *Sphaeropsis malorum* bij appel).

Hogere jaartemperaturen kunnen het groeiseizoen verlengen, wat positief kan zijn omdat bepaalde cultivars, zoals Braeburn bij appel, dan in Vlaanderen kunnen geteeld worden. Nu is het groeiseizoen hiervoor te kort. Een langer groeiseizoen betekent ook dat de scheutgroei langer kan doorgaan, dat er dus meer groei is en mogelijk ook meer 'hergroei', zodat bomen groter worden, minder vruchtbaar en meer gevoelig voor vorst, allemaal negatieve evoluties. Groei kan ook gestimuleerd worden via langere mineralisatie van stikstof.

EFFECTEN VAN NEERSLAG

Bij winters (en lentes) met veel neerslag zal de bodem sneller en langer verzadigd zijn met water, waardoor wortelsterfte of slechte wortelgroei (zuurstofgebrek) in de lente kan optreden. Hierdoor worden de bomen meer gevoelig voor bepaalde parasieten (vb *Stemphylium*). Meer neerslag zal samengaan met meer vruchtrotschimmels (vb *Botrytis* bij aardbei).

Minder neerslag in de zomerperiode zal meer droogtestress veroorzaken, waardoor de hoeveelheid en de kwaliteit van de oogst negatief beïnvloed wordt. Er is dan meer behoefte aan irrigatie, maar in vele boomgaarden is geen water ter beschikking.

Hevige regenbuien zullen bij zachtfruit (vb aardbei) specifieke schade veroorzaken op de vruchten, waardoor de infectiekansen van schimmels vergroten. Ook het optreden van *Phytophthora* bij hardfruit neemt toe omwille van overdracht vanuit de bodem door opspattende bodemdeeltjes.

NEERSLAG EN TEMPERATUUR

Vele schimmelziekten en bacterieziekten hebben hogere infectiekansen bij hogere temperaturen vooral in combinatie met hoge vochtigheid: *Erwinia amylovora* (pervuur), *Venturia* ssp (appel- en perenschurft), *Stemphylium* (vlekkenziekte) e.a. Er bestaan infectiemodellen om deze verhoogde risico's te beschrijven. De hier opgesomde ziektes zijn zeer bedreigend voor de fruitteelt.

Fruittgewassen zijn afhankelijk van insectenbestuiving om een voldoende en vooral een regelmatige productie te geven. Honingbijen zijn hiervoor de belangrijkste insecten. Hun bestuivingsgedrag (foeragegedrag) is uitermate afhankelijk van weersomstandigheden. Bij een vroegere bloei (zie hoger) kunnen we meer periodes met lagere temperaturen verwachten, wat de bestuivingskans door bijen drastisch zal doen afnemen. Ook zullen de bijen minder lange afstanden afleggen, waardoor de kruisbestuiving vermindert. Bovendien is de kans reëel dat er tijdens de bloei meer regen zal vallen (of een hoge luchtvochtigheid zal heersen). Hierdoor zal stuifmeel 'wegregenen' en zal de kiemkracht van het stuifmeel dalen, zodat de bevruchtingskansen verminderen.

UV EN CO₂

Meer UV-instraling als gevolg van de afname van stratosferische ozon veroorzaakt (oxidatieve) stress, die als mogelijk positief effect een betere kleuring kan impliceren (anthocyaanvorming), maar daar staat tegenover dat de gevoeligheid voor bacterieziekten duidelijk toeneemt (en mogelijk ook voor bepaalde schimmelziekten).

CO₂-stijgingen zullen waarschijnlijk een marginaal effect hebben. Er zijn voorlopig geen duidelijke aanwijzingen dat groei of productiviteit zouden beïnvloed kunnen worden.

Samengevat kan gesteld worden dat het niet uitgesloten is dat de verwachte klimaatverandering een zeer substantieel effect kan hebben op de fruitteelt. Het globaal effect is allicht eerder negatief: meer ziekten en plagen, meer productieonzekerheid en kwaliteitsverlies worden wellicht niet gecompenseerd door de positieve effecten van meer kleur of een langere groeiperiode voor laatrijpende cultivars. Het is mogelijk dat door watertekort in de zomerperiode en de vroege herfst het gehalte aan anti-oxidanten in vruchten zal stijgen, wat de voedingskwaliteit ervan ten goede zal komen. In geval van vorstschade aan de bloemen zullen er dikkere vruchten geoogst worden, waarvan bekend is dat zij een ongunstige K/Ca-balans hebben, wat ze gevoeliger maakt voor fysiogene afwijkingen.

4.2.2.4 Plantenziekten en plagen

TEMPERATUUR & PLANTENZIEKTEN

Temperatuur heeft een effect op het optreden van plantenziekten via de gastheerplant enerzijds en via de ziekteverwekker anderzijds (Petzoldt en Seaman, 2006).

Een toename in de omgevingstemperatuur (ten gevolge van de klimaatverandering) heeft implicaties voor de ziekteresistentie van een gewas. Onderzoek heeft aangetoond dat bepaalde havercultivars hun resistentie tegen stengelroest verliezen door een inactivering van temperatuursgevoelige genen, wanneer de omgevingstemperatuur boven de 20 °C klimt (Martens et al., 1967). In bepaalde voedergewassen daarentegen neemt de resistentie tegen schimmelziekten juist toe, door een verhoogde lignificatie van celwanden bij hogere temperatuur (Wilson et al., 1991). Het effect van hogere temperatuur op ziekteresistentie is daarom afhankelijk van de aard van de gastheer-ziekteverwekker-interacties én van het resistentiemechanisme (Coakley et al., 1999).

Algemeen gesproken gedijen ziekteverwekkende schimmels het best bij gematigde temperaturen. Onder een warmer klimaat zullen de gematigde klimaatzones langere periodes kennen met geschikte temperaturen voor schimmelgroei en -reproductie. Voor *Phytophthora infestans* bijvoorbeeld, de veroorzaker van de aardappelplaag, verlopen infectie en reproductie het meest succesvol in natte periodes bij temperaturen begrepen tussen 7,2 en 26,8 °C (Wallin en Waggoner, 1950, geciteerd door Petzoldt en Seaman, 2006). Naarmate het klimaat verder opwarmt, zullen deze temperaturen vroeger op het seizoen worden bereikt, waardoor het aardappelgewas langer blootstaat aan ziektebedreiging. Dit kan leiden tot een ernstiger epidemieverloop evenals tot een toename in het aantal fungicidetoepassingen (Petzoldt en Seaman, 2006). Volgens Fins onderzoek (Kaukoranta, 1996) zou de aardappelplaag gemiddeld 4 tot 7 dagen eerder uitbreken voor elke graad Celsius opwarming, waardoor de periode gedurende dewelke het gewas vatbaar is met 10 tot 20 dagen toeneemt. Per graad Celsius opwarming verlengt daardoor ook de periode waarin fungicidebehandelingen worden uitgevoerd met 10 tot 20 dagen.

Onder een warmer klimaat zullen meer pathogenen de winter overleven, wat leidt tot een toename van de hoeveelheid initieel inoculum. Voor veel pathogenen zal er een uitbreiding zijn van het verspreidingsgebied richting beide polen, aangezien veel van hun gastheergewassen eenzelfde expansie zullen ondergaan (Coakley et al., 1999).

CO₂ & PLANTENZIEKTEN

Verhoogde CO₂-concentraties in de atmosfeer beïnvloeden een ziektebeeld voornamelijk via het gewas en in mindere mate via de ziekteverwekker.

Toenames in bladoppervlak, blad dikte, het aantal vertakkingen en uitlopers, stengel- en wortellengte, en drooggewicht zijn welbekende effecten van een verhoogd CO₂-gehalte op planten. Een toename in CO₂ leidt bijgevolg tot een volumineuzer en denser gewas. Een gewijzigde fysiologie en morfologie van het gewas beïnvloeden de interceptie van licht en neerslag zodat het microklimaat en bijgevolg ook de ziekte-epidemiologie veranderen. Zo zouden tal van bladziekten (o.a. roestziekten, bladvlekkenziekten en brandziekten) makkelijker kunnen optreden, aangezien het gewas meer vocht kan vasthouden. Omwille van hun gewijzigde gewasstructuur zouden planten, opgekweekt bij hogere CO₂-concentraties, bovendien meer schimmelsporen kunnen 'vangen' in vergelijking met planten opgegroeid onder een normaal CO₂-regime, hetgeen eveneens de ziekte-ontwikkeling bevordert (Coakley et al., 1999; Chakraborty et al., 2000a). Onder een verhoogd CO₂-gehalte verloopt de afbraak van plantenmateriaal merkbaar trager. Door de tragere afbraak in combinatie met een toename in plantenbiomassa en hogere temperaturen gedurende de wintermaanden zouden meer pathogenen de winter overleven op de gewasresten, die in grotere mate aanwezig zijn. Hierdoor zou de hoeveelheid initieel inoculum aan het begin van het nieuwe groeiseizoen kunnen toenemen, met kans op een eerdere en snellere ziekte-uitbraak (Coakley et al., 1999; Petzoldt en Seaman, 2006).

Een hogere CO₂-concentratie in de atmosfeer heeft ook effect op de gewasresistentie, dewelke toeneemt, als gevolg van een gewijzigde fysiologie. Zo zal er onder een hoger CO₂-regime een afname zijn van de stomatale dichtheid (aantal stomata per bladoppervlakte-eenheid), evenals een afname in de stomatale conductiviteit (de huidmondjes zijn meer gesloten), hetgeen het gewas resistenter maakt tegen pathogenen die hun gastheer binnendringen via de stomata. Een verhoogde CO₂-concentratie heeft ook een belangrijke invloed op de C/N- verhouding die in de regel stijgt waardoor er een hogere stikstofefficiëntie ontstaat. Een verhoogde C/N- verhouding leidt tot sterkere planten, die echter minder gemakkelijk afbreken en minder aantrekkelijk zijn als voedsel door een verminderd proteïnegehalte. Verder zal CO₂-bemesting ook de root/shoot-ratio doen toenemen omdat

de sterkere groei door relatief meer water en nutriëntenopname moet gecompenseerd worden. Andere aanpassingen als gevolg van een verhoogd CO₂-gehalte met een positieve invloed op de resistentie van het gewas zijn onder meer: de vorming van papillen en de opeenhoping van silicium nabij die plaatsen waar de schimmel poogt te penetreren d.m.v. een appressorium; de grotere accumulatie van koolhydraten in de bladeren; meer waslagen, bijkomende lagen epidermale cellen en een toename in het gehalte aan vezels; de lagere nutriëntenconcentratie en het groter aantal mesophyllcellen (Chakraborty et al., 2000a).

Verhoogde CO₂-concentraties hebben ook een effect op de ziekteverwekker zelf. Zo heeft onderzoek aangetoond dat éénmaal binnengedrongen in de plant, schimmelkolonies van *Erysiphe graminis* en *Colletotrichum gloeosporioides* sneller groeien bij een CO₂-concentratie die twee maal groter is dan de atmosferische CO₂-concentratie in vergelijking met de groei onder atmosferische CO₂-concentratie (Hibberd et al., 1996; Chakraborty et al., 2000b). Ook werd aangetoond dat bij *Colletotrichum gloeosporioides* en *Maravalia cryptostegiae* de vorming van schimmelsporen aanzienlijk toeneemt onder een verhoging van de buitenlucht-CO₂-concentratie (Chakraborty et al., 2000b; Coakley et al., 1999).

NEERSLAG & PLANTENZIEKTEN

Een toename in neerslagfrequentie en neerslagintensiteit zou kunnen leiden tot meer en langere periodes met een gunstig milieu voor pathogeengroei. Veranderingen in neerslagpatronen hebben een uitgesproken effect op de ontwikkeling van vele plantenziekten, in het bijzonder op deze veroorzaakt door schimmels (Coakley et al., 1999; Petzoldt en Seaman, 2006). Een vochtig gewas bevordert de kieming van sporen en de snelle verspreiding van mycelium (Rosenzweig et al., 2001). Gedurende de zomermaanden zouden schimmels het echter moeilijker kunnen krijgen vanwege de grotere droogte (Coakley et al., 1999).

TEMPERATUUR & PLANTENPLAGEN

Insecten zijn bijzonder gevoelig aan temperatuur aangezien ze koudbloedige organismen zijn: hun lichaamstemperatuur is bij benadering gelijk aan de omgevingstemperatuur (Rosenzweig et al., 2001; Petzoldt en Seaman, 2006).

Een toename in de omgevingstemperatuur kan een invloed hebben op de overleving, de ontwikkeling, de populatiegrootte en de geografische verspreiding van een insectspecies (Petzoldt en Seaman, 2006). Wintermortaliteit als gevolg van lage temperaturen is een belangrijke factor in de dynamica van vele insectspecies uit de gematigde streken, in het bijzonder voor die species die niet in diapauze gaan, maar hun activiteit trachten verder te zetten gedurende de wintermaanden, indien de temperatuur het toelaat. Warmere winters, of een reductie in de frequentie van extreme koudeperiodes, kunnen bijgevolg de overlevingskansen van zulke species verbeteren (Harrington et al., 2001). De verwachting is dat vooral de koudegevoelige insecten meer problematisch zullen worden in de (nabije) toekomst zoals bijvoorbeeld bladluizen. Anderzijds zullen insecten die in hun levenscyclus een vernalisatieperiode behoeven het mogelijks moeilijker krijgen (persoonlijke communicatie met professor J. Coosemans). Bij een hogere omgevingstemperatuur zal de diapauze (rusttoestand om ongunstige levensomstandigheden te overleven; voornamelijk teweeggebracht door een verkorte fotoperiode) langer aanhouden, waardoor de effecten van een vroegere start van de levenscyclus geneutraliseerd worden (Bale et al., 2002). Hogere temperaturen kunnen immers de ontwikkeling van een insect vervroegen. Zo zou in het Verenigd Koninkrijk bij toename van de gemiddelde dagtemperaturen met 3 °C de koolwortelvlieg (*Delia radicum*) ongeveer 1 maand eerder actief zijn en zouden de eerste vlinders gemiddeld 2 à 3 weken vroeger verschijnen (Cannon, 1998). Naast een snellere ontwikkeling van een insect o.i.v. hogere temperatuur, neemt ook het aantal generaties per seizoen toe. Volgens Japans onderzoek (Yamamura en Kiritani, 1998) zou een temperatuursstijging van 2 °C op een locatie waar de gemiddelde jaartemperatuur 15 °C bedraagt, tot 1 à 5 additionele generaties op jaarbasis kunnen leiden bij de insecten die op die locatie aanwezig zijn. Bovendien zullen de meeste insectspecies uit de gematigde streken als gevolg van de opwarming hun verspreidingsgebied kunnen uitbreiden naar hogere breedtegraden (Bale et al., 2002). Aangezien ook een aantal gewassen hiertoe in staat zullen zijn, is het aannemelijk dat de insectplagen die op die gewassen gedijen, de gewasexpansie zullen volgen (Petzoldt en Seaman, 2006). Het is echter ook mogelijk dat insectspecies in het nieuw ingenomen gebied in contact komen met een nieuw potentieel gastheergewas (Harrington et al., 2001).

Temperatuur speelt een belangrijke rol in de fenologische synchroniteit tussen plant en insect. Een nauwe synchroniteit is dikwijls vereist voor bepaalde herbivore insecten om goed te kunnen overleven

op hun gastheergewas. Zo zijn de overlevingsmogelijkheden van vele insecten vaak afhankelijk van de synchroniteit tussen het moment waarop de bladeren ontluiken en het moment waarop de bladconsumerende stadia verschijnen. Door een toename in de gemiddelde omgevingstemperaturen zouden beide processen ontkoppeld kunnen worden, wat tot een afname in de plaagdruk kan leiden. Voor sommige insectspecies blijkt een nauwe synchroniteit echter minder essentieel (bv. *Operophtera brumata* op eik) en blijft de impact van de klimaatverandering onduidelijk (Cannon, 1998; Harrington et al., 2001; Bale et al., 2002). Een toename in temperatuur kan naast een afnemende synchroniteit tussen plant en insect eveneens leiden tot een afnemende synchroniteit tussen insect en natuurlijke vijand, vanwege een differentiële beïnvloeding van hun groei-, ontwikkelings- of reproductieprocessen. In dit geval zou de klimaatverandering gepaard kunnen gaan met een reductie van parasitisme en predatie. Toch zijn er ook voorbeelden waarbij warmere condities aanleiding geven tot een toename in de doeltreffendheid van de natuurlijke vijand en/of een toename in de vatbaarheid van het insect voor predatie (Cannon, 1998; Petzoldt en Seaman, 2006).

CO₂ & PLANTENPLAGEN

Een verhoogd CO₂-gehalte in de atmosfeer beïnvloedt het optreden van plantenplagen hoofdzakelijk via het gewas, hoewel er ook effecten zijn via de plaagverwekker.

Onder een hogere CO₂-concentratie in de buitenlucht zal door toename van de fotosynthese en afname van de fotorespiratie de C/N-ratio van een gewas toenemen. De stikstofconcentratie van het gewas neemt af, en daardoor ook de voedingswaarde van het gewas (lager proteïnegehalte!) voor herbivore insecten. Deze zullen onder een hoger CO₂-regime daarom meer bladmateriaal consumeren om in hun stikstofbehoefte te kunnen blijven voorzien. Voor sommige insectspecies compenseert de verhoogde opname aan bladmateriaal de reductie in stikstofconcentratie volledig en is er dus geen sprake van een reductie in groeisnelheid. Voor de meeste species is dit echter wél het geval, met een tragere larvale ontwikkeling als gevolg (Cannon, 1998; Coviella en Trumble, 1999). Het insect moet langer het hoofd bieden aan onder meer predatoren en parasieten waardoor er op populatieniveau een toename is in de mortaliteit. Door de hogere consumptie van bladmateriaal is het bovendien waarschijnlijker dat pathogene bacteriën en virussen worden opgenomen, hetgeen naast een afname in het aantal nakomelingen eveneens de dood tot gevolg kan hebben. Ook zou er een verhoogde opname kunnen zijn van plantcomponenten betrokken bij de verdediging tegen insecten, aangezien er (volgens sommige studies althans) een verhoogde aanmaak zou zijn van zulke componenten bij een hoger CO₂-gehalte in de buitenlucht (Coviella en Trumble, 1999).

Van een rechtstreeks effect van verhoogde CO₂-concentraties op de groei en ontwikkeling van (herbivore) insecten zijn er geen onmiddellijke bewijzen. Een effect via de plaagverwekker is evenwel mogelijk via een beïnvloeding van het vermogen van sommige insecten om hun gastheerplant te detecteren door af te gaan op minutieuze veranderingen in CO₂-concentraties. Een ander effect dat wordt waargenomen bij sommige bladluizen is een verminderde perceptie van alarmferomonen bij een toename in CO₂, waardoor deze vatbaarder zijn voor natuurlijke vijanden (Coviella en Trumble, 1999).

NEERSLAG & PLANTENPLAGEN

Neerslag heeft een minder uitgesproken invloed op het optreden van plantenplagen in vergelijking met temperatuur of CO₂. Wél zouden bij hevige regenbuien bepaalde insecten kunnen gedood worden of van het gewas worden gespoeld. Een toename in neerslagfrequentie en neerslagintensiteit zou ook een negatieve impact kunnen hebben op bepaalde insecten die overwinteren in de bodem (Petzoldt en Seaman, 2006).

KLIMAATVERANDERING & PESTICIDENGEBRUIK

Het klimaat en de klimaatverandering hebben ook een effect op het gebruik van pesticiden, dewelke worden ingezet ter controle en/of preventie van uitbraken van plantenziekten- en plagen (Rosenzweig et al., 2001). Zo zou de voorspelde toename in neerslagfrequentie- en intensiteit kunnen leiden tot een verhoogde afspoeling van contactfungiciden, waardoor er frequenter met dergelijke fungiciden moet behandeld worden. Door de verhoogde afspoeling worden er grotere risico's verwacht van emissies naar oppervlakte- en grondwater. Wat de systemische fungiciden betreft, verwacht men dat de opname door het gewas zal bemoeilijkt worden onder een verhoogde atmosferische CO₂-concentratie ten gevolge van bepaalde fysiologische veranderingen, zoals huidmondjes die meer gesloten zijn of een dikkere epicutulaire waslaag op de bladeren (zie CO₂ & plantenziekten). Verhoogde omgevingstemperaturen hebben daarentegen een positief effect en bevorderen net de opname van systemische fungiciden, aangezien zij leiden tot een verhoging van de snelheid van het

gewasmetabolisme (Coakley et al., 1999; Petzoldt en Seaman, 2006). Een toename in het aantal insectgeneraties als gevolg van de hogere temperatuur (zie temperatuur & plantenplagen) vereist vermoedelijk meer insecticidenbehandelingen om populaties onder de economische schadedrempels te houden. Insecten zouden hierdoor sneller resistentie kunnen ontwikkelen tegen de toegepaste insecticiden. Bovendien blijken bij hogere temperaturen bepaalde insecticidenklassen (bv. de pyrethroïden) minder werkzaam (Petzoldt en Seaman, 2006).

4.2.3 Waterbalanssimulaties voor verschillende gewassen

4.2.3.1 Invoervariabelen

KLIMATOLOGISCHE VARIABELEN

Klimatologische scenario's of klimaatscenario's zijn de meest geschikte instrumenten om toekomstige randvoorwaarden te analyseren. Ze geven een vereenvoudigd beeld van mogelijke weerspatronen in de toekomst maar zijn geen voorspellingen noch weersverwachtingen. De 'klimaatverandering' wordt gekwantificeerd door meerjarige tijdreeksen van geschatte dagwaarden voor klimatologische variabelen zoals neerslag, potentiële evapotranspiratie (die zelf afhangt van minimum- en maximum luchttemperatuur, windsnelheid, instraling) en temperatuur.

Drie mogelijke bronnen van tijdreeksen kunnen worden aangewend, namelijk de resultaten van mondiale klimaatmodellen, regionale klimaatmodellen en stochastische weersgeneratoren. De resultaten van mondiale klimaatmodellen zijn niet geschikt om de mogelijke impacten te bestuderen op een regionale schaal; zij leveren echter de randvoorwaarden voor de regionale klimaatmodellen (zie hoofdstuk 3). Stochastische weersgeneratoren kunnen worden ingezet om meteorologische variaties te simuleren op een zeer hoge temporele en ruimtelijke resolutie maar zijn omwille van het behoud van temporele variatie ten opzichte van een historische tijdreeks niet geschikt om de mogelijke verandering in regionale variaties weer te geven. De resultaten van Europese regionale klimaatmodellen voldoen aan de voorwaarden voor studies op regionale schaal. In het kader van deze studie werden de resultaten van het CCI-HYDR Project (Willems et al., 2007) gebruikt om een hoog, midden en laagscenario te definiëren voor evaporatie en neerslag in Ukkel. In het CC-HYDR Project werden de resultaten van alle ensembles van de regionale klimaatmodelresultaten van het Europese vijfde kaderproject Prudence (Christensen et al., 2007) onderworpen aan een multi-criteria analyse. Deze tijdreeksen drukken uit dat in Vlaanderen naast een toename van de gemiddelde dagtemperatuur over het gehele jaar, ook een toename van de winterneerslag, een afname van de zomerneerslag en een toename van de neerslagextremen verwacht wordt. Om expliciet rekening te houden met de onzekerheid op deze schattingen wordt naast een tijdreeks overeenstemmend met een midden klimaatverandering (middenscenario), ook een tijdreeks met lage klimaatverandering (laag scenario) en één met een hoge klimaatverandering (hoog scenario) doorgerekend.

Voor de noordelijke helft van Europa (> 47°N) wordt verwacht dat rond 2020 het neerslagoverschot (= neerslag - evapotranspiratie) met ongeveer 15% toegenomen zal zijn (Alcamo et al., 2007), maar de grootte van die toename hangt sterk af van welk klimaatmodel (GCM) gebruikt werd. We berekenden het neerslagoverschot voor het huidige klimaat (1972-2001) als 238 mm. In vergelijking met een toekomstig laag klimaatscenario verwachten we een toename van 37% rond 2070-2099.

Op stochastische wijze werd een historische tijdreeks van gemiddelde etmaaltemperaturen (in °C) getransformeerd tot een temperatuurreeks op dagbasis die past bij de neerslagtijdreeksen uit het laag, midden en hoog toekomstig klimaatscenario. De laag, midden en hoog klimaatscenario's werden gedefinieerd aan de hand van de gemiddelde temperatuurstijging in de winter en in de zomer (

Tabel 4). De randvoorwaarden, in dit geval gemiddelde temperatuurstijging in winter en zomer, werden afgeleid van de klimaatveranderingsscenario's opgesteld door het KNMI voor Nederland. Het KNMI leidde vier scenario's af door de resultaten van verschillende RCMs en GCMs statistisch te analyseren (Van den Hurk et al., 2007). Bijkomende details worden gegeven in sectie 1.2.3 (klimaatmodellen en trendanalyse).

Tabel 4 Gemiddelde jaartemperatuurstijgingen tegen 2100 onder een laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario, gebaseerd op eigen berekeningen afgeleid van de KNMI klimaatscenario's

	Laag	Midden	Hoog
Winter (DJF)	0.9	1.4	2.3
Zomer (JJA)	1.1	1.7	2.9

Vier klimatologische datasets werden aangemaakt, telkens voor temperatuur, neerslag en referentie-evapotranspiratie: historische reeks te Ukkel (1947-2005), laag klimaatveranderingsscenario (2070-2099), midden klimaatveranderingsscenario (2070-2099) en hoog klimaatveranderingsscenario (2070-2099). De klimaatveranderingsscenario's zijn gebaseerd op de resultaten van de multi-criteria analyse uitgevoerd door het KMI.

BODEMVARIABLEN

Drie verschillende bodemtypes werden gekozen op basis van bodemtextuur: zand/lemig zand (loamy sand), leem (silty loam) en polderklei (loam). Met behulp van het programma van Saxton et al. (2006) werden de bodemfysische variabelen afgeleid (Tabel 5).

Tabel 5 Bodemvariabelen afgeleid met behulp van Saxton et al. (2006)

Textuur (België)	Textuur (USDA)	Vochtgehalte (volume %) bij						
		%zand	%klei	Verwelking spunt	Veldcapaciteit	Verzadiging	Ksat (mm/u)	Volumedichtheid g/cm ³
Zand / Lemig zand	Loamy sand	82	6	5.7	12.1	45.7	91.3	1.44
Leem	Silty loam	8	13	10.0	33.0	48.9	13.9	1.35
(polder)klei	Loam	30	25	16.4	31.9	47.2	9.7	1.40

GEWASPARAMETERS EN VARIABLEN

Zes verschillende gewassen werden geselecteerd: aardappel, bloemkool (voorjaar), bloemkool (najaar), maïs, suikerbiet en wintertarwe. De gewaskalenders werden afgeleid op basis van de zaai (plant) en oogstdata ter beschikking gesteld door de Bodemkundige Dienst van België. De specifieke gewasparameters werden berekend aan de hand van de gewaskalender en de in de literatuur beschikbare waarden (Allen et al., 1998; Vanclooster et al., 1994).

Tabel 6 Gewasparameters en variabelen afgeleid met behulp van Allen et al., 1998

Gewas	Plant/								
	Zaai datum	Oogst datum	Dini	Dontw	Dmid	Dlaat	Kini	Kmid	Klaat
Bloemkool (voorjaar)	16 -Apr	2-Jul	19.00	28.00	22.00	8.00	0.17	0.95	0.85
Bloemkool (najaar)	15-Jul	14-Oct	23.00	33.00	26.00	10.00	0.17	0.95	0.85
Voedemaïs	26-Apr	1-Oct	35.00	45.00	58.00	20.00	0.15	1.15	0.50
Aardappelen	10-Apr	15-Sep	33.00	38.00	54.00	33.00	0.17	1.10	0.65
Suikerbiet	10-Apr	15-Oct	52.00	42.00	52.00	42.00	0.17	1.15	0.50
Wintertarwe	15-Oct	1-Aug	36.00	170.00	49.00	36.00	0.17	1.10	0.30

D= duur in dagen van ini= het initiële stadium (kiemen), ontw= het vegetatieve ontwikkelingsstadium, mid= het reproductief stadium (bloei, vruchtvorming), laat= het oogststadium (afrijping); K= verhouding

van de actuele tot de potentiële transpiratie op het einde van het ini= initiële stadium, mid= reproductief stadium en laat= het oogststadium.

Tabel 7 Gewasparameters en variabelen afgeleid mbv Vanclooster et al., 1994.

Gewas	Wortel- diepte	Pfactor	Topt	Tbase	LAlmax
Bloemkool (voorjaar)	0.55	0.45	24.00	7.00	2.50
Bloemkool (najaar)	0.55	0.45	24.00	7.00	2.50
Voedermaïs	1.30	0.55	28.00	8.00	6.50
Aardappelen	0.50	0.35	18.00	7.00	5.00
Suikerbiet	0.95	0.55	20.00	0.00	6.00
Wintertarwe	1.60	0.55	20.00	4.00	5.50

Pfactor= fractie van totaal beschikbaar vocht in de bodem; Topt= optimale temperatuur voor gewasgroei; Tbase= minimale temperatuur voor groei; LAlmax= maximale Leaf Area Index.

4.2.3.2 Waterbalansmodel

Om de respons van productie op klimaat in te schatten kunnen kwalitatieve methoden, agroklimatologische indices of simulatiemodellen gebruikt worden. De toepassingen maken gebruik van verschillende tijdstappen afhankelijk van de processen die beschreven worden. Gewasgroei, ontwikkeling en productie kan worden gesimuleerd op basis van dagelijkse waarden voor klimatologische variabelen. Resultaten van gewasgroeisimulaties onder verschillende klimaatveranderingsscenario's zijn goed beschreven in de literatuur (zie sectie 4.2.2.2). In gematigde streken werden vooral de effecten van temperatuur en CO₂-bemesting bestudeerd. In deze studie gaan we na wat de effecten van neerslag en vochttopslag in de bodem zijn.

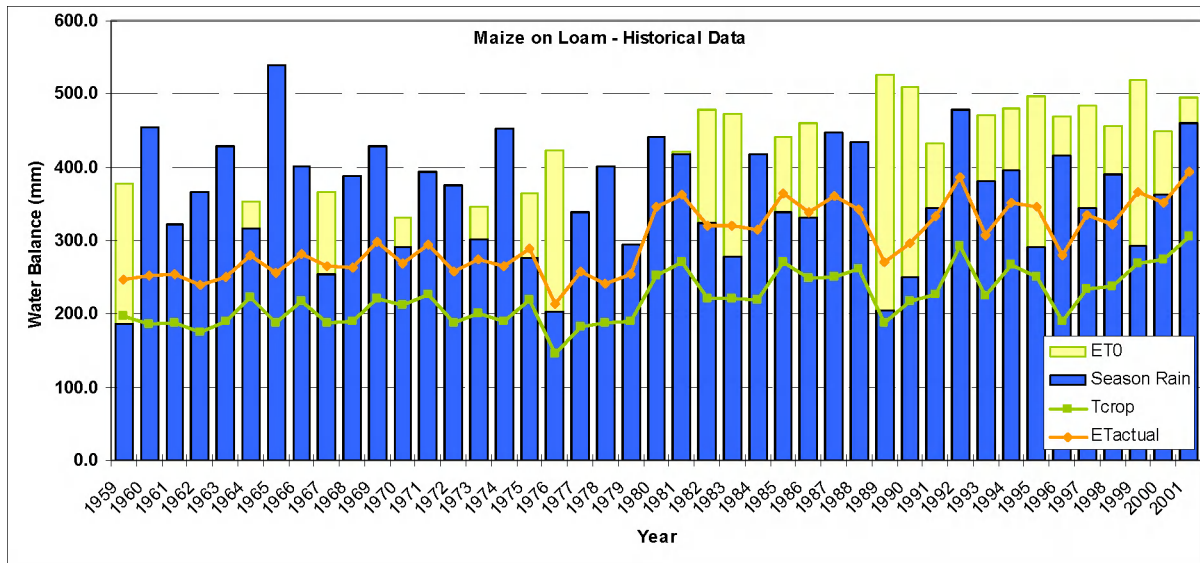
Waterbalanssimulaties werden uitgevoerd met een eigen ontwikkeld vegetatiemodel gebaseerd op de principes van Doorenbos en Pruitt (1977), Doorenbos en Kassam (1979) en Allen et al. (1998) en aangepast voor plantproductie en vegetatiegroei onder regengevoede omstandigheden. De robuustheid van dit model werd getest in verschillende projecten en in uiteenlopende klimatologische omstandigheden van voornamelijk West-Afrika en Europa (Gobin et al., 1995; Gobin et al., 1998; Kirkby and Gobin, 2003). De broncode werd telkens aangepast aan de nieuwste bevindingen inzake gewasverdamping en gewasgroei.

In totaal werden ruim 3000 jaarsimulaties uitgevoerd voor de geselecteerde bodemtypes, gewassen en tijdreeksen, telkens met een modeltijdstep van 1 dag. De output op jaarbasis maakt het mogelijk om het effect van de klimaatverandering te begroten als evolutie van waterstress, oogstverliezen en overschot op de waterbalans.

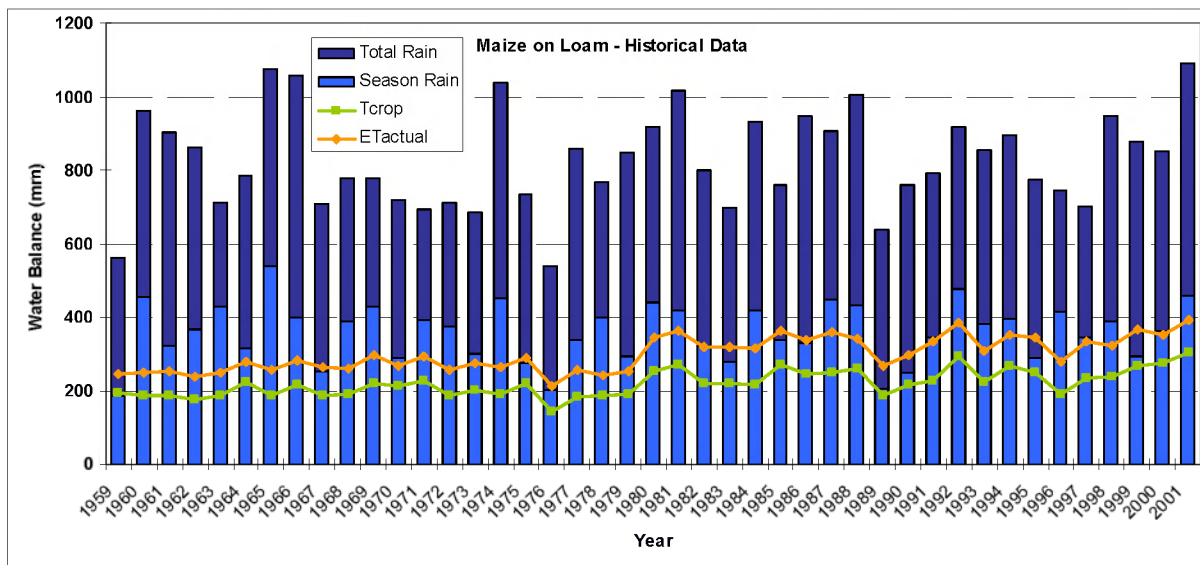
4.2.3.3 Simulatieresultaten

HISTORISCHE KLIMAATREEKS

De resultaten tonen de gewasbalansvariabelen tijdens het groeiseizoen (Figuur 10 voorbeeld voor maïs). Uit Figuur 10 kan afgeleid worden in welke mate de verhoogde neerslag de verhoging van de referentie-evapotranspiratie en actuele evapotranspiratie compenseert. De algemene trend is dat vanaf de jaren '90 er duidelijk drogere zomers voorkwamen. De winterneerslag nam toe zodat de vochttopslag in de bodem bij het begin van het groeiseizoen toch optimaal kon zijn. Een maat voor dit effect kan worden afgeleid uit de verhouding tussen neerslag tijdens het groeiseizoen en totale jaarneerslag (Figuur 11 voorbeeld voor maïs).

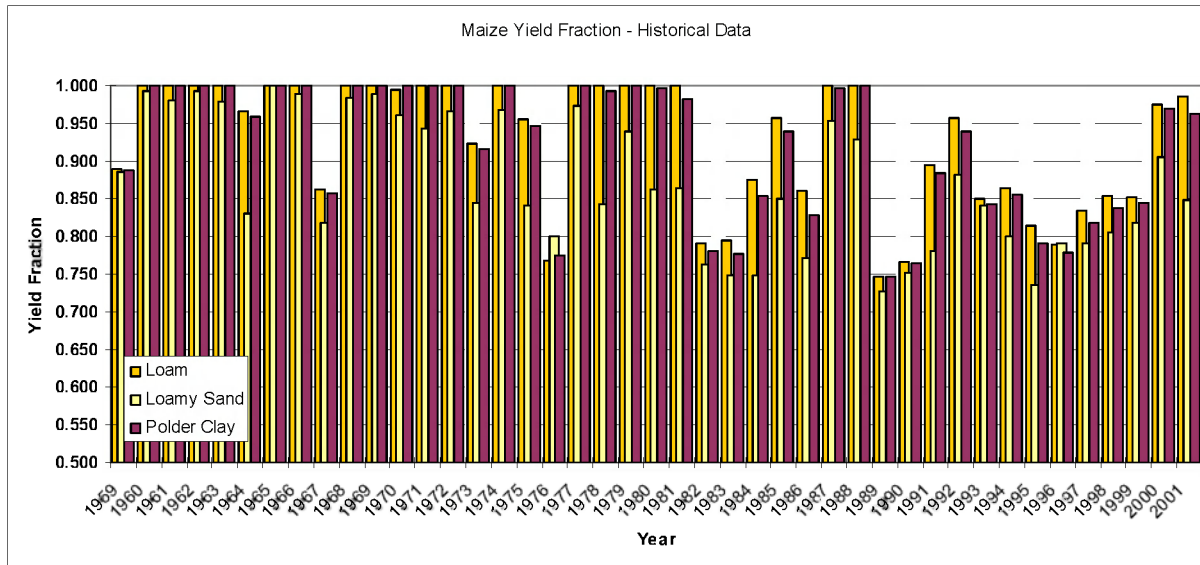


Figuur 10 Waterbalans tijdens de groeiperiode voor maïs op een leembodem voor historische klimatologische data voor Ukkel (gele balken: referentie-evapotranspiratie; blauwe balken: neerslag; groene lijn: gewastranspiratie; oranje lijn: actuele evapotranspiratie; telkens tijdens het groeiseizoen)



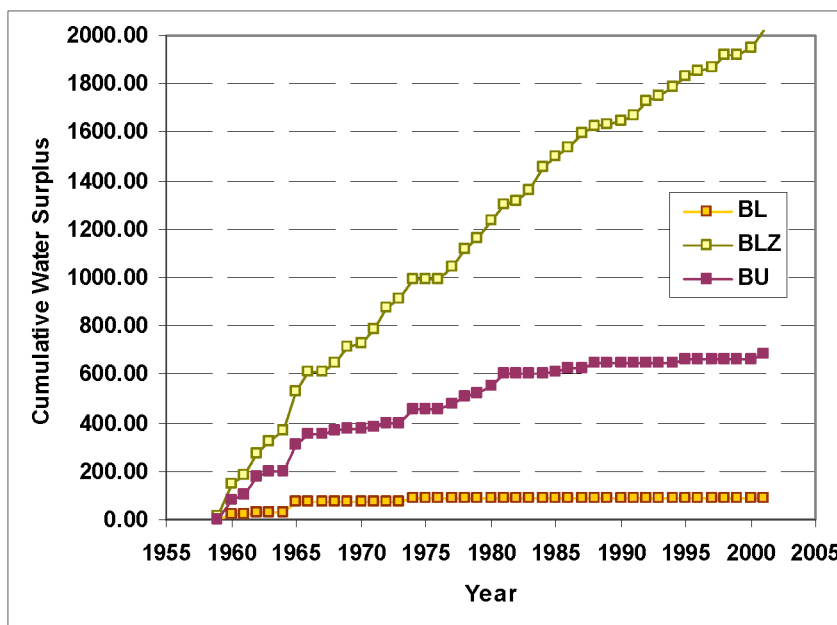
Figuur 11 Jaarlijkse neerslag en waterbalans voor maïs op een leembodem voor historische klimatologische data voor Ukkel (donkerblauwe balken: neerslag op jaarbasis, waterbalansvariabelen tijdens het groeiseizoen zoals in beschreven in Figuur 10)

De invloed van de waterbalans op de oogst werd begroot door een factor die de verhouding is tussen de actuele (berekende) en de potentiële oogst. Bij waarden gelijk aan 1 kan gesteld worden dat er geen groeistress is tengevolge van watertekort tijdens het groeiseizoen. Het verloop van deze factor toont aan dat er vanaf de jaren '90 meer oogstverliezen optreden ten gevolge van waterstress; het effect van de droge zomer van 1976 komt duidelijk tot uiting (Figuur 12 voorbeeld voor maïs).



Figuur 12 Oogstverandering ten gevolge van waterstress voor maïs op drie verschillende bodemtypes.

Het cumulatieve wateroverschot voor een gewas werd berekend telkens op de drie verschillende bodems (Figuur 13 voorbeeld voor maïs). De randvoorwaarden voor de waterbalans zijn de veldcapaciteit en het verwelkingspunt van de bodem. Elk waterbalansoverschot wordt voor het groeiseizoen per jaar berekend en cumulatief weergegeven. Deze waarden kunnen in het geval van de lemige zandbodem geïnterpreteerd worden als drainage. Voor polderklei is het niet noodzakelijk dat dit overschot op de waterbalans draineert naar de bodemlagen beneden de wortelzone; een gedeelte van dit overschot kan ook afgevoerd worden via grachten en beken.



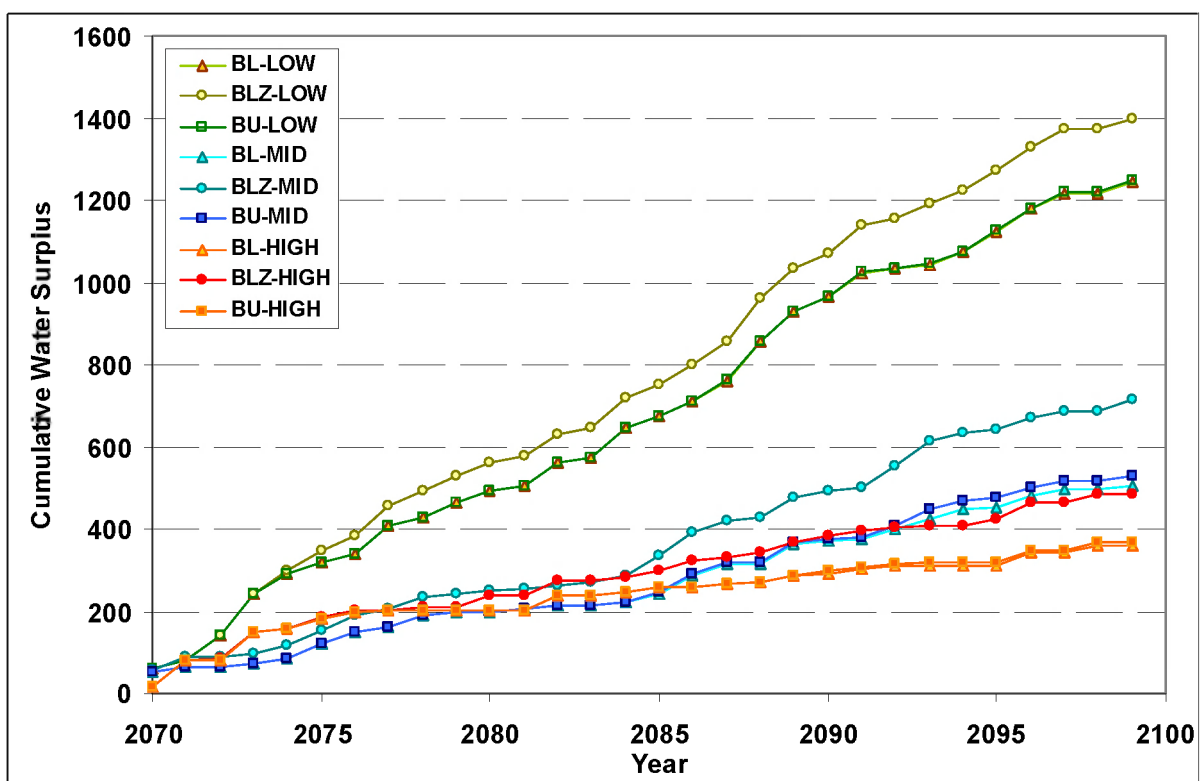
Figuur 13 Cumulatief wateroverschot voor maïs op drie verschillende bodemtypes (BL=leem, BLZ=lemig zand, BU=polderklei).

KLIMAATVERANDERINGSCENARIO'S

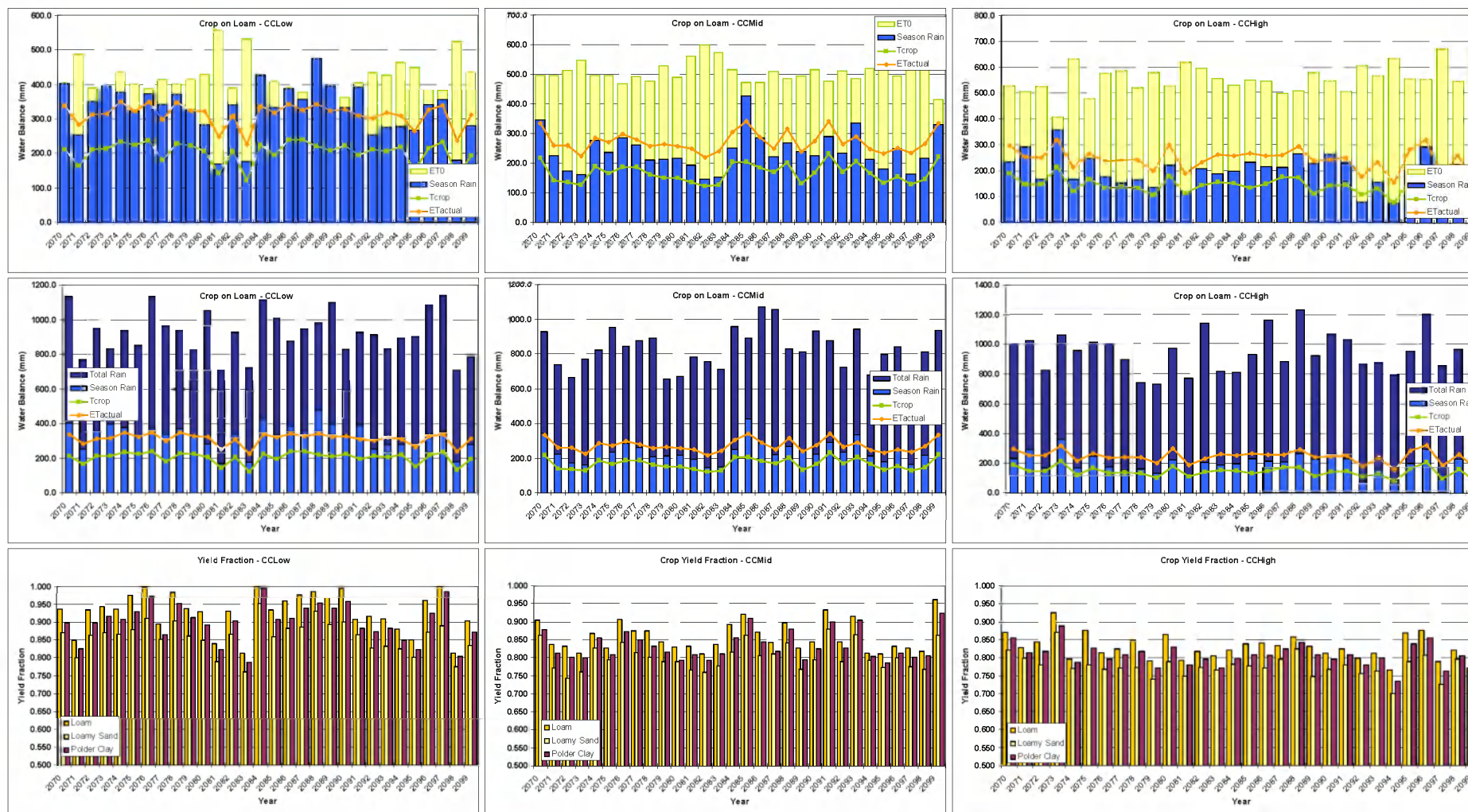
Dezelfde berekeningen zoals beschreven in de vorige sectie werden uitgevoerd voor een laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario (Figuur 15 voorbeeld voor aardappelen). Uit de waterbalans blijkt

duidelijk dat aan de waterbehoefte steeds minder kan worden voldaan naarmate de klimaatverandering sterker is. Bij het hoge klimaatveranderingscenario treedt er de hoogste waterstress op, wat zich weerspiegelt in een sterker oogstverlies in vergelijking met het lage klimaatveranderingscenario (Figuur 15). In het geval van het midden en hoge klimaatveranderingscenario kan er niet meer worden voldaan aan de waterbehoefte van het gewas tijdens het groeiseizoen. Omwille van het vochtleverend vermogen van de bodem is dit effect sterker op zandbodems, gevolgd door polderklei en leem. Het bufferend vermogen om droogtestress op te vangen is het grootst voor een leembodem.

Het cumulatieve wateroverschot op de waterbalans werd berekend voor elk van de geselecteerde gewassen en telkens op drie verschillende bodemtypes en volgens drie verschillende klimaatveranderingscenario's (Figuur 14 voorbeeld voor aardappelen). Het cumulatieve wateroverschot is het hoogst voor een laag klimaatveranderingscenario, en het laagst voor een hoog klimaatveranderingscenario. In alle klimaatveranderingscenario's is het wateroverschot op de waterbalans het hoogst voor de lemige zandbodem en het laagst voor de leembodem omwille van de grotere waterhoudende capaciteit van leem ten opzichte van zand.



Figuur 14 Cumulatief wateroverschot voor aardappelen op drie verschillende bodemtypes en volgens drie verschillende klimaatveranderingscenario's (BL=Leem, BLZ=Lemig Zand, BU=Polderklei; LOW= laag klimaat, MID=midden, HIGH= hoog klimaatscenario)



Figuur 15 Effect van de klimaatverandering op de waterbalans en op de oogst voor aardappelen onder een laag (links), midden (midden) en hoog (rechts) klimaatveranderingscenario

VERGELIJKING VAN WATERBALANSSIMULATIES VOOR VERSCHILLENDE GEWASSEN

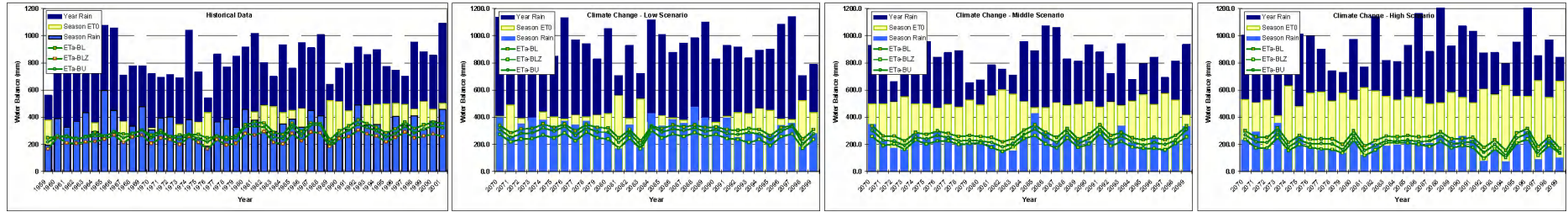
Een vergelijking van de simulaties voor de verschillende gewassen en de verschillende bodems toont aan dat de klimaatverandering een grote impact heeft op de waterbalans (Figuur 16). Vooral van belang is de periode waarin het gewas op het veld staat. Gewassen die gebruik kunnen maken van de vochttopslag tijdens de winter, najaar of voorjaar ondervinden minder grote effecten (wintertarwe, bloemkool). De droogtestress is kleiner naarmate het gewas een diepere worteldiepte bereikt en naarmate het gewas toleranter is voor droogtestress. Voor suikerbiet, aardappel en voedermaïs zijn de effecten van de klimaatverandering op de waterbalans (Figuur 16) het grootst.

De impact van de klimaatverandering op de waterbalans gaat, behalve voor wintertarwe en in mindere mate voor bloemkool, gepaard met oogstverliezen (Figuur 17). De impacten zijn groter naarmate het klimaatveranderingsscenario drastischer is. In alle drie de klimaatveranderingsscenario's treden oogstverliezen op in vergelijking met de berekeningen voor de historische reeksen (vóór 1985). De geschatte oogsten voor aardappelen, suikerbieten en voedermaïs zijn zeer variabel.

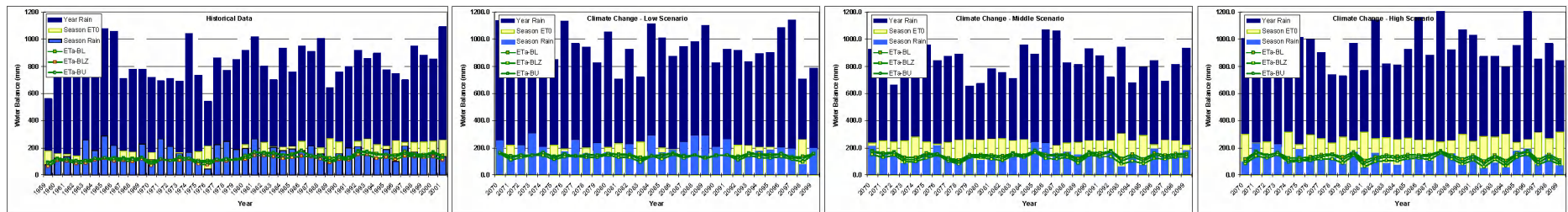
De waterbalansoverschot die geïnterpreteerd moet worden als maat voor diepere drainage (in het geval van de lemige zandbodem) of als een maat voor diepere drainage én oppervlakkige afstroming (in het geval van de leembodem en de polderkleibodem) vertoont duidelijke impacten van de klimaatverandering (Figuur 18). De waterbalansoverschot is het grootst voor lemig zand, gevolgd door polderklei en het laagst voor leem. Voor de gewassen die tijdens de zomerperiode op het veld staan is de waterbalansoverschot het grootst voor de historische reeks, gevolgd door de laag en midden klimaatveranderingsscenario's en het laagst voor het hoog klimaatveranderingsscenario. Voor wintertarwe is dit totaal anders omdat de winterneerslag in alle klimaatveranderingsscenario's toeneemt ten opzichte van historische waarnemingen (de schaal in de Y-as is 4x deze van de andere grafieken). Het waterbalansoverschot bij wintertarwe treedt vooral op tijdens de winter wanneer het gewas weinig transpireert en de vegetatieve groei laag is. De voorspelde oogstverliezen voor wintertarwe tijdens een hoog klimaatveranderingsscenario hebben vooral te maken met droogtestress bij afrijping in de zomer.

Waterbalansresultaten

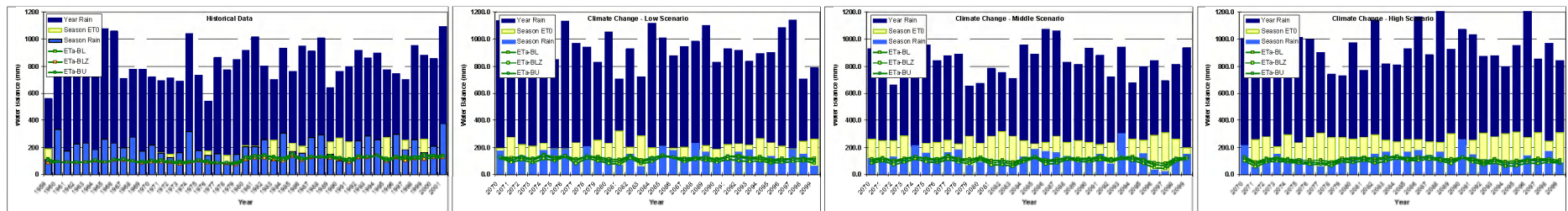
Aardappel



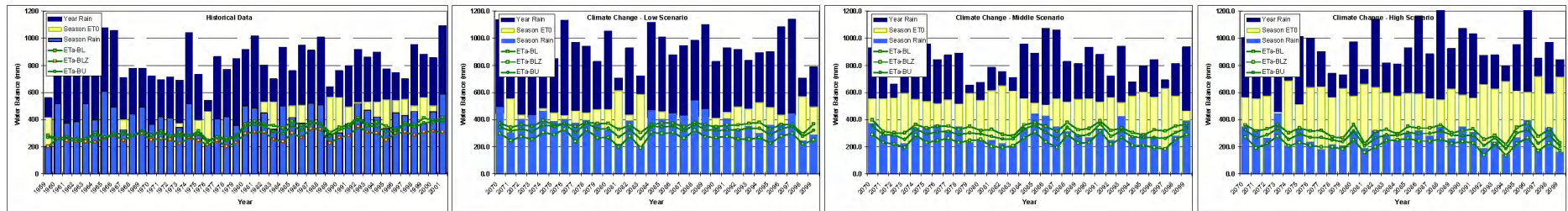
Bloemkool Lenteteelt



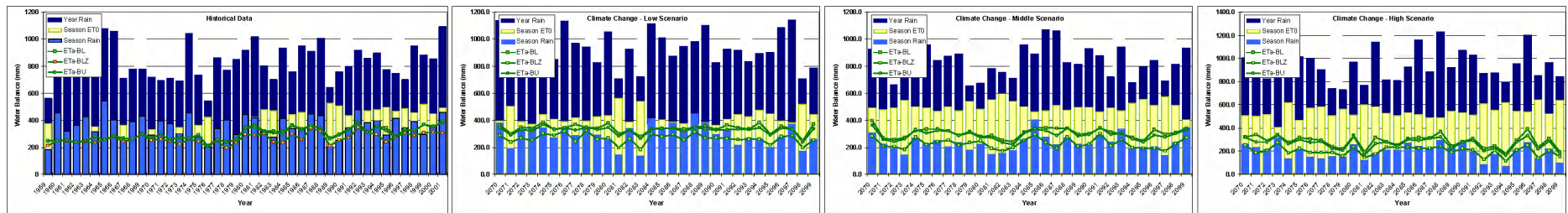
Bloemkool Herfstteelt



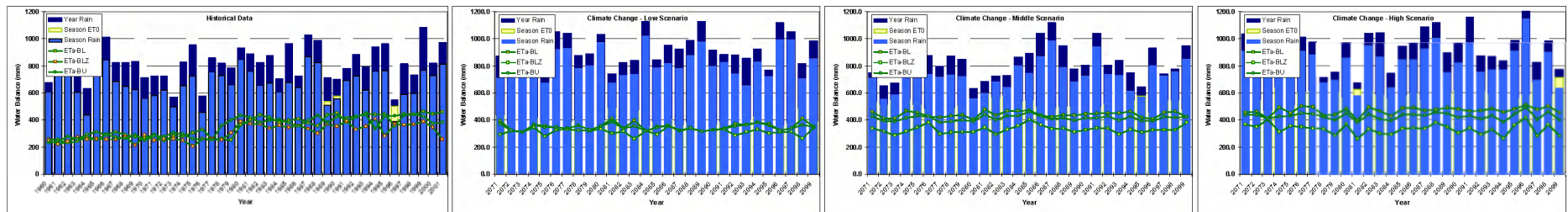
Suikerbieten



Voedermaïs



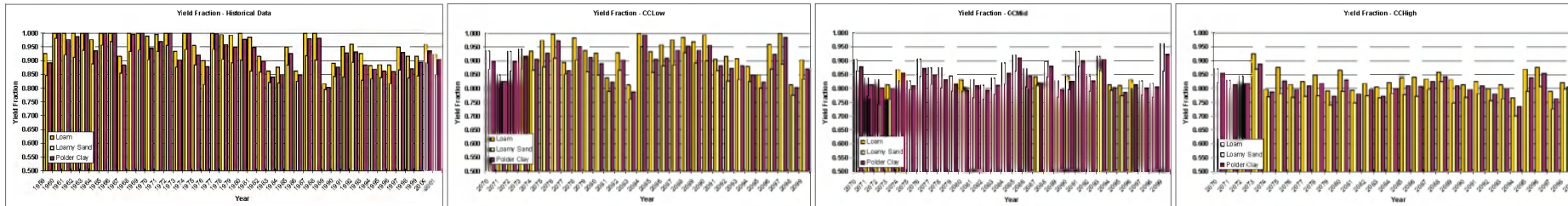
Wintertarwe



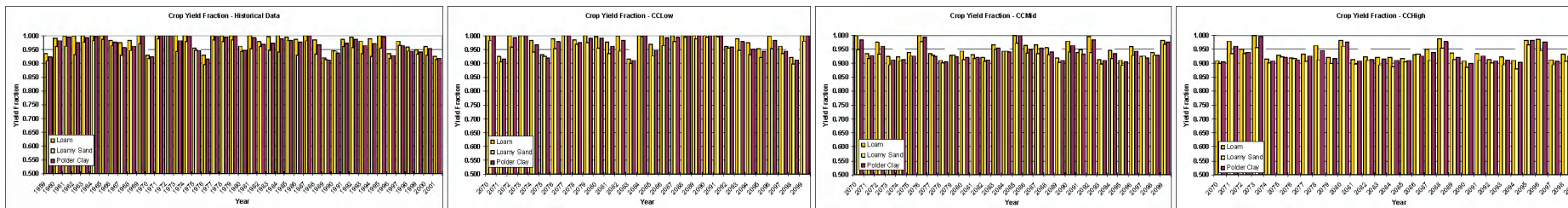
Figuur 16 Waterbalansberekeningen voor verschillende gewassen op drie verschillende bodems (BL=Belgische Leem, BLZ=Belgische lemige zand en BU=Belgische Polderklei)

Fractie van totale oogst

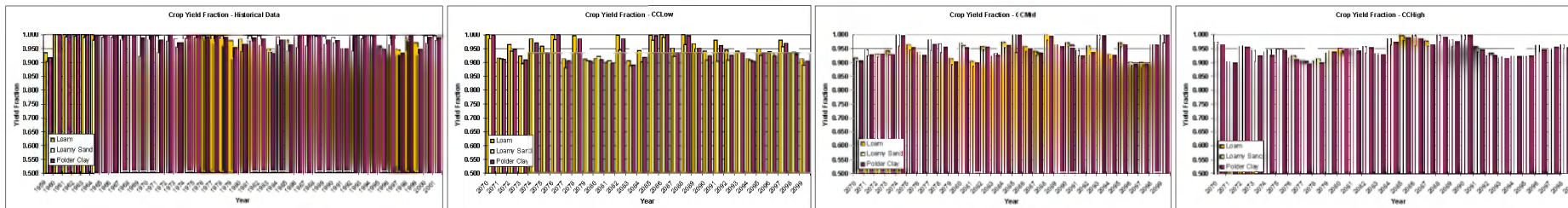
Aardappel



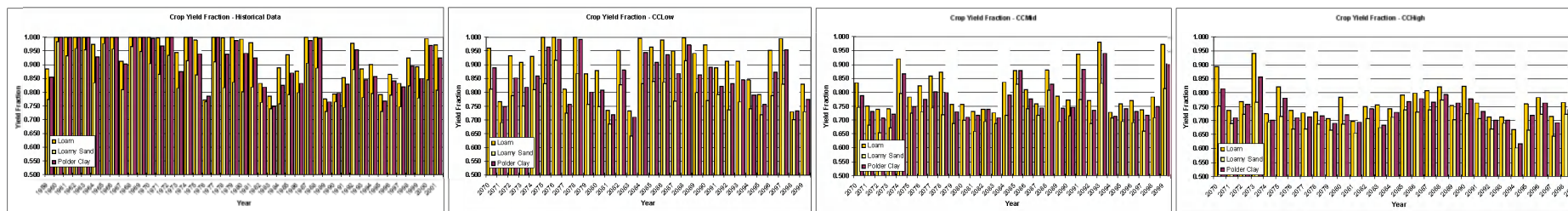
Bloemkool - Lenteteelt



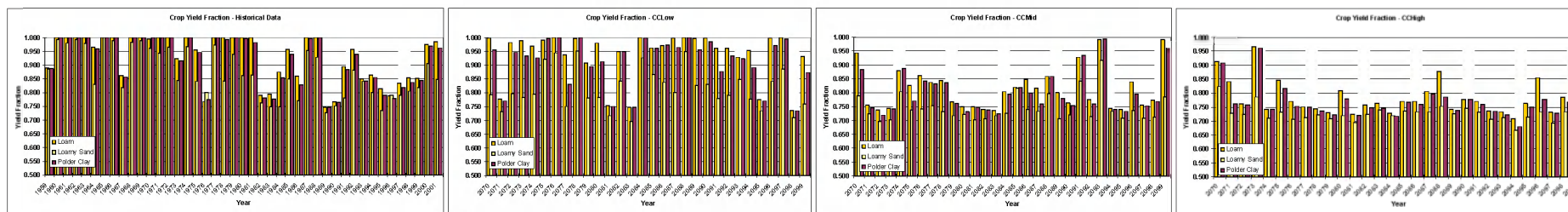
Bloemkool - Herfstteelt



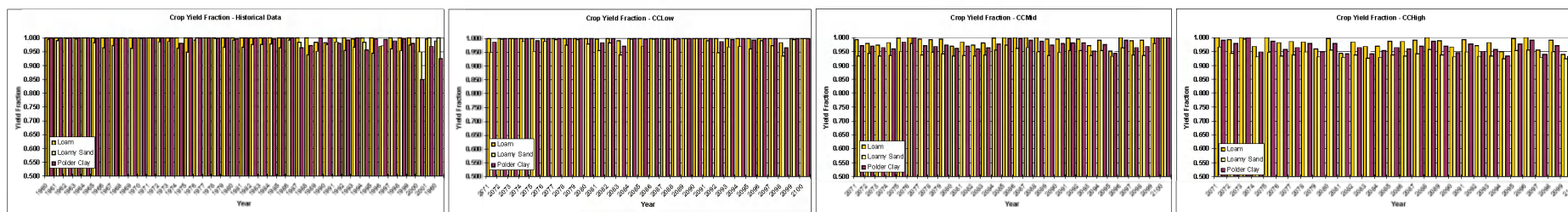
Suikerbieten



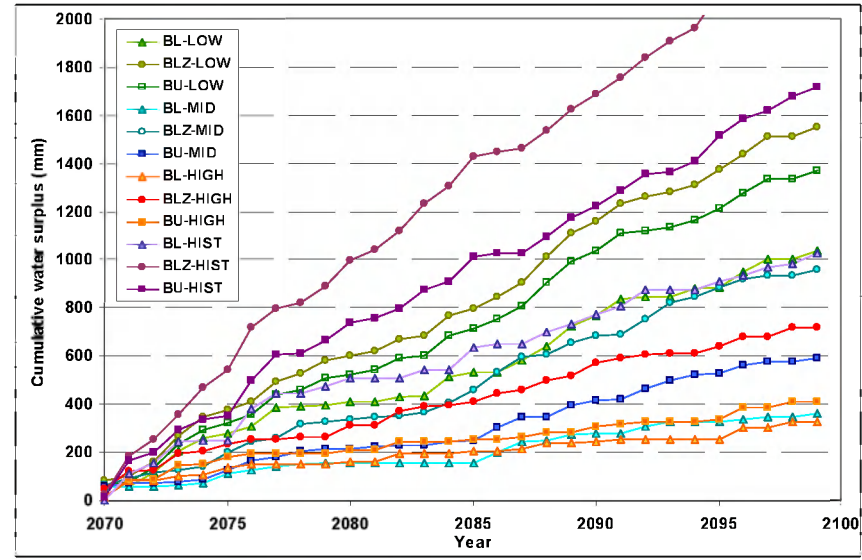
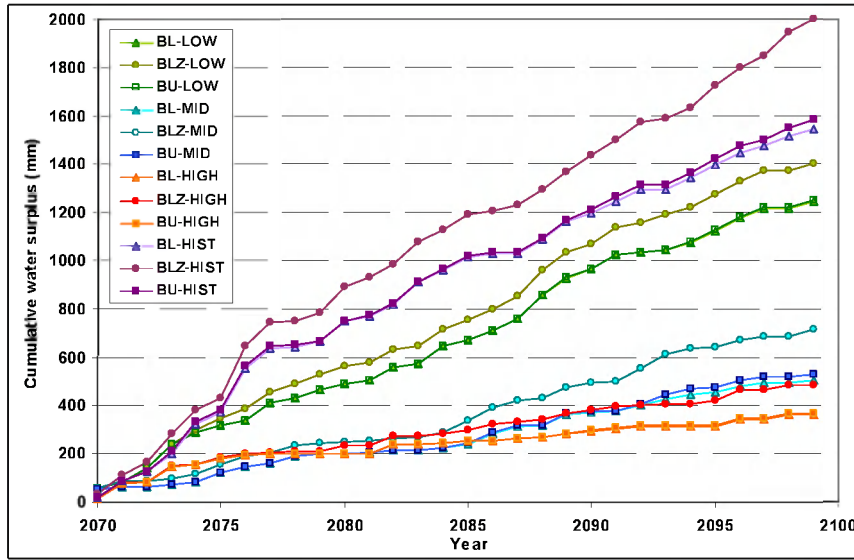
Voedermaïs



Wintertarwe

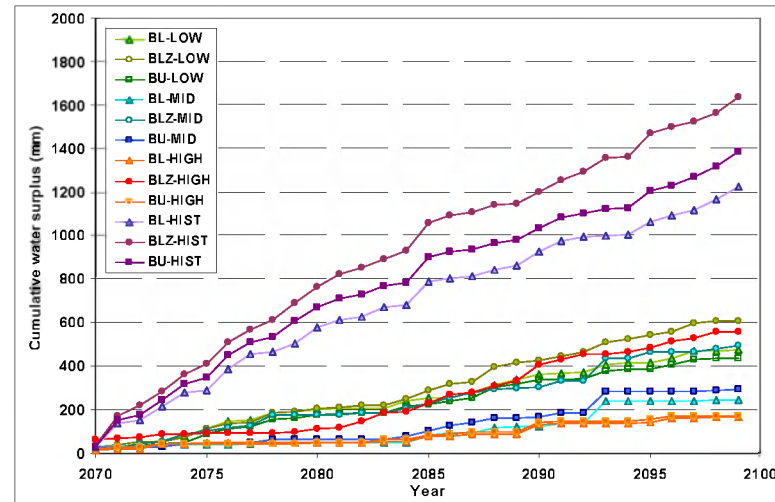
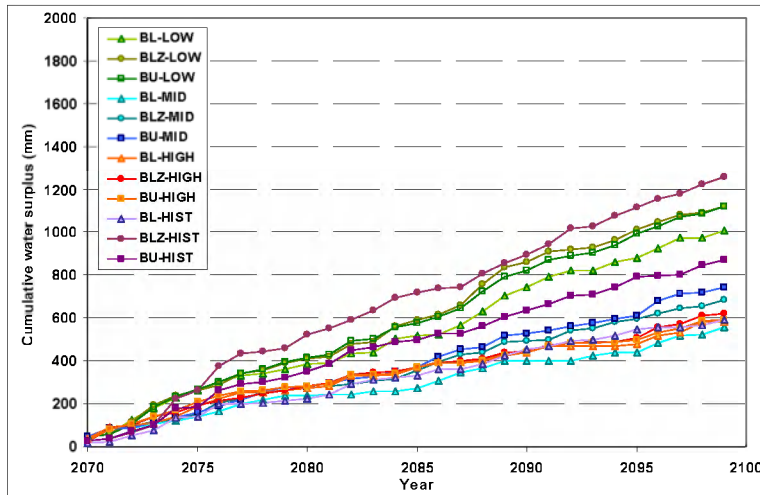


Figuur 17 Gesimuleerde oogstverliezen ten gevolge van droogtestress voor verschillende gewassen op drie verschillende bodems (leem, lemige zand en Polderklei)



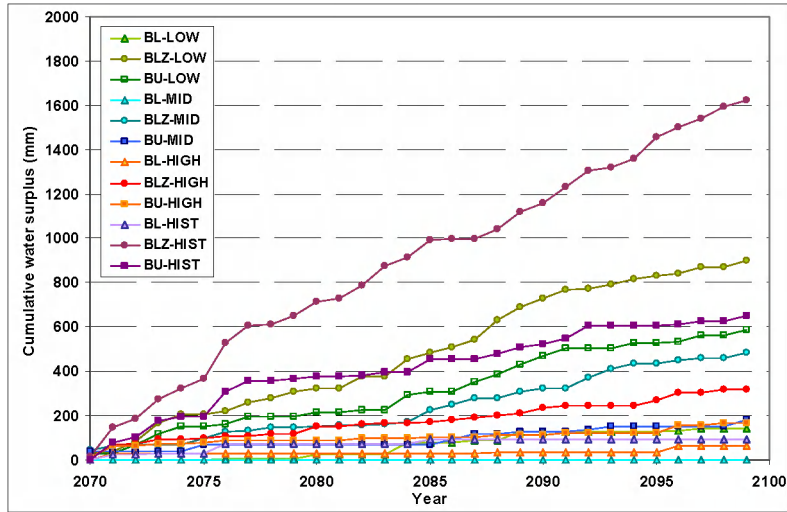
Aardappel

Suikerbieten

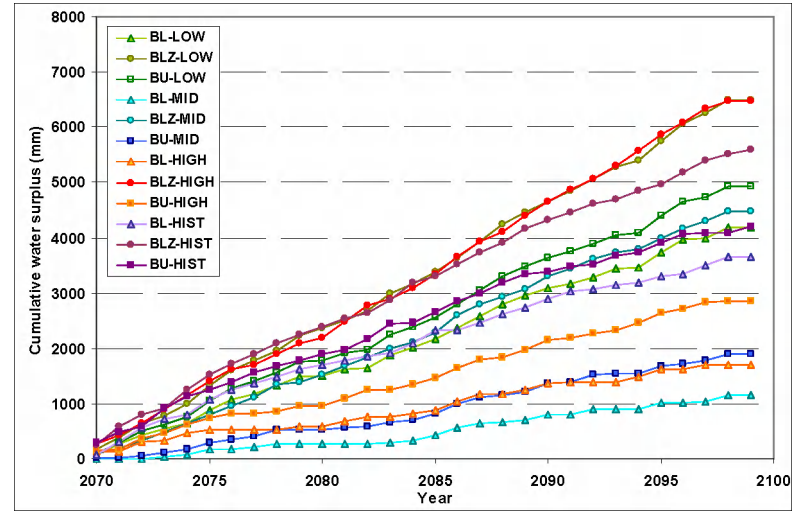


Bloemkool - Lenteteelt

Bloemkool - Herfstteelt



Voedermaïs



Wintertarwe (opgelet andere schaal in Y-as!!!)

Figuur 18 Waterbalansoverschot als maat voor diepere drainage of bijkomende runoff (BL=Leem, BLZ=Lemig Zand, BU=polderklei; LOW= laag klimaatscenario, MID=midden klimaatscenario, HIGH= hoog klimaatscenario, HIST=historische waarnemingen)

Tabel 8 Gemiddelde voor Historische Waarnemingen

Gewas	Waterbalanstekort (mm)			Oogstfractie			Waterbalansoverschot (mm)		
	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei
Bloemkool (Voorjaar)	10.532	2.304	7.164	0.979	0.952	0.970	16.683	37.144	25.421
Bloemkool (Najaar)	3.317	1.038	2.202	0.991	0.968	0.985	37.760	53.740	43.784
Voedermaïs	18.908	4.674	17.404	0.926	0.872	0.919	2.110	47.089	15.947
Aardappelen	19.689	1.080	8.469	0.951	0.883	0.930	42.581	62.814	45.605
Suikerbiet	13.317	0.720	7.172	0.935	0.842	0.913	27.037	75.191	48.250
Wintertarwe	0.186	0.000	0.000	0.998	0.977	0.995	106.092	177.856	129.955

Tabel 9 Gemiddelde voor een **laag** klimaatveranderingsscenario

Gewas	Waterbalanstekort (mm)			Oogstfractie			Waterbalansoverschot (mm)		
	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei
Bloemkool (Voorjaar)	8.272	2.034	5.594	0.981	0.957	0.973	33.514	37.287	37.267
Bloemkool (Najaar)	15.367	4.311	10.360	0.953	0.930	0.943	15.733	20.260	14.544
Voedermaïs	73.636	17.411	60.473	0.939	0.815	0.914	4.769	30.000	19.498
Aardappelen	27.812	1.399	11.638	0.929	0.859	0.900	41.533	46.667	41.633
Suikerbiet	33.038	0.570	16.373	0.905	0.780	0.852	34.624	51.733	45.633
Wintertarwe	0.000	0.000	0.000	0.999	0.981	0.996	139.560	216.374	164.243

Tabel 10 Gemiddelde voor een **midden** klimaatveranderingsscenario

Gewas	Waterbalanstekort (mm)			Oogstfractie			Waterbalansoverschot (mm)		
	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei
Bloemkool (Voorjaar)	25.782	7.636	16.882	0.949	0.928	0.939	18.533	22.867	24.767
Bloemkool (Najaar)	15.674	3.861	9.943	0.954	0.936	0.946	8.172	16.433	9.773
Voedermaïs	97.826	24.330	84.540	0.814	0.745	0.799	0.000	16.154	6.000
Aardappelen	57.764	7.949	28.080	0.858	0.804	0.834	16.900	23.800	17.633
Suikerbiet	64.703	4.634	34.518	0.806	0.723	0.772	12.143	32.000	19.800
Wintertarwe	0.000	0.000	0.000	0.990	0.950	0.976	38.574	149.617	63.506

Tabel 11 Gemiddelde voor een **hoog** klimaatveranderingsscenario

Gewas	Waterbalanstekort (mm)			Oogstfractie			Waterbalansoverschot (mm)		
	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei
Bloemkool (voorjaar)	33.291	9.635	22.071	0.937	0.914	0.929	19.318	20.680	19.684
Bloemkool (najaar)	15.396	3.088	8.961	0.949	0.941	0.944	5.500	18.553	5.767
Voedermaïs	105.877	25.929	86.240	0.779	0.725	0.762	2.166	10.600	5.592
Aardappelen	68.203	15.554	37.647	0.829	0.776	0.806	12.033	16.100	12.200
Suikerbiet	67.275	4.498	34.492	0.762	0.698	0.732	10.867	23.967	13.633
Wintertarwe	0.000	0.000	0.000	0.981	0.943	0.965	56.709	215.924	95.489

4.2.4 Conclusies plantproductie

Als conclusie geeft Tabel 12 de vergelijking weer van het gesimuleerde waterbalanstekort, oogstfractie en waterbalansoverschot ten opzichte van de simulaties met historische klimaatgegevens. Een positief teken geeft aan dat de simulaties gemiddeld hoger liggen voor het klimaatveranderingsscenario dan voor de historische klimaatreeks; een negatief teken geeft weer dat de simulaties gemiddeld lager liggen voor het klimaatveranderingsscenario dan voor de historische klimaatreeks.

Voor de historische klimaatgegevens is de variabiliteit in oogstverliezen ten gevolge van de waterbalans voor de modelberekeningen van dezelfde orde grootte als de variabiliteit in opbrengstgegevens (in 100kg per hectare) van het NIS.

Tabel 12 *Vergelijking van gesimuleerde waterbalanstekort, oogstfractie en waterbalansoverschot ten opzichte van de simulaties met historische klimaatgegevens (+ is meer, - is minder)*

Gewas	Scenario	WATERBALANSTEKORT			OOGSTFRACTIE			WATERBALANSOVERSCHOT		
		Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei	Leem	Zand	Klei
Bloemkool Voorjaar	Laag	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	Midden	+	+	+	-	-	-	+	-	-
	Hoog	+	+	+	-	-	-	+	-	-
Bloemkool Najaar	Laag	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Midden	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Hoog	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Voedermais	Laag	+	+	+	+	-	-	+	-	+
	Midden	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Hoog	+	+	+	-	-	-	+	-	-
Aardappelen	Laag	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Midden	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Hoog	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Suikerbiet	Laag	+	-	+	-	-	-	+	-	-
	Midden	+	+	+	-	-	-	-	-	-
	Hoog	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Wintertarwe	Laag	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	Midden	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hoog	-	-	-	-	-	-	-	+	-

4.3 Dierlijke productie

4.3.1 Verandering in omgevingsvariabelen

Landbouwproductiedieren zijn homeotherme dieren en trachten hun diepe lichaamstemperatuur constant te houden (Praks et al., 2007). Elk homeotherm dier heeft een specifieke thermoneurale zone, een bereik van omgevingstemperaturen waarbinnen het metabolismeniveau minimaal is en onafhankelijk van de omgevingstemperatuur. De temperaturen die deze zone begrenzen, zijn de zogenaamde bovenste en onderste kritische temperatuur (Gebresenbet en Sällvik, 2006; Praks et al., 2007). Eenmaal de omgevingstemperatuur de bovenste kritische temperatuur overschrijdt, verhoogt de warmteproductie van het dier ten gevolge van een toename in de lichaamstemperatuur. Een overschrijding van de bovenste kritische temperatuur leidt dan ook tot warmtestress (of hittestress). Voor melkvee wordt aangenomen dat deze grens rond de 25 à 26 °C droge luchttemperatuur schommelt (West, 2003; Chase, 2006; Praks et al., 2007).

Om echter het thermisch comfort van een landbouwproductiedier te kunnen beschrijven, moeten naast droge luchttemperatuur ook relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid en radiatie in rekening worden gebracht. De zogenaamde Temperature Humidity Index (THI), combineert temperatuur en luchtvochtigheidsgraad, en laat toe een inschatting te maken van potentiële warmtestress (West 2003; Berman, 2005; Gebresenbet en Sällvik, 2006). De THI wordt als volgt berekend (Nienaber et al., 1999):

$$THI = 0,8 t_a + RH (t_a - 14,4) + 46,4 \quad \text{of} \quad THI = t_a + 0,36 t_{dp} + 41,2$$

waarbij t_a = droge boltemperatuur (°C), RH = relatieve luchtvochtigheid (als fractie) en t_{dp} = dauwpunttemperatuur (°C).

Voor melkkoeien is een veilige (gemiddelde) THI (d.w.z. volledige afwezigheid van stress) kleiner dan 72 en begint warmtestress op te treden vanaf hogere waarden (West 2003; Chase, 2006; Savoini en Moretti, 2006). Voor vleesvee treedt warmtestress op vanaf een THI van 72 à 75, voor varkens vanaf THI 72 à 74, en voor pluimvee vanaf THI 70 à 78 (St-Pierre et al., 2003). Eenmaal voorbij de bovenste kritische temperatuur van de thermoneurale zone kan de warmtebalans van het lichaam niet langer gehandhaafd worden door alleen de niet-evaporatieve manieren van warmteverlies (met name radiatie, conductie en convectie), maar moet het dier zijn warmte ook kwijt via een verhoogde evaporatieve weg. Aangezien een hoge vochtigheidsgraad evaporatie echter in de weg staat, geven warme en vochtige omstandigheden meer aanleiding tot warmtestress dan warme en droge omstandigheden (West, 2003; DEFRA, 2005). Naarmate de vochtigheidsgraad toeneemt zal warmtestress dan ook aanvagen bij lagere temperaturen. Omgekeerd zal een toename van de windsnelheid resulteren in een verhoging van de bovenste kritische temperatuur van de thermoneurale zone. Bij hoge luchtvochtigheid wordt dit effect van windsnelheid bovendien nog eens versterkt: een toename in de windsnelheid van 0,2 naar 1,5 m/s verhoogt de temperatuur boven dewelke warmtestress optreedt met 4 en 10 °C, bij een luchtvochtigheid van 1 en 3,4 kPa respectievelijk (voor een koe met een 3 mm dikke huid die 35 kg melk per dag produceert) (Berman, 2005).

4.3.2 Verwachte impact van warmtestress op rundvee, varkens en pluimvee

Van alle aspecten verbonden aan de klimaatverandering zou vooral de opwarming van de aarde en het daaraan verbonden risico voor warmtestress belangrijke gevolgen kunnen hebben op de dierproductie in Vlaanderen. In deze paragraaf wordt daarom aandacht besteed aan de impact van warmtestress op drie landbouwproductiedierklassen, met name rundvee, varkens en pluimvee.

Aangezien eten gepaard gaat met warmteproductie door het dier, zal onder een toestand van warmtestress de voederopname afnemen (Nienaber et al., 1999). Voor varkens onder warmtestress is er in vergelijking met controlevarkens van dezelfde ouderdom geen significant verschil in aantal maaltijden per dag, noch in de snelheid van voederopname (aantal gram voeder/minuut). Wél is de duur van een maaltijd bij varkens onder warmtestress beduidend korter. Voor rundvee is de verminderde dagelijkse voederopname als gevolg van hogere omgevingstemperatuur toe te schrijven

aan kleinere maaltijdporties. Het aantal geconsumeerde maaltijden per dag neemt anderzijds toe (Nienaber en Hahn, 2004). Bij lacterende koeien begint de voederopname af te nemen vanaf omgevingstemperaturen van 25 à 26 °C, met een snelle daling bij temperaturen boven de 30 °C. Bij 40 °C kan de afname in voederopname 40% bedragen, waarbij effecten van windsnelheid en luchtvochtigheid niet in rekening werden gebracht (Praks et al., 2007). Net als bij varkens en rundvee, is er ook bij pluimvee een verminderde voederopname onder warmtestress-condities (Wolfenson et al., 2001; DEFRA, 2005). Bij de drie genoemde landbouwproductiedierklassen zal er bij hogere temperaturen eveneens een toename zijn van het waterverbruik. Voor een koe van 700 kg met een melkproductie van 35 l en een normaal waterverbruik van 95 tot 125 l water per dag bijvoorbeeld, zal het waterverbruik bij ernstige stress oplopen tot 165 à 195 l water per dag (Luijmes, 2007).

De belangrijkste implicaties van de verminderde voederopname als gevolg van warmtestress situeren zich op het vlak van productie. Het meest voor de hand liggende voorbeeld is hier de afname in melkproductie bij melkvee. Deze afname kan variëren van 10 tot meer dan 25% (Chase, 2006) en is functie van de THI via volgende vergelijking (Nienaber en Hahn, 2004; Gebresenbet en Sällvik, 2006):

$$M_{\text{dec}} = 1,075 - 1,7436 \text{ NL} + 0,02474 \text{ NL} \times \text{THI}$$

waarbij M_{dec} = afname in dagelijkse melkopbrengst (kg/dag), NL = normaal niveau melkproductie onder thermoneutrale condities (kg/dag) en THI = temperature humidity index (gemiddelde dagwaarde).

Volgens onderzoek van Ravagnolo et al. (2000) neemt de melkproductie af met 0,2 kg per eenheid toename in THI voor een THI groter dan (of gelijk aan) 72, waarbij in het onderzoek het effect van de windsnelheid niet in rekening werd gebracht. De verminderde melkproductie onder condities van warmtestress is niet alleen het gevolg van een reductie in voeropname, maar is ook toe te schrijven aan gewijzigd gedrag: bij warmtestress zullen koeien minder liggen, waardoor er minder bloed naar de uier stroomt, hetgeen ten koste gaat van de melkproductie (Luijmes, 2007). Bij een liggende koe treedt warmtestress immers op bij lagere omgevingstemperaturen in vergelijking met een staande koe die makkelijker haar warmte kwijt kan (meer onbeschutte oppervlakte voor warmte-uitwisseling) en bijgevolg minder warmtestress-gevoelig is (Berman, 2005; Luijmes, 2007). Naast een vermindering van de hoeveelheid melk (een kwantiteitseffect), heeft warmtestress ook een effect op de melkkwaliteit: warmtestress leidt tot een afname van het gehalte aan vet en proteïnen in de melk (Savoini en Moretti, 2006; Praks et al., 2007). Opnieuw volgens Ravagnolo et al. (2000) nemen voor een THI groter dan 72 het vetgehalte en eiwitgehalte af met respectievelijk 0,012 en 0,009 kg per eenheid toename in THI. Een verandering in vet- en eiwitgehalte onder invloed van warmtestress wordt ook geobserveerd voor de karkassamenstelling bij varkens: bij een temperatuur van 30 °C is het eiwitgehalte maximaal en het vetgehalte minimaal; bij 15 °C doet zich echter de omgekeerde situatie voor (Nienaber en Hahn, 2004). Verder zal warmtestress ook een effect hebben op de groei: verschillende studies uitgevoerd bij varkens tonen een duidelijke afname in de gemiddelde dagelijkse gewichtstoename naarmate de omgevingstemperatuur toeneemt. Deze studies werden elk uitgevoerd op een relatief korte-termijn-basis (1 à 2 weken) en zijn dus representatief voor reactie op acute stress.

Langere-termijn-studies (4 tot 10 weken) bij varkens daarentegen, ter simulatie van blootstelling aan chronische warmtestress, geven een enigszins contradictoer beeld, aangezien deze geen significante verschillen tonen in groeisnelheid over een breed bereik van temperaturen. (Nienaber et al., 1999; Nienaber en Hahn, 2004). Onderzoek bij vlees(rund)vee wijst op een kleinere gemiddelde dagelijkse gewichtstoename voor dieren blootgesteld aan langdurige warmtestress in vergelijking met controledieren. Laatstgenoemden bereiken dan ook sneller hun streefgewicht (Mitlöhner et al., 2001). Vleeskippen opgekweekt bij hoge temperaturen (= langdurige warmtestress!) hebben een lager lichaamsgewicht dan vleeskippen grootgebracht onder de optimumtemperatuur. Het effect van warmtestress is bovendien meer uitgesproken bij kippen met een hoog groeipotentieel dan bij trager groeiende kippen. Snelgroeiende kippen produceren immers meer warmte, waardoor ze het bij hoge temperaturen moeilijker hebben om het teveel aan warmte kwijt te raken (Yalcin et al., 2001). Bij leghennen leidt warmtestress tot een afname in eigewicht en eischaaldikte, evenals een afname in eiproductie (Wolfenson et al., 2001; St-Pierre et al., 2003). Zodoende heeft warmtestress naast een effect op productie ook een effect op reproductie. Een afname in reproductieve performantie als gevolg van warmtestress wordt eveneens waargenomen bij rundvee en varkens. Voor melkvee werden tal van veranderingen in reproductieve performantie beschreven, waarbij de effecten op reproductie lange tijd kunnen aanhouden en het dier kunnen beïnvloeden tot maanden na de blootstelling aan warmtestress. Zulke effecten omvatten onder meer: afname van duur en intensiteit van de oestrusperiode; afname van de bevruchtingssnelheid; afname van groei, ontwikkeling en

grootte van de follikels; verhoogd risico op vroegtijdige sterfte van het embryo; afname van foetusgroei en grootte van het kalfje (Chase, 2006). Bij varkens zal warmtestress net als bij rundvee de fertiliteit van zowel de beren als zeugen negatief beïnvloeden (St-Pierre et al., 2003). Zo kunnen temperatuursextremen bij de beren leiden tot een tijdelijke infertiliteit en beïnvloeding van hun bereidheid en bekwaamheid tot paren (DEFRA, 2003).

Wanneer de temperaturen te hoog oplopen (en zeker wanneer in combinatie met een hoge luchtvochtigheid), kan het dier uiteindelijk bezwijken aan de gevolgen van warmtestress. Bij varkens bijvoorbeeld wordt mortaliteit geobserveerd vanaf een rectale temperatuur van 41.6 °C (Gregory, 2004). Kippen hebben een lichaamstemperatuur die hoger is dan deze van de meeste zoogdieren, waardoor ze overeenkomstig ook hogere temperaturen tolereren (Gregory, 2004). Zo bedraagt de normale lichaamstemperatuur van vleeskippen circa 41 °C en zal sterfte pas optreden vanaf 45 °C (DEFRA, 2005). Ook voor rundvee tenslotte is er een verhoogde mortaliteit tijdens periodes van warmtestress, hoewel er in de literatuur hieromtrent geen eenduidige kritische temperatuursgrenzen worden aangehaald.

4.3.3 Groeisimulatie voor vleesvarkens

4.3.3.1 Invoervariabelen

Uitgaande van de stochastisch gegenereerde gemiddelde temperatuurreksen op dagbasis telkens voor een laag, midden en hoog scenario (zie sectie plantproductie), werden bijhorende minimale en maximale dagtemperaturen gesimuleerd. Op de historische reeksen werd de verdeling van de temperatuurbereiken aan percentielintervallen van gemiddelde temperaturen toegekend. Daarna werden ze op een stochastische wijze toegekend aan de gegenereerde gemiddelde temperatuurreksen.

De productieverliezen werden berekend voor de gemiddelde en maximale temperaturen voor het scenario met de hoogst verwachte temperatuurstijging. Hierbij werd uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

gezien naast de droge luchttemperatuur geen informatie bekend is over windsnelheid, luchtvochtigheid en radiatie wordt als hoge kritische droge luchttemperatuur 30°C genomen;

om onderschatting te vermijden wordt er verondersteld dat de gegeven temperatuurwaarden per dag 24 uren duren;

per jaar wordt het percentage dagen berekend waarbij de droge luchttemperatuur hoger is dan 30°C;

dit percentage wordt vermenigvuldigd met het maximale productieverlies dat in de literatuur gerapporteerd werd voor genoemde diersoorten in geval de hoge kritische temperatuur overschreden wordt, eens te meer om onderschatting van het effect te vermijden (de voorwaarden van berekening zijn zo gekozen, dat er wellicht overschatting is van het effect, maar er zijn te veel ontbrekende gegevens om uitsluitel te kunnen geven.)

4.3.3.2 Groeimodel

Een schatting van de productieverliezen op jaarbasis werd gemaakt, hetzij op dier- of op populatieniveau. De uitgangspunten van de berekening zijn:

1) Een droge luchttemperatuur hoger dan 30°C geeft problemen inzake welzijn en productie, voor zover er geen ingrepen zouden zijn om dat tegen te gaan, en rekening houdend met het feit dat er geen gegevens zijn omtrent luchtsnelheid en -vochtigheid, die samen de gevoels- of effectieve temperatuur bepalen. De afkapwaarde van 30°C is uiteraard een statisch gegeven m.b.t. ja-nee, terwijl de realiteit dynamisch is gezien het verband tussen temperatuur en productieniveau curvilineair is.

2) De berekening is gemaakt voor enerzijds de hoogste maximale temperatuur en anderzijds de gemiddelde maximale temperatuur, omdat er voor de laagste temperaturen geen problemen verwacht worden, gezien de adaptatiecapaciteit van onze landbouwhuisdieren (pluimvee, runderen, schapen, varkens) sterker is t.a.v. koude dan t.a.v. warmte.

3) De tijdsduur dat een afwijking duurt is ook van belang, maar deze informatie is ook niet in de tabel aanwezig, zodat in de berekening er vanuit gegaan is dat een dergelijke temperatuur de ganse dag heeft geduurd, wat dus ook een veiligheidsmarge geeft. In kolom B staat dus het %tijd op jaarbasis dat de betreffende temperatuur hoger is geweest dan 30°C.

4.3.3.3 Simulatieresultaten en bespreking

Een berekening werd gemaakt van de productieverliezen per jaartal, hetzij op dier- of op populatieniveau.

Tabel 13 Productieverliezen in percentage op basis van de maximumtemperatuur

Jaar	% van dagen >30°C	kip	rund	schaap	varken
2066	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2067	3	0.75	1.95	2.10	1.50
2068	2	0.50	1.30	1.40	1.00
2069	2	0.50	1.30	1.40	1.00
2070	3	0.75	1.95	2.10	1.50
2071	4	1.00	2.60	2.80	2.00
2072	8	2.00	5.20	5.60	4.00
2073	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2074	4	1.00	2.60	2.80	2.00
2075	5	1.25	3.25	3.50	2.50
2076	5	1.25	3.25	3.50	2.50
2077	5	1.25	3.25	3.50	2.50
2078	2	0.50	1.30	1.40	1.00
2079	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2080	7	1.75	4.55	4.90	3.50
2081	6	1.50	3.90	4.20	3.00
2082	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2083	3	0.75	1.95	2.10	1.50
2084	11	2.75	7.15	7.70	5.50
2085	11	2.75	7.15	7.70	5.50
2086	4	1.00	2.60	2.80	2.00
2087	8	2.00	5.20	5.60	4.00
2088	5	1.25	3.25	3.50	2.50
2089	10	2.50	6.50	7.00	5.00
2090	4	1.00	2.60	2.80	2.00
2091	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2092	5	1.25	3.25	3.50	2.50
2093	13	3.25	8.45	9.10	6.50
2094	9	2.25	5.85	6.30	4.50
2095	10	2.50	6.50	7.00	5.00

Tabel 14 *Productieverliezen in percentage op basis van de gemiddelde temperatuur*

Jaar	%>30°C	kip	rund	schaap	varken
2066	6	1.50	2.10	4.20	3.00
2067	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2068	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2069	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2070	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2071	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2072	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2073	3	0.75	1.05	2.10	1.50
2074	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2075	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2076	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2077	3	0.75	1.05	2.10	1.50
2078	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2079	3	0.75	1.05	2.10	1.50
2080	3	0.75	1.05	2.10	1.50
2081	4	1.00	1.40	2.80	2.00
2082	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2083	1	0.25	0.35	0.70	0.50
2084	5	1.25	1.75	3.50	2.50
2085	5	1.25	1.75	3.50	2.50
2086	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2087	4	1.00	1.40	2.80	2.00
2088	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2089	4	1.00	1.40	2.80	2.00
2090	2	0.50	0.70	1.40	1.00
2091	5	1.25	1.75	3.50	2.50
2092	3	0.75	1.05	2.10	1.50
2093	5	1.25	1.75	3.50	2.50
2094	4	1.00	1.40	2.80	2.00
2095	5	1.25	1.75	3.50	2.50

Uit Tabel 13 en Tabel 14 blijkt, dat de berekende productieverliezen (groei, melk, eieren) eerder beperkt kunnen genoemd worden. Er kunnen maatregelen genomen worden om deze in belangrijke mate te verminderen (zie volgend hoofdstuk). Bovendien moet er rekening gehouden worden met het adaptatievermogen van de dieren zelf, gezien klimaatwijzigingen geleidelijk optreden, en dus in bepaalde mate fysiologische aanpassingen toelaten. Ook in selectieprogramma's kan men met dit aanpassingsvermogen rekening houden vanuit een lange termijnperspectief.

Er is voldoende wetenschappelijke kennis voorhanden om te mogen veronderstellen, dat in geval van zeer geleidelijke klimaatveranderingen de dieren over een ruime aanpassingscapaciteit beschikken. Zelfs voor deze acute veranderingen zijn de berekeningsvoorwaarden zeer ruim genomen, zoals hoger uitgelegd. In geval het klimaat effect zou hebben op de voedergewasproductie, dan zal dat

kostprijsbepalend zijn, maar dat valt buiten de fysiologisch gestuurde aanpassingen. Minder voeropname zal minder uitstoot van methaan en stikstof tot gevolg hebben.

4.3.4 Impact op dierziekten

Eén van de mogelijke gevolgen van de klimaatverandering voor de dierproductie in Vlaanderen situeert zich op diergeneeskundig vlak. Toenemende omgevingstemperaturen in combinatie met een gewijzigd neerslagpatroon kunnen immers leiden tot mogelijke uitbraken van exotische dierziekten op Vlaamse bodem. Een sprekend voorbeeld in dat verband is de blauwtongziekte die hier als casestudy zal worden uitgediept.

Blauwtong is een infectieuze, doch niet-besmettelijke virale ziekte bij herkauwers, waaronder schapen, geiten en rundvee. Vooral schapen hebben te lijden onder de ziekte. Bij rundvee, hoewel frequenter geïnfecteerd door het blauwtongvirus dan schapen, vertoont de ziekte niet altijd uiterlijke tekenen (ziekte komt voor onder de asymptomatische vorm). Runderen zijn echter het belangrijkste reservoir van het blauwtongvirus en zijn uitermate belangrijk voor de ziekte-epidemiologie (DEFRA, 2002; Purse et al., 2005; DEFRA, 2007 a & b; Sossidou en Driessen, 2007). De virusoverdracht tussen herkauwers gebeurt bijna uitsluitend via de beten van bepaalde species muggen van het *Culicoides*-geslacht. Een rechtstreekse overdracht van het virus tussen herkauwers onderling is evenwel niet mogelijk, hoewel de mogelijkheid van mechanische virusoverdracht tussen kuddes onderling en binnenin kuddes niet kan worden uitgesloten (o.a. door het gebruik van dezelfde naald bij een besmet dier en vervolgens bij een niet-besmet dier, bijvoorbeeld bij vaccinatie of bloedname van dieren) (DEFRA, 2007 a & b; FAVV, 2007).

Blauwtong werd voor het eerst beschreven in Zuid-Afrika en is nadien vastgesteld in de meeste landen van de tropen en subtropen (DEFRA, 2007 a). Het blauwtongvirus werd traditioneel aangetroffen tussen de 40ste noorderbreedtegraad en de 35ste zuiderbreedtegraad, doch werd in 2006 reeds gesignaleerd op 53 graden noorderbreedte (IAH, 2006). Vóór 1998 kwam het blauwtongvirus slechts af en toe kortstondig voor in Zuid-Europa, met de mug *Culicoides imicola* Kieffer als enige vector betrokken bij de overdracht van het virus (Purse et al., 2005; Purse et al., 2007). Sinds 1998 echter, hebben 6 verschillende stammen van het blauwtongvirus zich in Europa verspreid doorheen 12 landen en tot 800 km meer noordwaarts dan voorheen ooit beschreven (Purse et al., 2005). Augustus 2006 luidde het begin in van een eerste epidemische uitbraak van het serotype 8-blauwtongvirus. Nederland, België, Luxemburg, het westen van Duitsland en het noordoosten van Frankrijk werden hierbij getroffen (Enserink, 2006; DEFRA, 2007 b; Sossidou en Driessen, 2007). In 2007 deed zich in deze landen een nieuwe uitbraak voor van blauwtong-serotype 8 (DEFRA, 2007 a). Opmerkelijk is het feit dat bij deze uitbraken van blauwtong-serotype 8 ook runderen duidelijke ziektesymptomen vertonen, waarbij sommige runderen uiteindelijk aan de ziekte bezwijken (Enserink, 2006; IAH, 2006; DEFRA, 2007b).

Purse et al. (2005) suggereerden een verband tussen de uitbraken van blauwtong in Europa en de klimaatverandering. Een bewijs lag volgens hen in het feit dat zowel het blauwtongvirus als *Culicoides imicola* in de negentiger jaren hun verspreidingsgebied uitbreidden naar die locaties die in die periode de grootste opwarming kenden, iets wat niet werd vastgesteld in gebieden waar de temperatuur ongewijzigd bleef of waar de temperatuur zelfs afnam. De uitbraken van blauwtong waarmee Europa sinds 1998 te kampen heeft zouden, tot op zekere hoogte althans, een reflectie kunnen zijn van het effect van de klimaatverandering op de verspreiding van *Culicoides imicola*, waarvan het verspreidingsgebied is uitgebreid in noordelijke en westelijke richting (Mertens en Mellor, 2003). Het optreden van blauwtong in gebieden waar *Culicoides imicola* minder voorkomt of zelfs geheel afwezig is (d.w.z. buiten het eigenlijke verspreidingsgebied van *C. imicola*), suggereert bovendien de betrokkenheid van nieuwe vectorspecies. Heel wat locaties in Centraal- en Oost-Europa die door de huidige blauwtongepidemie werden getroffen, liggen immers ten noorden van de voorspelde distributielimiet van *C. imicola*. Twee wijdverbreide en veelvoorkomende *Culicoides*-species in Centraal- en Noord-Europa, met name *C. obsoletus* en *C. pulicaris*, werden verantwoordelijk geacht voor de overdracht van het blauwtongvirus op deze locaties. Enerzijds omdat hun distributie nauw gecorreleerd is met blauwtonguitbraken aldaar, anderzijds omdat men het blauwtongvirus heeft kunnen isoleren uit vertegenwoordigers van beide species. Studies uit het verleden maakten duidelijk dat de vectorcompetentie (d.w.z. het vermogen tot virusontwikkeling in de vector en virusoverdracht door de vector) van de *C. obsoletus*- en *C. pulicaris*-species voorheen eerder laag was. De hogere omgevingstemperaturen tengevolge van de klimaatverandering kunnen echter het belang van beide species in Europa hebben doen toenemen via een toename van hun populatiegroottes (groter aantal generaties per jaar) en overlevingskansen (hogere graad van overwintering), hetgeen het lagere

competentieniveau compenseert. Vermoedelijk heeft de expansie van het verspreidingsgebied van *C. imicola* onder invloed van de gestegen temperaturen er bovendien voor gezorgd dat het blauwtongvirus frequenter tot in de meer noordelijk gesitueerde verspreidingsgebieden van de *C. obsoletus*- en *C. pulicaris*-species is geraakt, waardoor laatstgenoemden een gedaante als vector hebben aangenomen (DEFRA, 2002; Mertens en Mellor, 2003; Purse et al., 2005; Purse et al., 2007).

Een toename in omgevingstemperatuur heeft verder nog een aantal andere effecten op de *Culicoides*-species. Zo zal in het temperatuursbereik geschikt voor de ontwikkeling van Orbivirussen (het virusgeslacht waartoe het blauwtongvirus behoort), de vectorcompetentie van de *Culicoides*-species (voor sommige serotypes althans) lineair toenemen met de temperatuur (DEFRA, 2002). Een ander effect van hoge temperatuur is de afname van bepaalde barrière-mechanismen in de *Culicoides*-species die virusoverdracht verhinderen/bemoeilijken (DEFRA, 2002; Purse et al., 2005).

Temperatuur heeft naast effecten op de vector ook een invloed op het virus zelf. Meer bepaald is de snelheid van virogenese temperatuursafhankelijk. Bij hogere temperaturen neemt de snelheid van virusreproductie toe, wat leidt tot een afname in de duur van de zogenaamde extrinsieke incubatieperiode (= de ontwikkelingstijd van het virus in de vector). Een kortere extrinsieke incubatieperiode verhoogt de kans op virusoverdracht (DEFRA, 2002; Purse et al., 2005).

Naast de betrokkenheid van de klimaatverandering bij de verspreiding van het blauwtongvirus en de bijhorende vectoren doorheen Europa, zou men kunnen vermoeden dat ook het transport van herkauwers mogelijk een bijdrage heeft geleverd aan deze verspreiding. In de geraadpleegde literatuur werd deze hypothese echter nergens uitdrukkelijk geformuleerd, op één document van het FAVV na dat stelt dat "het transport van dieren één van de mogelijke manieren is, waarop het blauwtongvirus vanuit de warme gebieden rond de Middellandse Zee tot bij ons kan raken" (FAVV, 2007). Wél wordt transport van geïnfecteerd vee via bepaalde handelsroutes in de literatuur aanzien als een belangrijk element waardoor blauwtong ooit vanuit Afrika en Azië in Zuid-Europa is verzeild geraakt. Een ander element dat hiervoor verantwoordelijk wordt geacht, is de (passieve) verspreiding van geïnfecteerde *Culicoides*-muggen via de wind (Mertens en Mellor, 2003; Purse et al., 2005). Deze windgedreven vectorspreiding zou ook vandaag, bij de huidige expansie van blauwtong in Europa, een rol spelen (DEFRA 2007b; FAVV, 2007).

4.4 Landbouw en de ruimere omgeving

4.4.1 Omschrijving van de diensten van de landbouw

Het deel landbouw en ruimere omgeving is opgevat in het ruimere denkkader van agro-ecosystemen en de verschillende diensten die deze systemen bieden aan de maatschappij. In deze sectie worden vier categorieën van diensten omschreven, die analoog zijn aan de ruime categorieën toegepast op ecosystemen (Millenium Ecosystem Assessment). Deze vier categorieën sluiten elkaar niet uit en kunnen gelijktijdig ruimtelijk worden gerealiseerd op één landbouwbedrijf.

4.4.1.1 Productieve diensten

Agro-ecosystemen hebben van oudsher als voornaamste taak het voortbrengen van voedsel voor menselijke consumptie via plantaardige en dierlijke productie. Dierproductie vereist een input van voeder, hetgeen eveneens op de landbouwkakkers wordt voortgebracht (bijvoorbeeld maïs en gras voor inkuilen). Verder worden agrarische ecosystemen aangewend voor de voorziening in vezels via de productie van gewassen als katoen en vlas en via het houden van o.a. schapen en geiten voor de wol die ze leveren. Ten slotte dienen sommige verbouwde landbouwgewassen of gedomesticeerde landbouwhuisdieren (als dusdanig of enkel hun genen) als input voor bijvoorbeeld de farmaceutische en fytofarmaceutische industrie, de cosmetica-industrie, enzovoort.

Aan de van oudsher gedefinieerde diensten van de landbouw werden de laatste decennia productieve diensten toegevoegd die te maken hebben met het milieu en alternatieve energievoorziening. Voorbeelden van (nieuwe) productieve diensten die niet behoren tot de klassieke agrarische productie zijn watervang (water harvest) waarbij moet voldaan worden aan strenge normen inzake nutriëntengebruik, windvang (wind harvest) d.m.v. windturbines op landbouwland en biomassa-productie voor biobrandstof. In wezen is biobrandstofproductie wel degelijk een klassiek landbouwproductiegegeven, weliswaar onder een heel andere vorm dan de biobrandstofproductie zoals we die vandaag kennen. Klassiek zorgden bijvoorbeeld typische 'bocagelandschappen', gekenmerkt door een dicht netwerk van houtkanten, voor klein hout als (bio)brandstof voor kachels, broodovens, enz.

4.4.1.2 Ondersteunende diensten

Agrarische ecosystemen vervullen ondersteunende diensten, waaronder de betrokkenheid in biodiversiteit, bodemkwaliteit en waterkwaliteit.

Ten aanzien van wilde biodiversiteit kan een agro-ecosysteem diensten leveren door het behoud van bestaande en het aanleggen en onderhouden van kleine landschapselementen die waardevol zijn vanuit ecologisch standpunt zoals bijvoorbeeld akkerranden, grasstroken, hagen en heggen, houtwallen (cfr. beheersovereenkomsten VLM; voor een vrij uitvoerige bespreking van deze elementen en hun ecologisch belang, zie Hermy en De Blust, 1997). Goed beheerde agro-ecosystemen kunnen ook een hoge biodiversiteit waarborgen.

Agro-ecosystemen spelen een belangrijke rol in het ondersteunen van bodemkwaliteit. Bij goed beheer kan de multi-functionele rol van de bodem ondersteund worden. Bodembedreigingen zoals erosie, daling van het organisch stofgehalte, vermisting, verzuring en verdichting kunnen worden gelimiteerd of zelfs geëlimineerd.

Water is een belangrijke productiefactor omdat het vereist is voor zowel de plantaardige als de dierlijke productie. Agro-ecosystemen leveren diensten gerelateerd aan water, vooral ten aanzien van een goede waterkwaliteit door het gebruik van nutriënten en pesticiden te limiteren en door de uitspoeling ervan naar grond- en oppervlaktewater te beperken.

4.4.1.3 Regulerende diensten

Agro-ecosystemen hebben een regulerende invloed op het klimaat, voornamelijk via het optreden als bron (source) en put (sink) voor broeikasgassen, maar ook door bijvoorbeeld het wijzigen van regionale neerslagpatronen via evapotranspiratie. Agro-ecosystemen zijn een bron voor methaan (CH₄) (herkauwers en rijstvelden) en distikstofoxide (N₂O) (voornamelijk bemesting): ongeveer 30%

van de CH₄-emissies en 35% van de N₂O-emissies zijn afkomstig uit de landbouw in de wereld (in Vlaanderen is dit resp. 74% en 36%). Ook voor wat betreft koolstofdioxide (CO₂) zijn agro-ecosystemen een bron van emissies. Door het feit dat in agro-ecosystemen meestal éénjarige teelten worden verbouwd is er er van sequestratie in de biomassa geen sprake en ook sequestratie in de producten is zeer gering, aangezien voedsel een snelle turnover heeft. Sequestratie in de bodem is variabel maar moderne landbouwtechnieken hebben in de laatste decennia meer een source dan een sink betekend (Letpens et al., 2005). Wanneer men dan de broeikasgasemissies van het gehele productieproces mee in rekening brengt (cfr. tractorbewegingen, productie van meststoffen en pesticiden, transport, enz.), zal blijken dat agro-ecosystemen een aanzienlijke CO₂-emissiebron zijn. Met de landbouw in de tropen is het nog erger gesteld omdat deze vaak op recent ontbost terrein plaatsvindt. Indien het om een moerasbos ging met een dikke veenlaag zijn er emissies voor jaren ver. Daarom is Indonesië de derde grootste broeikasgasproducent ter wereld na de V.S. en China. Door echter allerlei technieken van duurzame landbouw toe te passen, kan de negatieve broeikasgasbalans sterk verbeterd worden.

Agro-ecosystemen beïnvloeden nutriëntenstromen en nutriëntenconcentraties via een aantal complexe processen. De productie van voedsel in een agro-ecosysteem leidt tot een accumulatie van stikstof (N) in de bodem door het aanwenden van N-meststoffen, het toedienen van dierlijke mest, atmosferische N-depositie en biologische N-fixatie. Ook het gebruik van fosfor (P) in de landbouw leidt tot een accumulatie van dit nutriënt in de bodem.

Agro-ecosystemen hebben een belangrijke regulerende rol in het bufferen van afvoer en het controleren van sedimenttransport naar de oppervlaktewateren. Grasstroken en andere kleine landschapselementen zijn nuttig om waterkwantiteitsproblemen op te vangen en om sediment-, nutriënt- en pesticidenafvoer naar waterlopen te verminderen. Op deze wijze wordt pollutie van het oppervlaktewater vermeden.

4.4.1.4 Culturele diensten

Landbouwsystemen verschaffen verschillende culturele diensten. Deze diensten zijn impliciet – als een passieve bijdrage – als ze door de maatschappij als meerwaarden worden gepercipieerd zonder dat de landbouwsector er doelgericht inspanningen voor levert, bijvoorbeeld de landschappelijke waarde van boomgaarden, grazende dieren, stilte, een historische boerderij of de publiek toegankelijke landwegen. Ze zijn expliciet indien de landbouw actief inzet, wat gewoonlijk als “verbreding” wordt omschreven. Hoeverecreatie en zorgboerderijen zijn hier gekende voorbeelden van. Diverse structuren van de landbouwsystemen dragen meer bij tot deze diensten dan andere. Veel van deze structuren behoren ruimtelijk en functioneel tot de zogenaamde “tarra”, die onderdelen van het landbouwareaal die niet direct tot de eigenlijke bioproductie bijdragen, zoals perceelsranden, sloten, landbouwwegen en elementen van hoeveverfraaiing. In sommige gevallen worden deze diensten economisch zo belangrijk dat de vraag kan gesteld worden bij welke proportie van klassieke versus verbredende functies een landbouwsysteem ophoudt een landbouwsysteem te zijn. Samengevat kunnen de culturele diensten benoemd worden als “landschappelijke kwaliteit”, “recreatie en toerisme” en “zorg”.

4.4.2 Verwachte impact van klimaatverandering op de diensten

De “ruimere omgeving” kan beschouwd worden als een klimaatregelende factor of een klimaatvolgende factor. Voorbeelden van een klimaatregelende factor zijn hydrologische inrichtingsstructuren en vegetatiestructuren die klimaatverandering temperen. Voorbeelden van klimaatvolgende factoren zijn onder meer het (tijdelijk) uit productie nemen van kwetsbare landbouwgronden en het inzetten op biomassa-productie op geschikte gronden.

Voor elk van de hierboven beschreven diensten werd de invloed van de klimaatverandering nagegaan. Hiervoor maakte het onderzoeksteam gebruik van een matrix (Tabel 15). We beschouwen hierbij enkel de mogelijke impacten en verwachtingen, en houden daarbij geen rekening met de regulerende werking van de milieuriichtlijnen en het normeringsbeleid.

Tabel 15 Overzicht van de impact van klimaatverandering op de diensten

Diensten	Indicatieve impact klimaatverandering op dienst
<i>Productieve diensten:</i>	
<i>Plantaardige productie vollegrond</i>	<p><i>Langere groeiperiode</i></p> <p><i>Grotere Radiatiegebruiksefficiëntie Radiation Use Efficiency bij gelijke nutriëntenbeschikbaarheid t.g.v. verhoogde CO₂-beschikbaarheid</i></p> <p><i>Grotere vraag naar beregening</i></p> <p><i>Meer fysieke schade aan gewas door weersextremen (stortregen, hagel, ...)</i></p> <p><i>Nieuwe ziekten en plagen</i></p>
<i>Plantaardige productie onder glas</i>	<p><i>Langere groeiperiode; lagere energiebehoefte voor verwarming</i></p> <p><i>Minder CO₂-bemesting nodig</i></p> <p><i>Meer beregening nodig</i></p> <p><i>Groter risico op glasbraak bij extremer weer</i></p>
<i>Dierlijke productie o.b.v. graassystemen (grondgebonden)</i>	<p><i>Langere groeiperiode van gras en voedergewassen</i></p> <p><i>Grotere Radiatiegebruiksefficiëntie t.g.v. verhoogde CO₂-beschikbaarheid</i></p> <p><i>Grotere kans op droogtestress</i></p>
<i>Dierlijke productie (grondloos)</i>	<p><i>Lagere energiebehoefte voor verwarming; grotere energiebehoefte voor koeling</i></p>
<i>Biomassaproductie (biobrandstof)</i>	<p><i>Langere groeiperiode</i></p> <p><i>Grotere stralingsgebruiksefficiëntie (radiation use efficiency) bij gelijke nutriëntenbeschikbaarheid t.g.v. verhoogde CO₂-beschikbaarheid</i></p> <p><i>Grotere kans op droogtestress</i></p> <p><i>Negatief effect van stijgende temperatuur en droogteperiode</i></p>
<i>Windvang (windturbines op landbouwgrond)</i>	<p><i>Grotere productiecapaciteit o.w.v. toename in kinetische energie</i></p> <p><i>Groter gevaar op fysieke schade</i></p>
<i>Wateropslag (in grond- en oppervlaktewater, eventueel reservoirs)</i>	<p><i>Grotere aanvulling t.g.v. groter neerslagsurplus in de wintermaanden?</i></p> <p><i>Grotere uitputting in het groeiseizoen.</i></p>
<i>Ondersteunende diensten:</i>	
<i>Biodiversiteit in agrarische context</i>	<i>Negatief effect op wilde biodiversiteit</i>

<i>(binnen en buiten percelen/kassen in akkerbouw, tuinbouw, grasland)</i>	<i>omdat de snelheid van extinctie de migratiesnelheid overstijgt</i> <i>Opportuniteiten voor verhoogde agrarische biodiversiteit; nieuwe rassen, soorten en cultivars vs. mindere performantie van traditionele rassen</i>
<i>Bodemkwaliteit</i> <i>Fysische (erosie, verdichting)</i> <i>Chemische (bufferend, fertiliteit)</i>	<i>Versnelde fysische bodemdegradatie t.g.v. de grotere erosiviteit van het klimaat</i> <i>Verhoogde afbraak van bodemorganische stof t.g.v. hogere bodemtemperaturen, mogelijk getemperd door toegenomen droogteperiodes en door verhoogde C/N verhouding van het detritus</i>
<i>Waterkwaliteit en -kwantiteit</i>	<i>Grotere pollutie van oppervlakte- en grondwater t.g.v. uit- en afspoelingsverliezen van nutriënten en pesticiden te wijten aan de grotere erosiviteit van het klimaat</i> <i>Groeiende behoefte aan waterrecyclage op alle schaalniveau's (micro tot regionaal)</i> <i>Grotere druk op kwantiteit van oppervlakte- en grondwater wegens grotere vraag naar water in acute droogteperiodes</i>
<i>Bestrijding van ziekten en plagen</i>	<i>Grotere druk op emissie naar omgeving van pesticiden en meststoffen bij extremere weersomstandigheden</i>
<i>Regulerende diensten:</i> <i>Klimaat (C-vastlegging)</i>	<i>Grotere C-vastlegging t.g.v. sneller en langer groeiende gewassen</i> <i>Grotere afbraak van organische stof in de bodem t.g.v. warmer bodemklimaat, mogelijks getemperd door hogere C/N verhouding van het detritus</i>
<i>Hydrologie (bufferen van afvoer en erosie)</i>	<i>Bezwarende waterregelende maatregelen op landbouwgrond betekent netto-reductie van landbouwareaal</i>
<i>Nutriëntencyclus</i>	<i>Warmer bodemklimaat leidt tot intensivering van de meeste cycli met als gevolg grotere emissie</i>
<i>Culturele diensten:</i> <i>Agro-toerisme & recreatie</i>	<i>Grotere zekerheid voor droog weer in de</i>

	<p><i>zomer kan aantrekkingskracht verhogen</i></p> <p><i>Langere 'groene' periode kan aantrekkingskracht verhogen</i></p> <p><i>Verhoogde investeringen in accommodatie die aan nieuwe klimaatomstandigheden zijn aangepast (koeling, ...)</i></p>
<i>Landschappelijke kwaliteit</i>	<p><i>Diverse adaptatiemaatregelen luiden nieuwe transformaties in, naargelang de regio verdere nivellering of integendeel grotere structurele diversificatie in de open ruimte</i></p>
<i>Zorg</i>	<p><i>afhankelijk van de mate waarin de agrarische sector door impacten op de kerntaken capaciteiten ontwikkelt of eerder verliest om extra maatschappelijke taken op zich te nemen; in een B2 scenario bijvoorbeeld, zullen de kansen voor deze functie waarschijnlijk toenemen, omwille van een sterkere verankering van landbouw en maatschappij, eerder dan in een A1 scenario</i></p>

4.4.3 Emissiescenario's en diensten

In deze sectie worden de vier grote emissiescenario's (A1, A2, B1 en B2) gekoppeld aan de diensten. De vraag wordt hierbij gesteld in welke mate de klimaatverandering een impact heeft op de diensten onder de emissiescenario's A1, A2, B1 en B2.

Een groot struikelblok is dat de bij de emissiescenario's horende verhaallijnen voor Vlaanderen, en meer specifiek de verhaallijnen voor de landbouw in Vlaanderen, nog niet opgesteld zijn (zie hoofdstuk 3). Hiervoor doen we een beroep op de verhaallijnen opgesteld door de VLM voor het Vlaamse Platteland en de verhaallijnen opgesteld door Eururalis voor Europa en het Gemeenschappelijk landbouwbeleid.

De beschouwde scenario's en verhaallijnen zijn:

A1 (mondiale economie) - Parkdomein Platteland:

- Verregaande verstedelijking, weinig grondgebondengrondgebonden landbouw, agro-industrie is dominant, geen gemeenschappelijk landbouwbeleid

A2 (continentale/regionale markten) – Minerva

- Landbouw wordt vermarkt dmv streekproducten en labels, toenemende druk op open ruimte, landbouwers zijn plattelandsondememers

B1 (mondiale samenwerking) – Implosiegevaar

- Afschaffing van subsidies en marginalisering van de klassieke landbouw, productie voor lokale markten, specialisatie in producten met hoge toegevoegde waarde, weinig glastuinbouw owv hoge energieprijzen

B2 (regionale gemeenschappen) - Koesteren van clusters

- Dualisering van de landbouw: sommige bedrijven worden intensiever en groter, andere leggen zich toe op bioproductie & thuisverkoop, plattelandstoerisme neemt toe.

- Akkers nemen toe voor energiegewassen, eiwitrijke veevoedergewassen en industriële gewassen; weiden nemen af; bosaanplanting neemt toe.

Tabel 16 Overzicht van de impact van de klimaatverandering op de diensten onder verschillende emissiescenario's en bijhorende verhaallijnen (- is afname en + is toename)

Diensten	A1	A2	B1	B2
<i>Productieve diensten:</i>				
<i>Plantaardige productie vollegrond</i>	-	+	-	+
<i>Plantaardige productie onder glas</i>	+	+	-	+
<i>Dierlijke productie o.b.v. graassystemen (grondgebonden)</i>	-	+	-	+
<i>Geconcentreerde dierlijke productie (veelal grondloos)</i>	+	-	+	-
<i>Biomassaproductie (biobrandstof)</i>	+	+	+	+
<i>Windvang (windturbines op landbouwgrond)</i>	-	+	-	+
<i>Wateropslag (in grond- en oppervlaktewater, eventueel reservoirs)</i>	-	+	-	+
<i>Ondersteunende diensten:</i>				
<i>Wilde Biodiversiteit in agrarische context (binnen en buiten percelen/kassen in akkerbouw, tuinbouw, grassland)</i>	-	-	-	+/-
<i>Agrarische biodiversiteit</i>	-	+	-	+
<i>Bodemkwaliteit</i>	-	+	-	+
<i>Fysische (erosie, verdichting)</i>				
<i>Chemische (bufferend, fertiliteit)</i>				
<i>Waterkwaliteit en -kwantiteit</i>	-	+	-	+
<i>Bestrijding van ziekten en plagen</i>	-	+	-	+
<i>Regulerende diensten:</i>				
<i>Klimaat (C-vastlegging)</i>	-	+	-	+
<i>Hydrologie (bufferen van afvoer en erosie)</i>	-	+	-	+
<i>Nutriëntencyclus</i>	-	+	-	+

*Culturele diensten:**Agro-toerisme & recreatie*

- + - +

Landschappelijke kwaliteit

- + - +

Zorg

- + - +

5 ADAPTATIEMAATREGELEN OP MICRONIVEAU

5.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 is de landbouwsector beschreven als een leverancier van een brede waaier van diensten, ingedeeld in (A) productieve diensten, (B) ondersteunende diensten, (C) regulerende diensten en (D) culturele diensten. Voor de productieve diensten die rechtstreeks slaan op plantaardige of dierlijke productie voor directe of indirecte menselijke consumptie of voor ambachtelijke of industriële valorisatie buiten de voedingssector werd de impact van de verwachte klimaatverandering op bedrijfs- en perceelsniveau gedetailleerd beschreven. Voor de andere diensten was deze impactbeschrijving indicatief. Op basis van de resultaten uit het vorige hoofdstuk en aangevuld met bevindingen uit de literatuur worden in dit hoofdstuk adaptatiemaatregelen afgeleid. Van elke maatregel wordt de sector en/of subsector waarop deze betrekking heeft aangegeven. We behandelen achtereenvolgens: de productieve diensten dierlijke productie en plantaardige productie, en groeperen de andere diensten (ondersteunende, regulerende en culturele) in een derde onderdeel.

Er dient een onderscheid gemaakt te worden tussen aanpassingen op korte en op lange termijn. Korte-termijn aanpassingen zijn die aanpassingen die niet-frekwente verstoringen van verschillende omvang absorberen en het systeem terug naar zijn oorspronkelijke staat laat terugkeren. Zulke aanpassingen vereisen geen beleidsveranderingen of nieuw onderzoek. Lange-termijn aanpassingen zijn die aanpassingen die de vorm en functie van het systeem veranderen in respons op herhaalde verstoringen. Zulke aanpassingen vereisen wel grote veranderingen in infrastructuur, productietechnologie en overheidsbeleid (Easterling, 1996). Voor elke maatregel wordt de mogelijke uptake of adoptiegraad door landbouwers ingeschat om de opschaling naar het niveau Vlaanderen mogelijk te maken. De effecten van elk van deze maatregelen op de economische performantie (effect op opbrengsten en kosten), het ruimtegebruik en de broeikasgasbalans worden ingeschat op basis van literatuurgegevens.

Tabel 17 Lijst van beschreven adaptatiemaatregelen gerelateerd aan de diensten te leveren door de landbouwsector.

Maatregelen		Gerelateerd aan diensten te leveren door de landbouwsector		
Maatregel	sectie	Dienst		
Adaptatiemaatregelen Dierlijke Productie				
Voldoende voorzien	schaduw 3.2.1	Productieve (grondgebonden dierlijke), Ondersteunende (biodiversiteit), Culturele (landschap)	A, B, D	
Staldak voorzien van reflectie-coating	isoleren en 3.2.2	Productieve (dierlijke)	A	
Optimale ventilatie van de stal	3.2.3	Productieve (dierlijke)	A	
Evaporatieve koeling (direct en indirect)	3.2.4	Productieve (dierlijke)	A	
Aanpassingen aan de rantsoensamenstelling	3.2.5	Productieve (dierlijke)	A	
Aanpassingen aan de drinkwatervoorziening	3.2.6	Productieve (dierlijke)	A	
Selectie hittetolerante dierenrassen	van 3.2.7	Productieve (dierlijke), Ondersteunende (agrarische biodiversiteit)	A, B	
Voorkomen bestrijden dierziekten	en van 3.2.8	Productieve (dierlijke), Ondersteunende	A, B	
Adaptatiemaatregelen Plantaardige Productie				
Aanpassen van plant- en oogstdata	3.3.1	Productieve (plantaardige, biomassa)	A	
Substitutie van gewas of cultivar	3.3.2	Productieve (plantaardige, biomassa)	A	
Ontwikkeling nieuwe cultivars (variëteiten)	van 3.3.3	Productieve (plantaardige, biomassa), Ondersteunende (agrarische biodiversiteit),	A, B	
Gewassen biomassaproductie	voor 3.3.4	Productieve (plantaardige, biomassa, energie), Regulerende (C-vastlegging)	A, C	
Waterconserverende en gereduceerde	en / 3.3.5	Productieve (plantaardige, biomassa),	A, B	

<i>minimale bodembewerking</i>			<i>Ondersteunende (bodemkwaliteit)</i>	
<i>Irrigatie</i>	3.3.6		<i>Productieve (plantaardige, biomassa)</i>	A
<i>Bestrijden van ziekten en plagen</i>	3.3.7		<i>Productieve (plantaardige, biomassa)</i>	A
Adaptatiemaatregelen andere diensten				
<i>Wateropslag op het landbouwbedrijf (regenwater, oppervlaktewater, infiltratiewater)</i>	3.4.1	5.1.1.1	<i>Productieve (water), Ondersteunende (waterkwaliteit), Regulerende (hydrologie)</i>	A
<i>Bewaken van residus en emissies van nutriënten en pesticiden</i>	3.4.2		<i>Ondersteunende (waterkwaliteit, bodemkwaliteit)</i>	B
<i>Aanwenden van meer agrarische biodiversiteit</i>	3.4.3		<i>Productieve (biomassa), Ondersteunende (agrarische biodiversiteit)</i>	A, B
<i>Landschapszorg</i>	3.4.4		<i>Productieve (biomassa), Ondersteunende (wilde biodiversiteit), Regulerende (C-vastlegging)</i>	A, B, C
<i>Vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen</i>	3.4.5		<i>Productieve (biomassa), Ondersteunende (wilde biodiversiteit), Regulerende (C-vastlegging)</i>	A, B, C
<i>Bieden van kader voor agro-toerisme en recreatie</i>	3.4.6		<i>Culturele (agro-toerisme, landschappelijke kwaliteit)</i>	D
<i>Stormresistente windturbines voor energie</i>	3.4.7		<i>Productieve (windenergie),</i>	A

5.2 Adaptatiemaatregelen Dierlijke Productie

5.2.1 Voldoende schaduw voorzien

Bronnen: (Hahn, 1985; Mitlöhner et al., 2001; West, 2003; Nienaber en Hahn, 2004; Collier et al., 2006; UGCN en VETVICE, 2007)

5.2.1.1 Sector en subsectoren

sector: veeteelt

subsectoren: herkauwers (melk- en vleesvee, schapen, geiten), éénmagigen (varkens, paarden) en pluimvee (o.a. leg- en vleeskippen met buitenloop)

5.2.1.2 Omschrijving maatregel

Het voorzien in voldoende schaduw is een eenvoudige maatregel om landbouwproductiedieren te beschermen tegen felle zonneradiatie die bijdraagt aan de warmtebelasting van het lichaam. Hierbij moet er rekening gehouden worden met een combinatie van droge luchttemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid, waarbij de combinaties diersoortafhankelijk zijn, met interacties van leeftijd, productieniveau en management. Bij het weiden van dieren tijdens warme zomerdagen zijn een voldoende aantal schaduwplaatsen essentieel om hittestress-verschijnselen te voorkomen. Onderzoek bij melkkoeien toonde aan dat de aanwezigheid van schaduw voor lagere rectale temperaturen zorgt, evenals een lagere ademhalingssnelheid in vergelijking met de controledieren. De melkopbrengst is hoger in vergelijking met de controlegroep. De meest effectieve manier om schaduw te verschaffen in de weide is door het aanplanten van bomen, hetgeen in feite neerkomt op een vorm van agroforestry (zie ook 3.4.3). Bomen beschermen de dieren niet alleen tegen het zonlicht, maar kunnen afhankelijk van de hoogte zorgen voor een koelend effect wanneer het vocht op de bladeren evaporeert. Het aanplanten van bomen in een weide brengt echter ook een aantal nadelen met zich mee, zoals een afname van de grasgroei onder de bomen (zeker bij bomen met een dicht bladerdek zoals bv. beuk), het aantrekken van steekinsecten en huidbeschadigingen bij het dier ten gevolge van het schuren tegen de bomen. De grasgroei gaat echter minder achteruit wanneer men kiest voor boomsoorten met snel afbrekend strooisel, die geen bladlaag op het gras achterlaten, en huidbeschadigingen kunnen worden vermeden door de boomstammen af te schermen (cfr. konijnengaas). Niet alle boomsoorten zullen even goed geschikt zijn voor deze maatregel en bij de boomkeuze zullen stresstolerantie en de grootte van het beschaduwend oppervlak de voornaamste selectiecriteria zijn. Er wordt best geopteerd voor snelgroeïende soorten met brede, dichte kruin, die reeds na enkele jaren schaduw verschaffen. Suggesties in dit verband zijn haagbeuk, es of linde. Twee eerstgenoemde soorten hebben bovendien nog een bijkomend voordeel: hun strooisel is eetbaar door dieren, waardoor het kan worden aangewend als een extra bron van voeder.

5.2.1.3 Betrokkenen

Het aanplanten van bomen om schaduw te leveren is een adaptatiemaatregel die voornamelijk op bedrijfsniveau zal worden genomen.

5.2.1.4 Mate van ontwikkeling en/of toepassing

In heel wat weiden en graaslanden in Vlaanderen zijn vandaag reeds bomen aanwezig. Deze zijn in het verleden echter niet altijd aangeplant specifiek met de bedoeling om schaduw te verschaffen aan het vee. Meestal werden de bomen aangebracht uit hoofde van afbakening (bv. een rij bomen aan 1 of meerdere zijden van de weide) of louter als verfraaiingselement in het landschap.

5.2.1.5 Termijn

Alvorens een boom voldoende schaduw kan verschaffen, moet deze een zekere leeftijd hebben bereikt: het takkengestel en het bladerdek van jonge boompjes resulteert nu eenmaal niet in een groot

beschaduwde oppervlak. Het aanplanten van bomen omwille van hun schaduw is bijgevolg een lange termijn-maatregel.

5.2.1.6 *Kosten-baten*

Het creëren van schaduw is één van de meest kosteneffectieve methoden om warmtebelasting als gevolg van zonneradiatie te minimaliseren.

5.2.1.7 *Milieu-effecten*

Wanneer bomen worden aangeplant in een weide of grasland, heeft dit een zekere impact op het ruimtegebruik: de oppervlakte die effectief kan begraaasd worden neemt enigszins af. Dit is echter een verwaarloosbaar feit in verhouding tot de voordelen die een dergelijke maatregel biedt: een betere productie en reproductie (aangezien de dieren minder snel te lijden hebben van hittestress) wegen door op een inkrimping van de begraasbare oppervlakte.

Aangezien bomen een sink zijn voor CO₂ via het proces van de fotosynthese, heeft de hierboven beschreven adaptatiemaatregel bovendien een zeker mitigerend effect. Dit effect is echter verwaarloosbaar wanneer slechts enkele bomen per perceel worden aangeplant.

Voor het energieverbruik is er geen onmiddellijke impact en hetzelfde kan ook gezegd worden voor het waterverbruik.

5.2.2 Staldak isoleren en voorzien van reflectie-coating

Bronnen: Ernst, 1995; West, 2003; DEFRA, 2001; DEFRA, 2003; DEFRA, 2005; Collier *et al.*, 2006; UGCN en VETVICE, 2007

5.2.2.1 *Sector en subsectoren*

sector: veeteelt

subsectoren: alle diersoorten

5.2.2.2 *Omschrijving maatregel*

Op een warme zomerdag kan de temperatuur van een staldak hoog oplopen. Dakisolatie is daarom raadzaam, aangezien hierdoor minder warmte het gebouw binnenkomt via het dak. Zonder een adequate isolatie zal de temperatuur in de stal snel hoge waarden bereiken, wat hittestress kan teweegbrengen bij de dieren die in de stal worden gehuisvest t.g.v. stralingswarmte vanuit het dak. In de literatuur worden temperatuursverschillen aangehaald van 10 °C, wanneer de temperatuur aan de onderzijde van een niet-geïsoleerd metalen dak wordt vergeleken met de temperatuur geregistreerd onder een metalen dak dat wél is geïsoleerd. Verschillende isolatiematerialen zijn beschikbaar, waarbij de keuze voor een specifieke toepassing afhankelijk is van de kostprijs, de graad van duurzaamheid en de doeltreffendheid qua isolatie. Natuurlijke isolatiematerialen als stro en vlas genieten echter de voorkeur (cfr. groendaken). Naast het aanbrengen van isolatie aan de binnenzijde van het dak kan aan de buitenzijde nog een reflectie-coating worden aangebracht. Hoewel zulke coatings de daktemperatuur van gegalvaniseerde daken kunnen verlagen, hebben deze ook een aantal nadelen: de reflectieve eigenschappen van het materiaal kunnen afnemen in de tijd en de werkzaamheid neemt eveneens af indien er stof accumuleert op het dak. In plaats van de inkomende zonnestraling via een reflectie-coating te weerkaatsen en verloren te laten gaan, zou men ook kunnen overwegen om fotovoltaïsche panelen op het dak te plaatsen, waardoor men zonne-energie zou kunnen capteren om er dan vervolgens groene stroom mee op te wekken.

5.2.2.3 *Betrokkenen*

De keuze of een staleigenaar zijn dak al dan niet laat isoleren en/of met een reflectieve coating laat bedekken ligt uiteraard bij hemzelf. Bovengenoemde adaptatiemaatregel situeert zich daarom op bedrijfsniveau. Ook de agri-business-sector heeft echter een betrokkenheid bij implementatie van deze maatregel, aangezien het de agrarische bouwbedrijven zijn die verantwoordelijk zijn voor het optrekken en inrichten van nieuwe stalcomplexen.

5.2.2.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Het isoleren van staldaken en aanbrengen van reflectie-coatings zijn technieken die vandaag reeds worden uitgevoerd, zij het op een eerder beperkte schaal. De voornaamste reden voor de beperkte belangstelling voor beide technieken is de bijkomende kostprijs, naast de reeds aangehaalde nadelen verbonden aan het gebruik van reflectie-coatings.

5.2.2.5 *Termijn*

Aangezien beide technieken al toepassingen kennen in de praktijk, betreft het hier adaptatiemaatregelen die op de korte termijn meer algemeen ingang zouden kunnen vinden.

5.2.2.6 *Kosten-baten*

Zoals aangehaald in punt 4) is de additionele kost verbonden aan de implementatie van beide technieken de belangrijkste verklaring waarom deze technieken vandaag geen standaardtechnieken zijn. In de literatuur werden echter nergens kosten/baten-analyses teruggevonden.

5.2.2.7 *Milieu-effecten*

Deze adaptatiemaatregelen hebben geen effect op het ruimtegebruik en hetzelfde geldt voor het waterverbruik. Wél is er bij deze maatregelen mogelijks sprake van een zeker mitigerend effect via een afname van het energieverbruik aangezien er minder noodzaak is aan mechanische ventilatie bij beter geïsoleerde stallen. Ook het gebruik van fotovoltaïsche zonnepanelen (hernieuwbare energie!) draagt bij aan mitigatie.

5.2.3 *Optimale ventilatie van de stal*

Bronnen: PLD Limburg, s.d.; Carr en Carter, 1985; Ernst, 1995; DEFRA, 2001; ASAE, 2003; Bray *et al.*, 2003; DEFRA, 2003; Kammel *et al.*, 2003; Stowell *et al.*, 2003; Nienaber en Hahn, 2004; DEFRA, 2005; van der Linde, 2007; UGCN en VETVICE, 2007

5.2.3.1 *Sector en subsectoren*

sector: veeteelt

subsectoren: alle diersoorten

5.2.3.2 *Omschrijving maatregel*

Ventilatie is een belangrijk aandachtspunt bij stallenbouw, waarbij er zowel aandacht moet worden besteed aan natuurlijke als aan mechanische ventilatie.

Meer open stallen impliceren meer natuurlijke ventilatie en door de zijwanden van een stal zo open mogelijk te maken, wordt de dwarsventilatie danig bevorderd. Open zijwanden combineert men best met een windzeil en/of een afsluitgordijn om regen- en windinslag te beperken. De zogenaamde serrestal is een recentelijk in Nederland geïntroduceerd staltype dat gebouwd is volgens deze principes. Zeer typisch voor een serrestal zijn niet alleen de open zijwanden en het grote stalvolume, maar ook de gebogen dakconstructie waarbij de dakbedekking bestaat uit één of twee lagen kunststoffolie met daaroverheen een schaduwdoek. Naast dwarsventilatie verdient ook nokventilatie de nodige aandacht. Nokopeningen laten toe dat bij weinig of geen luchtbeweging warme lucht de stal verlaat via het dak, zodat koelere lucht via de zijwanden in de plaats kan komen en er toch enige ventilatie plaatsvindt. Om de natuurlijke ventilatie van de stal te bevorderen, zou men bij de bouw ook de nodige aandacht moeten besteden aan de oriëntatie ervan, waarbij de oriëntatie van de gebouwen zo voordelig mogelijk zou moeten afgestemd worden op de overheersende windrichting (bij ons is dit het zuidwesten). Bij stallen waarbij de 4 zijden gesloten zijn is het optimaal dat de gebouwen met de lange zijde (lengtegevel) loodrecht op de overheersende windrichting (ZW) staan. Een oriëntatie waarbij de kopgevel van het gebouw loodrecht op de zuidwest-richting staat moet worden vermeden bij dergelijk type van stal. Bij open-frontstallen is de optimale oriëntatie dié waarbij de open zijde naar het noordoosten georiënteerd is. De overheersende en onstabiele zuidwestenwind kan op die manier niet rechtstreeks op de dieren waaien. De noordoostenwind doet dit echter wél, maar aangezien deze

wind een stabiel karakter heeft en er dus geen tocht optreedt, is dit niet erg. Vroeger werd er bij openfrontstallen gepleit om de open front zuidoost in plaats van noordoost te oriënteren, omdat er op die manier meer geprofiteerd werd van de warmte van de instralende zon. Zeker onder de condities van de klimaatverandering wordt een zuidoost-oriëntatie echter best vermeden, daar de temperaturen in de zomer al snel zouden oplopen tot waarden die veel te hoog zijn voor het vee, waardoor er risico is op sterfte.



Figuur 19 Links: melkveestal met open zijwand (© bvba Vervaeke); Rechts: serrestal voor melkvee (© ID Agro)

Mechanische ventilatie steunt op het gebruik van ventilatoren, met als voordeel om luchtcirculatie te creëren onafhankelijk van de windsnelheid. Meestal worden de ventilatoren in een schouw geplaatst of in de zijmuren. Een recente innovatie zijn de zogenaamde HVLS (High Volume Low Speed)-ventilatoren, die zowel in rundvee- als in pluimveestallen worden toegepast. Het gaat hier om ventilatoren die gekenmerkt worden door hun lange schoepen (diameter van de ventilator bedraagt 2,5 à 6,5 m) die roteren om een verticale as tegen een relatief lage snelheid. Door een toename van de luchtcirculatie en luchtsnelheid in de stal zorgen ze voor een aanvullend koelingseffect bij de dieren die in de stal worden gehuisvest. Een specifieke vorm van mechanische ventilatie is zogenaamde tunnelventilatie, een ventilatieconcept dat zowel in rundvee-, pluimvee- alsook in varkensstallen wordt aangetroffen. Bij tunnelventilatie wordt er een luchtstroom gegenereerd over gans de lengte van de stal (= lengteventilatie) door ventilatoren gemonteerd in één van de twee frontmuren. De frontmuur aan de overzijde van de stal is open. In varkensstallen kan de lucht worden aangezogen via een grondkanaal, wat in de zomer voor afkoeling zorgt, en in de winter voor opwarming. In kraamstallen kan die binnenkomende lucht ook over de snuit van de zeug gestuurd worden, wat als zeer afkoelend ervaren wordt omwille van de thermoreceptoren die daar in de huid gelegen zijn.



Figuur 20 Links: HVLS-ventilatoren in melkveestal (© ID Agro); Rechts: Tunnelgeventileerde melkveestal (Bray et al., 2003)

De hogere temperaturen waardoor ons toekomstig klimaat zal worden gekenmerkt zullen leiden tot een verhoging van de ventilatiebehoeften. Meer ventileren kan echter een belangrijke neveneffect teweegbrengen, met name een toename van de geurhinder.

5.2.3.3 *Betrokkenen*

De adaptaties qua ventilatiepraktijk situeren zich op bedrijfs- en sectorniveau.

5.2.3.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Bij nieuwbouw van rundvee- en in mindere mate ook pluimveestallen is er vandaag reeds een trend naar meer open stallen met een groter volume. Een andere trend is het toenemend gebruik van ventilatoren bij de inrichting van nieuwe rundveestallen. De beschreven maatregelen ter verbetering van de stalventilatie kennen meer en meer ingang.

5.2.3.5 *Termijn*

Aangezien de technieken voor het aanpassen en optimaliseren van de stalventilatie reeds voorhanden zijn, zijn ventilatie-gerelateerde adaptaties korte termijn-adaptaties.

5.2.3.6 *Kosten-baten*

In vergelijking met traditionele stallen zijn serrestallen 20 tot 40 procent goedkoper vanwege de goedkopere bouwmaterialen en de kortere bouwtijd. Ook HVLS-ventilatoren blijken een kosten-effectieve adaptatiemaatregel te zijn via de energie-besparing die ze realiseren. In vergelijking met traditionele ventilatoren dienen er immers minder HVLS-ventilatoren te worden geplaatst, waardoor hun energieverbruik wordt geschat op 0,010 W/m² grondoppervlak tegenover 0,35 W/m² voor de meer conventionele plafondventilatoren die kleiner zijn en meer omwentelingen maken per minuut.

5.2.3.7 *Milieu-effecten*

Ventilatie-gerelateerde adaptaties hebben geen onmiddellijk effect op het ruimtegebruik en idem voor het waterverbruik.

Aangezien het energieverbruik enerzijds relatief daalt (cfr. HVLS-ventilatoren in plaats van traditionele ventilatoren), maar er anderzijds meer nood is aan mechanische ventilatie is het mitigerend effect van deze adaptatiemaatregel eerder beperkt.

5.2.4 *Evaporatieve koeling (direct en indirect)*

Bronnen: Carr en Carter, 1985; Hahn, 1985; Ernst, 1995; Lucas et al., 2000; Mitlöhner et al., 2001; Wolfenson et al., 2001; ASAE, 2003; Bray et al., 2003; Brouk et al., 2003 a & b; Calegari et al., 2003; West, 2003; Bridges et al., 2004; Nienaber en Hahn, 2004; DEFRA, 2005; Collier et al., 2006

5.2.4.1 *Sector en subsectoren*

sector : veeteelt

subsectoren : alle diersoorten

5.2.4.2 *Omschrijving maatregel*

Evaporatieve koeling is een koelingstechniek waarbij water wordt verdampt, waardoor hetzij de lucht, hetzij het lichaam afkoelt, omdat er voelbare warmte wordt aangewend voor de evaporatie van water. Hierbij vindt een omzetting plaats naar latente warmte die aanwezig is in de waterdamp die ontstaat bij het verdampingsproces. Het gevolg is een afname van de droge bol-temperatuur van de lucht en een toename van de hoeveelheid waterdamp, waardoor de relatieve vochtigheid van de lucht hoger is dan bij aanvang van het koelingsproces. Evaporatieve koeling kan worden aangewend om hittestress bij landbouwproductiedieren in de stal te voorkomen. Voorwaarde is wel dat er een dampspanningsgradiënt met de omgeving bestaat vanuit de ademhalingswegen en vanaf het huidoppervlak. Bij een RV groter dan 70 % bedraagt de potentiële reductie van de THI (temperature humidity index) minder dan 10 %. Evaporatieve koeling is dan ook het meest efficiënt bij warme en droge omstandigheden. De evaporatieve koeling van staldieren kan zowel direct als indirect gebeuren. Bij directe evaporatieve koeling (DEK) zijn het de dieren zelf die worden gekoeld: de dieren worden

nat gemaakt, waarbij de warmte die nodig is voor evaporatie van het water afkomstig is van het lichaam van de dieren. Bij indirecte evaporatieve koeling (IEK) zijn er 2 mogelijkheden. Ofwel is het de stallucht die de dieren omgeeft die wordt gekoeld. Ofwel zijn het de omgevende oppervlakken (meestal het dak) die worden gekoeld.

Het nat maken van de dieren bij DEK gebeurt door middel van sproeiers ('sprinklers') die werken bij lage druk zodat een voldoende grote druppelgrootte gegarandeerd is. Dergelijke sproeiers zijn meestal boven de dieren gemonteerd, zodat ze dorsale koeling verschaffen. Bij leghennen heeft onderzoek echter aangetoond dat ventrale koeling efficiënter is dan dorsale koeling om warmtestress te voorkomen, zodat in leghennenstallen beter geopteerd wordt voor een andere positionering van de sproeiers. Sproeiers worden best gecombineerd met ventilatoren, aangezien deze de luchtbeweging in de stal doen toenemen, wat de evaporatie bevordert. Ventilatoren hebben naast hun betrokkenheid bij convectieve warmte-uitwisseling dus eveneens een rol bij evaporatieve warmte-uitwisseling. Continu sproeien wordt niet gedaan, aangezien er dan een waterfilm ontstaat die de warmte-uitwisseling belemmert. Daarom wordt er gesproeid met tussenpozen, hetgeen een afdoende evaporatie garandeert. Bovendien wordt vermeden dat de ondergrond van de stal te nat wordt gemaakt, hetgeen vooral van belang is in stallen waar de ondergrond bedekt is met strooisel, stro of mest. In dergelijke stallen zouden immers snel ziekteproblemen kunnen ontstaan daar er een ideale broeihaard wordt gecreëerd voor bepaalde ziekteverwekkers. In stallen zonder strooisel kunnen de hoeven verzwakt worden door de natte vloeren, wat de hoefkwetsuren kan doen toenemen.

Bij actieve dakkoeling (een vorm van IEK die vooral zijn nut bewijst bij koeling van niet-geïsoleerde metalen staldaken) wordt eveneens gebruik gemaakt van sproeiers. De daksproeiers voorkomen dat de temperatuur in de stal te hoog oploopt en vrijwaren de in de stal gehuisveste dieren van warmtestress. Bij melkvee bijvoorbeeld wees onderzoek uit dat dakkoeling leidt tot een afname van de ademhalingsnelheid, evenals een afname van de rectale temperatuur van de koeien in de stal. Om geen water te verspillen moet run-off van het dak tot een minimum worden beperkt, hetgeen bereikt kan worden via een geschikte keuze van sproeiers of via het gebruik van een timer die de installatie periodiek aanstuurt. Het installeren van groendaken (een passieve vorm van dakkoeling waarbij het dak wordt gekoeld door evapotranspiratie, dus door een combinatie van evaporatie en transpiratie) is een duurzamer alternatief voor actieve dakkoeling door middel van sproeiers. Groendaken impliceren immers geen actief waterverbruik, maar functioneren op het hemelwater dat uit de lucht komt te vallen, waarbij er sprake is van een zekere 'sponswerking'.

Het koelen van de stallucht door evaporatieve koeling (= de belangrijkste vorm van IEK) kan op twee verschillende manieren geschieden: ofwel via een mist- (= nevel-)installatie, ofwel via een zogenaamd 'pad & fan'-systeem. In het geval van een mist-installatie wordt in de stalruimte een mist gecreëerd, bestaande uit kleine druppels, die snel verdampen vooraleer ze dier of stalondergrond bereiken. Om zulke kleine druppels te verkrijgen, is een hoge druk benodigd. Net zoals het geval was bij de klassieke sproei-installatie, wordt ook een mist-installatie vaak gecombineerd met ventilatoren. Deze zorgen voor de verspreiding van de mistdruppeltjes doorheen de stal zodat een uniform mistgordijn wordt opgetrokken. Zeer belangrijk bij een mist-installatie is het onderhoud. De fijne sproeikoppen (of zogenaamde 'nozzles') waarlangs de mistdruppels de installatie verlaten zijn bijvoorbeeld zeer gevoelig voor verstopping door kalkaanslag, zeker wanneer hard water wordt aangewend. Het 'pad & fan'-systeem is een tweede mogelijkheid voor evaporatieve luchtkoeling. Bij zulk een systeem wordt de te koelen lucht onder toedoen van ventilatoren ('fans') doorheen een met water verzadigd kussen (de 'pad') geleid, waarna de geconditioneerde lucht in de stal wordt verspreid, eveneens door middel van ventilatoren. 'Pad & fan'-systemen treft men dikwijls aan in tunnelgeventileerde stallen, waarbij het kussen zich ter hoogte van één van de twee frontmuren bevindt en de ventilatoren helemaal aan de overzijde van de stal. Nadeel van een 'pad & fan'-systeem is de temperatuursgradiënt in het gebouw die dergelijk systeem tot gevolg heeft, iets wat zeker opgaat voor lange stallen: hoe dichter bij het kussen, hoe koeler de lucht; hoe verder van het kussen, hoe warmer de lucht. Zulk een gradiënt kan er dan ook toe leiden dat de dieren in de stal de neiging hebben om samen te troepen nabij het kussen, iets wat vermeden kan worden door de stal te compartimenteren door middel van hekwerk.

5.2.4.3 *Betrokkenen*

Het voorzien van evaporatieve koeling in de stal is opnieuw een adaptatiemaatregel waarbij er betrokkenheid is van zowel de individuele landbouwer (veeteler) als van de agri-business-sector. Bij keuze uit de verschillende technieken die hierboven werden beschreven is het uiteindelijk de landbouwer die beslist, waarbij zijn keuze vooral afhankelijk zal zijn van het investeringsbudget dat hij ter beschikking heeft en van de aard van zijn vee-uitbating (rundvee, pluimvee of varkens). Anderzijds

is het de agro-industrie (en dan voornamelijk de bedrijven die zich bezighouden met stalinrichting) die de landbouwer de verschillende alternatieven voorlegt waaruit er kan gekozen worden.

5.2.4.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

De technieken voor evaporatieve koeling zijn divers en kennen een hoge graad van ontwikkeling. In Vlaanderen worden deze technieken vandaag echter zo goed als nergens toegepast, in tegenstelling met bijvoorbeeld de V.S. waar de meeste van deze technieken werden ontwikkeld en reeds jaren worden toegepast. Op wereldschaal is evaporatieve koeling van stallen (of de dieren die erin gehuisvest worden) vaak een standaardtechniek, tenminste in gebieden met een warm en droog klimaat. Zoals eerder vermeld is evaporatieve koeling inefficiënt in een vochtig klimaat.

5.2.4.5 *Termijn*

Het voorzien van evaporatieve koeling in de stal is een adaptatiemaatregel die reeds op korte termijn geïmplementeerd zou kunnen worden: de benodigde technieken zijn reeds voorhanden.

5.2.4.6 *Kosten-baten*

Wat IEK betreft geven zowel de meer recente literatuur als de al iets oudere literatuur een hogere investerings- en werkingskost aan voor een 'pad & fan'-systeem in vergelijking met een mist-installatie, gezien de ventilatorcapaciteit zwaarder moet zijn om de weerstand te overwinnen. De kostprijs van een klassieke sproei-installatie met 'sprinklers' (DEK en IEK) wordt als eerder 'goedkoop' ervaren. Hoe vaker landbouwproductiedieren geconfronteerd worden met een hoge temperatuur in combinatie met een lage relatieve luchtvochtigheid, hoe kosteneffectiever evaporatieve koeling wordt. Het productieniveau van de dieren heeft een invloed op de kosten/baten-verhouding, dewelke voordeliger wordt naarmate de dieren een hoger productieniveau halen. In literatuur uit 1985 werd een gunstige kosten/baten-verhouding aangehaald als één van de redenen waarom evaporatieve luchtkoelingstechnieken in die periode snel ingang vonden in melkvee-, pluimvee- en varkensuitbatingen in warme klimaatregio's. Vanwege alsmat toenemende energiekosten staan gunstige kosten/baten-verhoudingen vandaag echter steeds meer onder druk.

5.2.4.7 *Milieu-effecten*

Wanneer bij de inrichting van een stal één van de beschreven technieken voor evaporatieve koeling wordt geïntegreerd, heeft dit geen effect op het ruimtegebruik.

Vanwege het energieverbruik verbonden aan de diverse evaporatieve koelingstechnieken is ook van een mitigerend effect geen sprake. Het aanwenden van groendaken (koeling door evapotranspiratie) kost geen energie.

Het waterverbruik bij evaporatieve koeling mag niet onderschat worden, en kan een ernstige belemmering zijn voor toepassing in de toekomstige gestelde problematiek. Groendaken vormen wederom een uitzondering en behoeven (zoals reeds eerder werd vermeld) geen actief waterverbruik.

5.2.5 *Aanpassingen aan de rantsoensamenstelling*

Bronnen: Austic, 1985; Conrad, 1985; Hahn, 1985; Dagher, 1995 a & b; West, 2003; DEFRA, 2005; Chase, 2006; Collier et al., 2006; Savoini en Moretti, 2006; Luijmes, 2007; UGCN en VETVICE, 2007; VLM, 2007

5.2.5.1 *Sector en subsectoren*

sector : veeteelt

subsectoren : alle diersoorten

5.2.5.2 *Omschrijving maatregel*

Opdat landbouwproductiedieren beter zouden kunnen omgaan met hittestress en de gevolgen ervan, dienen er ook aanpassingen te gebeuren aan de rantsoensamenstelling. Bij hittestress zullen de nutritionele behoeften van een dier immers wijzigen en zal er een afname zijn in de dagelijkse

voeropname, zodat een herformulering van het rantsoen zich opdringt. Aangezien de consumptie van voeder gepaard gaat met een toename in warmteproductie, zal voeropname onder condities van hittestress voor additionele warmte zorgen die het dier moet zien kwijt te raken. Vetten zorgen voor de laagste toename in warmteproductie, gevolgd door koolhydraten en vervolgens proteïnen. Bijgevolg bevatten de rantsoenen die gevoederd worden aan dieren in een warm klimaat doorgaans een hoger vet- en een lager proteïnegehalte in vergelijking met de rantsoenen gevoederd in een gematigd klimaat. Lagere ruweiwitgehalten zullen moeten gecompenseerd worden met een aangepaste aminozuursamenstelling. Voor de herkauwers is er het belang van de vezelkwaliteit van het ruwvoer. Hoe beter de kwaliteit, hoe lager de warmteproductie. In wat volgt zullen achtereenvolgens voor melkvee, pluimvee en varkens de aanpassingen aan de rantsoensamenstelling die nodig zijn bij hittestress worden besproken.

Melkvee:

-Tussen de verschillende bronnen die werden geraadpleegd bestaat er geen eensgezindheid wat betreft de vraag of het nu de hoeveelheid krachtvoer, dan wel de hoeveelheid ruwvoer is die dient toe te nemen in het rantsoen. In de Engelstalige literatuur wordt vaak gepleit voor een toename van het percentage krachtvoer (en een overeenkomstige reductie van het percentage ruwvoer), aangezien dit leidt tot een hogere energiedensiteit in het rantsoen, hetgeen compenseert voor de verminderde voeropname. Een verhouding van bijvoorbeeld 20 % ruwvoer tegenover 80 % krachtvoer wordt aangehaald als zijnde een billijke verhouding voor een rantsoen dat wordt voorgeschoteld aan melkkoeien in een warme omgeving. Probleem is echter het feit dat zulk een rantsoen mogelijks kan leiden tot (sub)klinische pensverzuring, wat de gezondheid van de koe in gevaar kan brengen. Andere bronnen pleiten daarom voor een toename van de hoeveelheid ruwvoer in het rantsoen en een overeenkomstige afname van de hoeveelheid krachtvoer. Bovendien argumenteren Nederlandse vorsers dat het onderzoek waarop het advies voor een hoger percentage krachtvoer werd gebaseerd, werd verricht in de tropen waar het ruwvoer eerder stengelig is van consistentie en bijgevolg slecht verteerbaar. In Nederland geeft men de melkveehouders dan ook de raad om de koeien voornamelijk ruwvoer voor te schotelen van goede kwaliteit, d.w.z. ruwvoer (kuil) met veel gemakkelijk verteerbare celwanden. Hierdoor is de warmteproductie minder en de voeropname hoger.

-Door extra vet toe te voegen aan het rantsoen (5 tot 7 % van de totale droge stof), kan een hogere energiedensiteit in het rantsoen worden verkregen, zonder gevaar voor een aanzienlijke toename in warmteproductie bij consumptie van een dergelijk rantsoen door de koe. Om het 5 % vetgehalte te garanderen dient men gebruik te maken van pensonbestendig vet. Hogere vetgehalten in het rantsoen vereisen de toevoeging van beschermde pensbestendige vetten.

-De hoeveelheid vezels in het rantsoen moet worden beperkt. Een hoog vezelgehalte in het rantsoen gaat immers gepaard met minder verteerbare droge stof, wat een hogere warmteproductie tot gevolg heeft bij consumptie van zulk een rantsoen.

-Ook het eiwitpercentage in het rantsoen dient te worden verminderd, eveneens om overmatige warmteproductie tijdens voeropname te vermijden. Het aandeel bestendig eiwit moet worden verhoogd; het aandeel pensoplosbaar eiwit moet worden verminderd.

-Omdat warmtestress de oxidatieve status van de melkkoe kan beïnvloeden, is het aangewezen om de opname van antioxidantia (vitamine A, vitamine E, Se, Cu, Zn) door de koe te bevorderen door meer van deze antioxidantia in het rantsoen te voorzien.

-Het toevoegen van gist(culturen) aan het rantsoen bevordert de voeropname onder condities van warmtestress.

-Aangezien er bij warmtestress een verhoogde uitscheiding plaatsvindt van kalium via het zweet dat de koe verliest, dient het rantsoen meer kalium te bevatten dan normalerwijze vereist is (1,5 % van de totale droge stof).

-Wegens een verhoogde excretie van natrium via de urine onder warme omstandigheden, dient ook het natriumgehalte van het rantsoen te worden verhoogd (0,5 tot 0,6 % van de totale droge stof).

-Belangrijk is tevens de kationen-anionenbalans, waarbij een toename in de DCAD (dietary cation-anion difference) de droge stof-opname verbetert onder condities van warmtestress.

-Het toevoegen van buffers aan het rantsoen kan helpen om een normaal pensmilieu te handhaven. Vaak gebruikte buffers zijn natriumbicarbonaat en magnesiumoxide.

Pluimvee:

- Een hoger vetgehalte in het pluimvee-rantsoen doet de energiedensiteit ervan toenemen, zodat de kip ook onder warmtestress, wanneer de voeropname beduidend minder is, een voldoende hoeveelheid energie binnenkrijgt. Bij leghennen is een energierijk rantsoen vooral belangrijk tijdens de aanvangsfase van de productie.
- Verder moet opnieuw een lager eiwitgehalte worden toegepast. Op die manier blijft de warmteproductie door de kip bij consumptie van het voer binnen de perken. Belangrijk is ook een goede uitbalancing van de aminozuren. Zo verdient de aanwezigheid van de optimale hoeveelheden methionine en lysine de nodige aandacht bij de rantsoensamenstelling van legkippen.
- De hoeveelheid kalium in de rantsoenen moet worden verhoogd.
- Ook een hoger vitamine C (ascorbinezuur)-gehalte in het rantsoen is voordelig bij warmtestress.
- Bij legkippen kan de voeropname onder condities van warmtestress gestimuleerd worden door het calciumgehalte in het rantsoen laag te houden en tezelfdertijd een afzonderlijke bron van calcium te verschaffen (bijvoorbeeld gemalen oesterschelpen). Bijkomende voordelen van aparte calciumvoorziening zijn de toename van de eiproduktie en van de eischalkwaliteit.

Varkens:

- Wanneer varkens met warmtestress hebben af te rekenen, kan een energierijk dieet hen helpen om deze stress beter te verdragen. De toevoeging van extra vet aan het rantsoen biedt mogelijkheden.
- Vezelrijk voeder is uit den boze aangezien de consumptie van zulk voeder veel warmte genereert. Laag-vezelig voer is dan ook aangewezen bij warmtestress.

5.2.5.3 Betrokkenen

Het aanpassen van de rantsoensamenstelling van landbouwproductiedieren is een adaptatiemaatregel die zich situeert op twee niveaus, met name het bedrijfsniveau en het overheidsniveau.

Een belangrijke taak is weggelegd voor de overheid die via voorlichting de veetelers moet informeren over de door te voeren wijzigingen aan de rantsoenen die ze hun dieren voorschotelen. Voorlichting kan gebeuren via de publicaties uitgegeven door het Departement Landbouw en Visserij van de Vlaamse overheid (vandaag reeds geven zij brochures uit die specifiek handelen over de voeding van landbouwdieren), via studiedagen, of via voorlichters verbonden aan praktijkcentra die door de overheid gecontroleerd worden. Naast voorlichting heeft de overheid ook als taak het wetenschappelijk onderzoek aangaande rantsoenen en rantsoenaanpassingen onder condities van warmtestress te stimuleren. Veel van het onderzoek op dat vlak werd immers uitgevoerd in de tropen, waardoor men voorzichtig moet zijn om alle resultaten en aanbevelingen die uit het onderzoek ginds naar voren zijn gekomen, zomaar over te nemen voor de Vlaamse situatie. Zo is men het in Nederland bijvoorbeeld oneens met de aanbeveling om voor melkvee onder warmtestress een hoger percentage krachtvoer in het rantsoen te voorzien.

Naast de betrokkenheid van de overheid bij implementatie van deze maatregel is er ook de verantwoordelijkheid van de individuele veeteler. Het is uiteindelijk hij die het rantsoen samenstelt en het vervolgens aan zijn dieren voorschotelt.

Onderzoek naar het aanpassen van de rantsoensamenstelling van landbouwproductiedieren zou kunnen worden uitgevoerd door instellingen als het ILVO, door praktijkcentra verbonden aan universiteiten of hogescholen (bijvoorbeeld het Zoötechnisch Centrum van de K.U.Leuven) en door private bedrijven.

5.2.5.4 Mate van ontwikkeling en/of toepassing

Wanneer we vandaag de dag een hete zomer kennen, zullen onze veehouders niet onmiddellijk overgaan tot het doorvoeren van ingrijpende aanpassingen aan de rantsoensamenstelling. Nochtans zouden de hierboven beschreven aanpassingen makkelijk kunnen worden geïmplementeerd, aangezien deze geen nieuwe technologieën vereisen.

Het aanwenden van lagere eiwitgehaltes in het rantsoen wordt op heden wél reeds toegepast door sommige varkens- en pluimveehouders in het kader van de eerste pijler ("aanpak van de bron") van het driesporenbeleid van de Vlaamse overheid om het probleem van de mestoverschotten in Vlaanderen aan te pakken. Voor varkens en kippen heeft de mengvoederindustrie zogenaamde

laageiwitvoerders kunnen ontwikkelen, waarmee de stikstofuitscheiding per dier lager is. Erkende laageiwitvoerders vindt men bij fabrikanten die deelnemen aan de zogenaamde 'convenant nutriëntenarme voeders'. Dergelijke voeders zouden mogelijks ook hun nut kunnen bewijzen bij de afstemming van het rantsoen van onze landbouwproductiedieren op het nieuwe klimaat.

5.2.5.5 *Termijn*

Omdat aanpassingen aan de rantsoensamenstelling geen nieuwe technologie vereisen, is de beschreven adaptatiemaatregel een korte termijn-maatregel.

5.2.5.6 *Kosten-baten*

In de literatuur werden geen kosten/baten-analyses teruggevonden. Wel is duidelijk dat het al dan niet kosteneffectief zijn van aanpassingen aan de rantsoenering vooral afhankelijk zal zijn van de kostprijs van de verschillende grondstoffen waarmee het rantsoen wordt samengesteld én van het aandeel van elke nutriënt in het rantsoen (aantal % van de totale droge stof).

5.2.5.7 *Milieu-effecten*

Van een impact op het ruimtegebruik is bij aanpassingen aan de rantsoensamenstelling geen sprake, tenzij de opbrengst (productiviteit) van bepaalde voedergewassen zou verminderen ten gevolge van klimaateffecten, waardoor er een groter areaal van die gewassen moet worden ingezaaid.

Het aanpassen van de rantsoensamenstelling van landbouwproductiedieren is een adaptatiemaatregel die ook een zeker mitigerend effect zou kunnen hebben. Bij de herkauwers zou er immers gepoogd kunnen worden om via de rantsoenaanpassingen meteen ook hun methaanuitstoot te reduceren.

Voor het water- en energieverbruik heeft deze adaptatiemaatregel geen onmiddellijke gevolgen.

5.2.6 **Aanpassingen aan de drinkwatervoorziening**

Bronnen: Austic, 1985; Carr en Carter, 1985; Conrad, 1985; Beker en Teeter, 1994; Dagher, 1995 a & b; West, 2003; Nienaber en Hahn, 2004; DEFRA, 2005; Chase, 2006; Savoini en Moretti, 2006; De Brabander *et al.*, 2007; UGCN en VETVICE, 2007

5.2.6.1 *Sector en subsectoren*

- sector : veeteelt
- subsectoren : alle diersoorten

5.2.6.2 *Omschrijving maatregel*

De drinkwateropname van landbouwproductiedieren is afhankelijk van de omgevingstemperatuur en neemt toe onder condities van warmtestress, om het waterverlies gekoppeld aan de latente warmteafgifte te compenseren. Er moet dus altijd drinkbaar water van goede kwaliteit ter beschikking zijn, ook bij schaduwvoorziening. Bij melkvee bijvoorbeeld neemt de waterconsumptie bij warmtestress toe met 20 tot meer dan 50 %. Er moet dan ook een voldoende hoeveelheid water ter beschikking zijn om aan de extra behoeften te kunnen voldoen. In de stal zou men één sneldrinker per 15 koeien (met een minimaal debiet van 20 liter water per minuut) of één voorraadbak per 20 koeien (met een minimale inhoud van 50 liter en een minimaal aanvoerdebiet van 30 liter per minuut) moeten voorzien. In de weide zou de drinkwatervoorziening dusdanig moeten zijn dat op elk moment 10 % van het totaal aantal koeien in de weide tegelijkertijd kan drinken. Belangrijk is dat er voldoende plaats is aan de drinkbakken, dit om te vermijden dat er teveel competitie zou ontstaan tussen de dieren in hun zoektocht naar water. Zo groot mogelijke drinkbakken worden daarom nagestreefd. De temperatuur van het water is eveneens een aandachtspunt en is bij melkvee onder condities van warmtestress optimaal bij 17 °C. Koeling van het drinkwater heeft een kortstondig effect op de lichaamstemperatuur van de koe (reductie van de lichaamstemperatuur) en kan eventueel een positief effect hebben op melkproductie en droge stof-opname. Ook bij pluimvee leidt het verschaffen van koel drinkwater bij hoge omgevingstemperaturen tot een daling van de lichaamstemperatuur. Hoe koeler het drinkwater, hoe beter de kip hoge temperaturen weet te tolereren en hoe groter de

overlevingskansen bij warmtestress. Een lagere temperatuur van het drinkwater bevordert bij pluimvee verder ook de voederopname en de dagelijkse gewichtstoename. De drinkwatertemperatuur is ook belangrijk naar ziekten toe. Immers, hoe warmer het water, hoe meer bacteriën erin aanwezig. De additie van CO₂, NaHCO₃ of KCl aan het drinkwater heeft eveneens een positief effect, aangezien werd aangetoond dat de sterfte van pluimvee onder condities van warmtestress hierdoor afneemt en/of hun groeisnelheid toeneemt. Voorwaarde is dan wel dat de temperatuur van het drinkwater niet te warm is: enkel wanneer het drinkwater voldoende koel is, zijn positieve effecten van wateraanrijking mogelijk. Om te vermijden dat de watertemperatuur bij hoge omgevingstemperaturen hoog zou oplopen, volstaat het om aandacht te geven aan een aantal eenvoudige en voor de hand liggende punten. Zo strekt het bijvoorbeeld tot aanbeveling om de wateropslagtank en de buizen die instaan voor watertransport te isoleren. Verder is het aangewezen om geen waterbuizen te bevestigen aan het plafond van de stal, aangezien onder het dak vaak hoge temperaturen heersen. In echte noodgevallen kan overwogen worden om het drinkwater te koelen door middel van ijs.

5.2.6.3 *Betrokkenen*

Het doorvoeren van aanpassingen aan de drinkwatervoorziening van landbouwproductiedieren kan makkelijk worden uitgevoerd door de individuele veehouder. De overheid kan deze adaptatiemaatregel ingang doen vinden via voorlichting en heeft verder ook als taak het onderzoek in verband met drinkwatervoorziening te stimuleren.

5.2.6.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Ook vandaag reeds zorgt de Vlaamse veehouder dat op warme zomerdagen het drinkwatermanagement optimaal in orde is, waarbij een watervoorziening wordt nagestreefd die voldoet aan de waterbehoeften van alle dieren van zijn veestapel. Actieve koeling van drinkwater en/of aanrijking van drinkwater (met bijvoorbeeld KCl) zijn echter nog geen standaardpraktijk.

5.2.6.5 *Termijn*

Aangezien de aanpassingen aan de drinkwatervoorziening geen nieuwe technologie vereisen, is de beschreven adaptatiemaatregel een korte termijn-maatregel.

5.2.6.6 *Kosten-baten*

Bij aanpassingen aan de drinkwatervoorziening zullen de baten gewoonlijk groter zijn dan de kosten. Drinkwatervoorziening is een verplichting vanuit de dierenwelzijnswetgeving. Wanneer de drinkwatervoorziening niet is aangepast aan de noden van de landbouwproductiedieren kan dit onder condities van warmtestress tot ernstige gevolgen leiden, met sterfte als meest extreem gevolg. Sterfte van een dier betekent voor de veeteler altijd een verlies van inkomsten, zodat elke maatregel die sterfte kan voorkomen gerechtvaardigd is vanuit een economisch standpunt. De kosten die nodig zijn voor een aanpassing (optimalisering) van de drinkwaterproductie wegen m.a.w. niet op tegen de baten van zulke aanpassing.

5.2.6.7 *Milieu-effecten*

De in punt 6.2. beschreven aanpassingen aan de drinkwatervoorziening die de tolerantie van onze landbouwdieren ten aanzien van warmtestress zouden moeten verhogen, hebben geen grote impact op het ruimtegebruik. De enige impact die bedacht zou kunnen worden is een toename van het aantal drinkbakken in de weides in het Vlaamse landschap.

Ook van een impact op het energieverbruik en van een mitigerend effect is niet onmiddellijk sprake bij aanpassingen aan de drinkwatervoorziening.

Als vanzelfsprekend zijn er wél gevolgen voor het waterverbruik, dat zal toenemen vanwege de toename van de drinkwateropname onder condities van warmtestress.

5.2.7 Selectie van hittetolerante dierenrassen

Bronnen: Dagher, 1995 a & b; Ernst, 1995; Gowe en Fairfull, 1995; Ravagnolo et al., 2000; Yalcin et al., 2001; Mader et al., 2002; West, 2003; Mader en Davis, 2004; Nienaber en Hahn, 2004; DEFRA, 2005; Chase, 2006; Collier et al., 2006; Savoini en Moretti, 2006

5.2.7.1 Sector en subsectoren

-sector : veeteelt

-subsectoren : alle diersoorten

5.2.7.2 Omschrijving maatregel

(Landbouwproductie)dieren hebben een zeker adaptatievermogen aangezien klimaatwijzigingen geleidelijk optreden en dus in bepaalde mate aanpassingen toelaten. In selectie- en kruisingsprogramma's kan dit aanpassingsvermogen worden aangewend met als doel de selectie van meer hittetolerante dierenrassen. Een graduele overgang naar warmere en koudere omgevingstemperaturen wordt beter verdragen dan een plotselinge, grote temperatuursomslag aangezien een graduele overgang de mogelijkheid schept tot acclimatisering. Door op voorhand te worden blootgesteld aan hoge temperaturen wordt het dier als het ware 'voorbereid' op de toekomstige warmtestress waarmee het zal moeten afrekenen en zal het beter het hoofd kunnen bieden aan deze stress. De hittetolerantie van het dier neemt m.a.w. toe bij acclimatisering. Verschillende adaptaties zijn hiervoor verantwoordelijk. Daarnaast is de duur van de klimaatwijziging van belang om de tolerantie te evalueren.

Het vermogen van vleeskippen om aan warmtestress te acclimatiseren werd proefondervindelijk aangetoond: het geleidelijk verhogen van de staltemperatuur voorafgaand aan een plotse hittegolf leidt tot een reductie van hun mortaliteit. Dit is (voor een deel althans) het gevolg van een verminderde voeropname door de kippen, hetgeen hun warmteproductie reduceert. Een andere adaptatie met betrekking tot het eetgedrag (die in onderzoek bij rundvee duidelijk naar voren kwam) is een verschuiving van de voeropname naar de late namiddag en de vroege avond, wanneer de hoogste etmaaltemperaturen achter de rug zijn. Zulke adaptaties evenals adaptaties aan het cardiovasculair en het respiratoir systeem en bepaalde morfologische adaptaties (bijvoorbeeld een lager percentage lichaamsvet) dragen bij aan een lage, basale snelheid van het metabolisme bij hoge omgevingstemperaturen. Ook hormonale adaptaties spelen een rol, aangezien acclimatisering aan warmtestress een proces is onder endocriene controle, waarbij er betrokkenheid is van een heel aantal hormonen.

Vanwege verschillen in de snelheid van acclimatisering aan warmtestress bestaan er verschillen in resistentie (tolerantie) t.o.v. warmtestress tussen de verschillende rassen van eenzelfde diersoort. Bij het aanwenden van het genetisch potentieel voor een verbetering van warmte- (hite)tolerantie via selectie dient dit in het achterhoofd te worden gehouden. Verder is het belangrijk om in de mate van het mogelijke selectie voor hittetolerantie te combineren met selectie voor productiviteit. Op die manier verkrijgt men hittetolerante rassen die niet alleen minder warmtestressgevoelig zijn, maar ook een aantal interessante eigenschappen hebben die economisch gevaloriseerd kunnen worden.

Bij rundvee blijkt de vachtkleur een bepalende factor te zijn voor de mate waarin warmtestress wordt verdragen. Zo zullen koeien met een overwegend zwarte vachtkleur warmtestress-gevoeliger zijn dan koeien met een overwegend witte vachtkleur, waarbij er een relatie bestaat tussen vachtkleur en de hoeveelheid warmte die uit de zonnestraling wordt geabsorbeerd. Dit vertaalt zich in een hogere lichaamstemperatuur, een lagere gewichtstoename en een lagere melkproductie voor de meer zwarte koe in vergelijking met de meer witte koe. Aangezien vachtkleur bovendien erfelijk is, zou men hier misschien op kunnen selecteren. Daarnaast is het melatoninegehalte in de huid van belang om zonnebrand te vermijden. Bij pluimvee is gebleken dat witte leghennen niet altijd hittetoleranter zijn dan de bruine tegenhangers, zodat selectie op pluimkleur alvast minder bruikbaar lijkt, gezien het verenkloed op zich belangrijker is naar thermische isolatie toe dan de kleur van de veren.

Traditionele kruisingen bij rundvee wijzen op het voordeel van hybriden vanwege het zogenaamde heterosis-effect, dat onder condities van warmtestress wordt geobserveerd. Of kruisingen met Zebu-rassen uit de tropen en subtropen echter een voldoende productiviteit garanderen is twijfelachtig. Een kruisingsexperiment bij pluimvee waarbij een ras uit de Sinaiwoestijn werd gekruist met een White Leghorn-kip, resulteerde in een kip waarvan de eiproductie (= aantal eieren) onder condities van warmtestress deze van de White Leghorn benaderde, maar de grootte van de eieren was heel wat

kleiner. De onderzoekers die deze kruising uitvoerden opperden dat men de bewuste woestijnkip zou kunnen aanwenden in kruisingprogramma's voor de ontwikkeling van hittestolerante rassen. In zogenaamde synthetische of samengestelde rassen zou men kunnen trachten de potentie tot acclimatisering die in (sub)tropische vogels aanwezig is te verenigen met de hoge productiviteit waardoor commerciële rassen worden getypeerd.

Aangezien de genomen van vele diersoorten meer en meer ontrafeld raken, bestaat er een groeiende interesse in de identificatie van specifieke genen dewelke resistentie t.o.v. warmtestress kunnen verbeteren zonder dat hierdoor de productiviteit negatief wordt beïnvloed. Bij pluimvee bijvoorbeeld heeft men verscheidene zulke genen kunnen identificeren. Sommigen, waaronder het dominante gen voor een 'naakte nek' (naked neck, *Na*) beïnvloeden het vermogen tot hittestolerantie op een meer directe wijze (in dit specifieke geval via een reductie van de vederbedekking). Andere genen hebben een meer indirecte invloed op hittestolerantie, zoals het geslachtsgebonden recessief gen voor dwerggroei (dwarfism, *dw*) dat tot een reductie leidt van de lichaamsgrootte en een vergroting van de relatieve lichaamsoppervlakte, daardoor de warmteafgifte bevordert wordt. Een bijzondere categorie van genen zijn deze die coderen voor zogenaamde heat shock proteïnen, eiwitten die bijdragen aan een hogere tolerantie t.o.v. hoge temperaturen.

5.2.7.3 *Betrokkenen*

Bij de selectie van meer hittestolerante dierenrassen is een belangrijke rol weggelegd voor de overheid, die selectieprogramma's dient aan te moedigen door deze financieel te ondersteunen. De selecties zelf zouden kunnen worden uitgevoerd door instellingen als het ILVO, door praktijkcentra verbonden aan universiteiten of hogescholen (bijvoorbeeld het Zoötechnisch Centrum van de K.U.Leuven) en door private bedrijven.

5.2.7.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Hittestolerantie is vandaag de dag nog geen echt selectie criterium bij de ontwikkeling van nieuwe rassen. De reden hiervoor is het feit dat de selectie- en kruisingsprogramma's voor de ontwikkeling van nieuwe rassen die voor commerciële doeleinden zijn bestemd, voornamelijk in de meer gematigde klimaatstreken plaatsvinden, waar warmtestress vandaag geen al te groot probleem vormt. Anderzijds dient wel te worden opgemerkt dat de wetenschap steeds meer specifieke genen identificeert die voor hittestolerantie verantwoordelijk zijn, waardoor men in de toekomst vrij doelgericht op dit kenmerk zou kunnen selecteren.

5.2.7.5 *Termijn*

De selectie van nieuwe dierenrassen die beter zijn aangepast aan hoge temperaturen neemt jaren in beslag kan en is bijgevolg een lange termijn-maatregel.

5.2.7.6 *Kosten-baten*

Hoewel nergens exacte cijfers werden teruggevonden kunnen de kosten van een selectieprogramma hoog oplopen vanwege de lange duur ervan. Toch is selectie een adaptatiemaatregel die economisch valt te verantwoorden: het potentiële verlies aan inkomsten ten gevolge van een terugval in productiviteit gesommeerd over alle veebedrijven in Vlaanderen is waarschijnlijk groter dan de kost voor ontwikkeling en introductie van nieuwe veerassen die beter aan het nieuwe klimaat zijn aangepast.

5.2.7.7 *Milieu-effecten*

Het selecteren van meer hittestolerante dierenrassen heeft geen effecten voor het ruimtegebruik en hetzelfde geldt voor het energie- en waterverbruik.

Ook van een mitigerend effect is niet onmiddellijk sprake, tenzij men in de selectieprogramma's voor rundvee een lage methaanuitstoot meeneemt als selectie criterium.

5.2.8 Voorkomen en bestrijden van dierziekten

Bronnen: DEFRA, 2002; Mertens en Mellor, 2003; Mijten, 2007; Mijten, 2008 + persoonlijke communicatie met professor B. Goddeeris

5.2.8.1 Sector en subsectoren

-sector : veeteelt

-subsectoren : alle diersoorten

5.2.8.2 Omschrijving maatregel

Met de blauwtongepidemie van 2006 en 2007 en de economische schade die daar het gevolg van was nog vers in het geheugen, lijkt ziektebestrijding een belangrijke adaptatiemaatregel te zullen worden voor de dierlijke productie-sector in Vlaanderen. Omdat de blauwtongziekte toch wel hét typevoorbeeld is onder de dierziekten die als gevolg van de klimaatverandering de kop opsteken, zal de uitwerking van deze adaptatiemaatregel voornamelijk tot blauwtong worden beperkt.

Om verdere verspreiding van het blauwtongvirus tegen te gaan en schade ten gevolge van de blauwtongziekte te beperken is vaccinatie van de gevoelige diersoorten de enige aangewezen methode. Door vaccinatie wordt de immuunrespons in de gastheer gestimuleerd, waardoor deze een zekere resistentie t.o.v. het virus verwerft. Ook dieren die reeds een besmetting met blauwtong achter de rug hebben worden resistent door de aanwezigheid van antistoffen in het bloed.

Drie types vaccins zijn ter beschikking, met name geïnactiveerde (dode) vaccins, levende (afgezwakte) vaccins en recombinante vaccins. Levende vaccins, hoewel op grote schaal gebruikt in de wereld, hebben echter heel wat nadelen en bijwerkingen. Zo is er bijvoorbeeld het risico op de uitwisseling van genoomsegmenten tussen de virus-stam in het vaccin en virussen in het veld, hetgeen potentieel aanleiding kan geven tot het ontstaan van nieuwe virus-stammen met een hoge graad van virulentie. Ook bestaat bij vaccinatie met levende vaccins de kans dat het 'vaccin-virus' opnieuw virulent wordt, en dit zowel in de gastheer als in de vector. Vanwege de aanwezigheid van het 'vaccin-virus' in de bloedstroom van gevaccineerde dieren, kan het door de vectormug mogelijk worden opgepikt en overgebracht naar een nieuwe gastheer, waar het virus dan eventueel ziekte kan teweegbrengen indien deze gastheer niet gevaccineerd werd. Vaccinatie van drachtige herkauwers met levende vaccins tenslotte, leidt vaak tot reproductief falen (bijvoorbeeld abortie) of tot nakomelingen met aangeboren afwijkingen. Geïnactiveerde en recombinante vaccins (recombinant tot expressie komen van viruspartikel of van 'subunit-proteïne') worden veiliger geacht vanwege de onbekwaamheid van het 'vaccin-virus' tot replicatie.

Naast vaccinatie van de gastheer kan er ook gepoogd worden om de vector onder controle te houden. Zo is het bij blauwtong bijvoorbeeld raadzaam om gevoelige herkauwers op stal te zetten wanneer de vectoractiviteit maximaal is (1 uur vóór zonsondergang tot 1 uur na zonsopgang), omdat dit de kans op muggenbeten verkleint. De deuren van de stal dienen te worden gesloten en alle toegangen tot de stal kunnen best worden afgedekt met een net (muggengaas). Verder zou men kunnen trachten om het aantal potentiële broedplaatsen van de *Culicoides*-mug te reduceren. Zo strekt het tot aanbeveling om de mesthoop ver genoeg van het vee aan te leggen of deze te bedekken met een waterdicht plastic zeil, aangezien mesthopen een ideale broedomgeving zijn. Een vochtig milieu is eveneens in het voordeel van de *Culicoides*-mug, en dus is een goede drainage van de weide essentieel. Ook het herstellen van lekken in waterleidingen is belangrijk in dat verband. Een laatste manier tenslotte om de vector onder controle te houden is via chemische weg. Het toepassen van larviciden in het broedgebied van de mug is 1 optie. Een andere mogelijkheid is het gebruik van insecticiden met een lage toxiciteit voor zoogdieren (bijvoorbeeld synthetische pyrethroïden, zoals deltamethrin of fenvaleraat) in en om de stal, of rechtstreeks toegepast op de blauwtonggevoelige herkauwers. Een laatste optie tenslotte is de behandeling van de te beschermen dieren met een zogenaamd repellent (een insectenwerend middel) zoals diethyltoluamide (DEET), een verbinding die een sterk afstotend effect heeft t.o.v. de *Culicoides*-mug en die daarom het aantal muggenbeten kan reduceren. Het effect van chemische vectorcontrole is meestal echter slechts van tijdelijke aard, doch draagt bij aan het doorbreken van de cyclus van virusoverdracht tussen vector en gastheer.

5.2.8.3 Betrokkenen

Bij de hierboven omschreven adaptatiemaatregel zijn drie partijen betrokken, met name de individuele veehouder, de federale overheid en Europa.

Eerstgenoemde heeft als taak de opvolging van de algemene gezondheidstoestand van zijn veestapel en moet bij een vermoeden van ziekte zo snel mogelijk contact opnemen met een veearts, dewelke de diagnose stelt en de gepaste behandeling voorschrijft. Bij de uitvoering van deze behandeling is er dikwijls opnieuw betrokkenheid van de veehouder zelf. Tenslotte is de veehouder ook belast met het voorkomen van ziekte, hetgeen hij kan realiseren door goede landbouwpraktijken toe te passen en een aantal preventieve maatregelen in acht te nemen.

Een zo mogelijk nog belangrijkere rol is weggelegd voor de overheid. Eén van de kerntaken van de overheid zal er in bestaan om voorlichting te verschaffen aan zowel veehouders als veeartsen via infovergaderingen, brochures, en dergelijke meer. Naast voorlichting is de (federale) overheid ook belast met het ontwikkelen en coördineren van bestrijdings- en vaccinatieprogramma's.

Omdat de bestrijding van dierziekten als blauwtong een geharmoniseerde aanpak vereist over de landsgrenzen heen, is ook Europa betrokken partij bij implementatie van deze maatregel. Zo is er bij blauwtong de mogelijkheid tot cofinanciering van de vaccinatieprogramma's vanuit Europa, indien deze aan bepaalde voorwaarden voldoen.

5.2.8.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

In verschillende Zuid-Europese landen is er reeds ervaring opgedaan met het enten van dieren tegen de blauwtongziekte. In Vlaanderen en de ons omringende landen heeft men echter nog geen ervaringen met vaccinatie. In de loop van 2008 zal hier echter verandering in komen en zal er ook bij ons volop gevaccineerd worden. Europa heeft geopteerd voor massavaccinatie met een dekkingsgraad van 80 %, d.w.z. 80 % van de gevoelige diersoorten (rundvee, schapen, geiten en hertachtigen) moet worden ingeënt. Aan de lidstaten wordt echter de keuze gelaten over vrijwillig of verplicht vaccineren. Er zal enkel worden gebruik gemaakt van dode vaccins, omdat deze het veiligst zijn.

5.2.8.5 *Termijn*

Zoals uit de vorige paragraaf naar voren komt, is grootschalige vaccinatie tegen blauwtong reeds een adaptatiemaatregel voor de korte termijn. Ook de verschillende maatregelen die werden aangehaald om de vector onder controle te houden, zijn korte termijn-maatregelen, aangezien deze geen nieuwe technologie vereisen.

5.2.8.6 *Kosten-baten*

Bij veebedrijven waar blauwtong de kop opsteekt, kan de schade hoog oplopen (vaak duizenden euro's per bedrijf). De baten van een efficiënte ziektebestrijding uiteten zich dan ook in het beperken van deze schade.

Aangezien de vaccins voor blauwtong-serotype 8 op dit ogenblik (februari 2008) nog niet op de markt zijn (de versnelde registratieprocedure van het vaccin is nog aan de gang), is de exacte kostprijs van vaccinatie nog niet bekend. Wél is ondertussen duidelijk dat Europa in 2008 de volledige vaccinkosten op zich zal nemen, evenals de helft van de uitvoeringskosten. Of cofinanciering ook na 2008 nog mogelijk zal zijn, is op heden nog één groot vraagteken.

Het gebruik van insecticiden op bedrijfsniveau om de *Culicoides*-vector onder controle te helpen houden is doorgaans geen kosteneffectieve maatregel ter bestrijding van blauwtong.

5.2.8.7 *Milieu-effecten*

Vaccinatie heeft geen gevolgen voor het ruimtegebruik, en ook voor het energie- en waterverbruik is er niet onmiddellijk een directe impact. Milieu-effecten moeten voornamelijk worden gezocht in de eerder beschreven nadelen verbonden aan het gebruik van levende vaccins (cfr. het risico op de uitwisseling van genoomsegmenten tussen 'vaccin-virus' en 'veldvirus', waardoor mogelijks nieuwe, erg virulente virus-stammen kunnen ontstaan). Ook het gebruik van insecticiden ter controle van de vector heeft als vanzelfsprekend een zekere milieu-impact.

5.3 Adaptatiemaatregelen Plantaardige Productie

5.3.1 Aanpassen van plant- en oogstdata

Bronnen: Darwin et al., 1995; Easterling, 1996; Iglesias en Minguez, 1997; Adams et al., 1998; Cuculeanu et al., 1999; Risbey et al., 1999; Alexandrov en Hoogenboom, 2000; Mendelsohn, 2000; Tubiello et al., 2000; Olesen en Bindi, 2002; Smit en Skinner, 2002; van den Berg, 2007

5.3.1.1 Sector en subsectoren

- sector : akkerbouw, tuinbouw
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht

5.3.1.2 Omschrijving maatregel

De hogere omgevingstemperaturen waarmee de klimaatverandering zal gepaard gaan maken dat het zaai- of planttijdstip van 'zomergewassen' zoals maïs kan worden vervroegd in vergelijking met de huidige zaai- en plantdata. Vroeger zaaien of planten in de lente zorgt voor een verlenging van het groeiseizoen, zodat in combinatie met een cultivar met een lang groeiseizoen (= een cultivar met een lange ontwikkelingsperiode) er een toename is van het oogstpotentieel, op voorwaarde dat de vochtvoorziening doorheen het seizoen adequaat is en het risico op warmtestress laag. In combinatie met een cultivar met een korter groeiseizoen zal vroeger zaaien of planten vermijden dat het gewas wordt blootgesteld aan de droogte en hoge temperaturen gedurende de zomermaanden, zodat warmte- en waterstress zoveel mogelijk uit de weg worden gegaan. Wanneer het klimaat geen beperkingen oplegt, leiden cultivars met een korter groeiseizoen echter tot een lagere opbrengst in vergelijking met cultivars met een langer groeiseizoen. Vroeger zaaien of planten heeft verder ook een invloed op de efficiëntie van het watergebruik (WUE, water use efficiency), dewelke toeneemt, en de irrigatiebehoeften, dewelke afnemen, aangezien het gewas kan ontwikkelen in een periode waarin er minder evapotranspiratie is. Voor telers van pootaardappelen kan vroeger poten een noodzaak worden, aangezien warmer weer gunstiger is voor luizen en een warm voorjaar de kans vergroot op vroegtijdige besmetting met virusziekten. Ook in vele andere teelten zijn er voorbeelden waaruit blijkt dat een vervroegen van de teelt belangrijk kan zijn uit hoofde van ziekte- en plaagbeheersing. Aangezien de klimaatveranderingmodellen nattere winters voorspellen voor Vlaanderen, is het nog maar de vraag of de teeltlaag snel genoeg zal opdrogen opdat men vroeger zou kunnen zaaien/planten/poten. Zonder aangepaste mechanisatie (cfr. tractoren op rupsbanden, technieken van conserveringslandbouw enz.) zal het vroegere groeiseizoen waarschijnlijk alleen nog na drogere winters te benutten zijn. Ook moet worden opgemerkt dat een vroeger begin van de teelt het risico op vorstschade vergroot. Gezien de zonnestand is er in de maanden maart en april van een warm jaar immers meer risico op vorst dan in de maand mei van een koud jaar. Een vroegere aanvang van de teelt zal tenslotte ook een vroegere oogst toelaten. Het vroeger oogsten van het gewas vermindert de risico's op veldverliezen, maar moet steeds worden afgewogen tegenover de meeropbrengst die kan worden gerealiseerd met een cultivar met een lange ontwikkelingsperiode welke ten volle voordeel haalt uit het verlengde groeiseizoen.

Voor wintergranen zal de klimaatverandering het zaaitijdstip verlaten. Wintergranen worden immers doorgaans gezaaid bij temperaturen die het meest effectief zijn voor vernalisatie.

Het aanpassen van plant- en oogstdata leidt tot een verschuiven van de gewaskalender. Meerdere teelten per jaar worden mogelijk en opportuniteiten voor nieuwe teeltwisselingen bieden zich aan. Een interessante teeltwisseling is er één met koolzaad, aangezien met deze teeltwisseling een afname van de stikstofuitspoeling kan worden bewerkstelligd.

5.3.1.3 Betrokkenen

Het aanpassen van plant- en oogstdata is een adaptatiemaatregel die de verantwoordelijkheid draagt van de individuele akker- of tuinbouwer. De adaptatiemaatregel situeert zich op bedrijfsniveau.

5.3.1.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Het aanpassen van plant- en oogstdata is een eenvoudig uit te voeren praktijk die geen nieuwe technologieën vereist. Vandaag wordt deze maatregel reeds in beperkte mate toegepast. Zo zullen in een warm voorjaar de zaai- en plantdata al eens wat worden vervroegd, indien er tenminste zekerheid bestaat dat er geen kans meer bestaat op nachtvorst.

5.3.1.5 *Termijn*

De beschreven adaptatiemaatregel is een korte termijn-maatregel.

5.3.1.6 *Kosten-baten*

Het vervroegen (of verlaten) van plant- en oogstdata is een kosteloze aangelegenheid. De baten die zulke maatregel kan opleveren zijn vooral afhankelijk van de aangewende cultivar, waarvan de duur van het groeiseizoen bepalend is voor de biomassa- en financiële opbrengst.

5.3.1.7 *Milieu-effecten*

Het aanpassen van plant- en oogstdata heeft een zekere impact op het ruimtegebruik. Zo zal een vroeger zaai- of planttijdstip in combinatie met een cultivar met een langer groeiseizoen tot gevolg hebben dat het veld gedurende een langere periode van het jaar wordt bebouwd. Of omgekeerd: dat het veld minder lang braak ligt.

Vanwege het langer bedekt zijn van een veld zijn er gevolgen voor de koolstofsequestratie, dewelke over het algemeen toeneemt. Volgens meer recente inzichten echter zou een langer groeiseizoen in de herfst ook tot een hogere respiratie leiden en uiteindelijk tot een mogelijks verlies aan totale NPP (net primary production).

Bij vroeger zaaïen of planten zal het waterverbruik afnemen aangezien er een afname is van de irrigatiebehoeften en een toename van de WUE.

Voor het energieverbruik tenslotte zijn de gevolgen eerder beperkt.

5.3.2 *Substitutie van gewas of cultivar*

Bronnen: Darwin et al., 1995; Easterling, 1996; Iglesias en Minguez, 1997; Adams et al., 1998; Cuculeanu et al., 1999; Risbey et al., 1999; Alexandrov en Hoogenboom, 2000; Mendelsohn, 2000; Tubiello et al., 2000; Olesen en Bindi, 2002; Smit en Skinner, 2002; van den Berg, 2007

5.3.2.1 *Sector en subsectoren*

- sector : akkerbouw, tuinbouw
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.3.2.2 *Omschrijving maatregel*

Elk gewas heeft zijn eigen specifieke klimaatbehoeften. Als gevolg van de klimaatverandering is het dan ook goed mogelijk dat relatieve opbrengst en rendement van bepaalde gewassen worden bevoordeeld ten nadele van andere gewassen. Een mogelijke adaptatiestrategie is daarom een substitutie van de op Vlaamse bodem geteelde gewassen, waarbij de benadeelde gewassen worden vervangen door de gewassen die beter zijn aangepast aan het gewijzigd klimaat. Dergelijke adaptatie leidt tot een reductie van de potentiële verliezen die zouden plaatsvinden indien land- of tuinbouwers onder het warmer klimaat moesten doorgaan met de teelt van dezelfde gewassen. Mogelijks brengt de teelt van de beter aangepaste gewassen zelfs meer inkomsten binnen voor de individuele land- of tuinbouwer in vergelijking met de inkomsten die werden verkregen met de vroegere teelten. Met beter aangepaste gewassen worden gewassen bedoeld die vandaag reeds worden geteeld (hetzij hier in Vlaanderen, hetzij in regio's waarvan het huidige klimaat vergelijkbaar is met het toekomstige klimaat in Vlaanderen zoals voorspeld door klimaatveranderingmodellen) en die meer weerstandig zijn aan hoge temperaturen en droogte. Zo is bijvoorbeeld tarwe toleranter t.o.v. warmte en droogte in vergelijking met maïs, zodat de substitutie van maïs door tarwe een potentiële adaptatiemaatregel is. Wanneer een gewas met grotere behoefte aan water wordt vervangen door een gewas dat kleinere

hoeveelheden water nodig heeft, is er bovendien sprake van waterconservering, waardoor gewassubstitutie een bijkomend voordeel oplevert. Gewassubstitutie zou verder ook kunnen worden aangewend uit hoofde van productiestabilisatie. Zo zouden gewassen waarvan de opbrengst van jaar tot jaar nogal zou schommelen, vervangen kunnen worden door gewassen met een lagere productiviteit, doch meer stabiele opbrengst. Tenslotte zou gewassubstitutie kunnen worden toegepast omwille van economische beweegredenen, meer specifiek als antwoord op klimaatgeïnduceerde prijswijzigingen. Wanneer de klimaatverandering leidt tot een toename van de prijs van een bepaald gewas, zouden land- en tuinbouwers hierop kunnen reageren via een toename in het areaal van dat gewas, hetgeen bij gelijkblijvend ruimtegebruik gepaard gaat met een daling van het areaal van andere gewassen.

Een minder verregaande adaptatiestrategie om de gevolgen van de klimaatverandering beter te kunnen opvangen is substitutie van cultivars binnen een bepaald gewas. Analoog aan gewassubstitutie zou men ook bij cultivarsubstitutie de in het nieuwe klimaat benadeelde cultivars kunnen vervangen door beter aangepaste cultivars. Beter aangepaste cultivars zijn meer droogte- en hittetolerant en minder ziekte- en plaaggevoelig in vergelijking met de traditioneel geteelde cultivars. De klimaatverandering maakt robuustere cultivars noodzakelijk. Vanwege de overgang naar een warmer klimaat zal men moeten overschakelen op cultivars met andere thermische vereisten (bijvoorbeeld andere vernalisatie-vereisten). Trager ontwikkelende cultivars genieten de voorkeur aangezien deze compenseren voor de versnelde fenologische ontwikkeling als gevolg van de hogere omgevingstemperaturen waardoor het nieuwe klimaat zal worden gekenmerkt. In combinatie met een vervroeging van het zaai- of planttijdspit kan een cultivar met een langer groeiseizoen tot een toename leiden van het oogstpotentieel, zoals reeds eerder werd beschreven.

5.3.2.3 *Betrokkenen*

Het omschakelen van de teelt naar een ander gewas of een andere cultivar als antwoord op de klimaatverandering is de individuele verantwoordelijkheid van elke akker- of tuinbouwer. Substitutie van gewas of cultivar is bijgevolg een adaptatiemaatregel die zich situeert op bedrijfsniveau. Ook voor de overheid is echter een rol weggelegd: de overheid moet onderzoek aanmoedigen om uit te maken welke gewassen en/of cultivars het best zullen gedijen onder het nieuwe klimaat. Zodoende kan men onze akkerbouwers en tuinbouwers goed informeren over de te telen gewassen en cultivars en hoeven ze zelf niet teveel te experimenteren via ‘trial and error’.

5.3.2.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Op heden spelen klimaatvooruitzichten geen enkele rol bij de keuze van de aan te planten gewassen, maar zijn het hoofdzakelijk markt- en prijsvooruitzichten die een bepalende rol spelen. Zo kan men in 2008 bijvoorbeeld een toename verwachten van het areaal aan tarwe vanwege de hoge tarweprijzen die in 2007 werden genoteerd. Ook bij de cultivarkeuze is het toekomstige klimaat nog geen criterium dat meespeelt.

5.3.2.5 *Termijn*

Gewassubstituties als strategie om aan de klimaatverandering te adapteren zijn meestal een lange termijn-maatregel. Het omschakelen van het ene gewas naar het andere vergt immers een aantal aanpassingen die niet zomaar van de ene dag op de andere kunnen worden doorgevoerd, zeker niet wanneer het nieuwe gewas een gewas is dat voorheen niet op Vlaamse bodem werd geteeld. Zo moet er bijvoorbeeld via wetenschappelijk onderzoek eerst nog worden uitgemaakt welke gewassen het best zullen gedijen onder het nieuwe klimaat, moeten er nieuwe machines worden aangekocht om deze nieuwe gewassen te kunnen verbouwen, enzovoort. Cultivarsubstitutie als adaptatiemaatregel zou sneller ingang kunnen vinden dan gewassubstitutie.

5.3.2.6 *Kosten-baten*

De kosten van een gewassubstitutie zullen vooral afhankelijk zijn van de kosten van de aanpassingen die nodig zijn in de marge van de eigenlijke substitutie (kosten van nieuwe machines bijvoorbeeld). Gewassubstituties zullen in elk geval duurder zijn dan cultivarsubstituties. De baten van een gewas- of cultivarsubstitutie uiten zich in een reductie van de potentiële verliezen die zouden plaatsvinden indien land- of tuinbouwers onder het warmer klimaat moesten doorgaan met de teelt van dezelfde gewassen of cultivars.

5.3.2.7 Milieu-effecten

Gewassubstituties hebben een zekere impact op het ruimtegebruik aangezien het areaal van sommige gewassen zal afnemen, terwijl het areaal van andere gewassen zal toenemen.

Wanneer gewassubstitutie wordt toegepast omwille van waterconservering (cfr. een gewas met grotere behoefte aan water vervangen door een gewas dat kleinere hoeveelheden water nodig heeft), is een afname van het waterverbruik het logische gevolg.

Of gewas- en cultivarsubstituties ook een zeker mitigerend effect hebben, zal afhankelijk zijn van de vraag of de nieuw geteelde gewassen en cultivars al dan niet meer CO₂ kunnen fixeren in vergelijking met de huidige geteelde gewassen.

De gevolgen voor het energieverbruik zullen vermoedelijk gering zijn.

5.3.3 Ontwikkeling van nieuwe cultivars (variëteiten)

Bronnen: UCSD, s.d.; Darwin et al., 1995; Easterling, 1996; Adams et al., 1998; Alexandrov en Hoogenboom, 2000; Bray et al., 2000; Olesen en Bindi, 2002; Smit en Skinner, 2002

5.3.3.1 Sector en subsectoren

- sector : akkerbouw, tuinbouw

- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.3.3.2 Omschrijving maatregel

Om te anticiperen op de mogelijke gevolgen van de klimaatverandering voor gewasproductie zou men nieuwe gewasvariëteiten kunnen ontwikkelen, waarbij de aandacht vooral uitgaat naar droogte- en hittetolerantie en verder ook naar ziekteresistentie. Hierbij zouden zowel een conventionele aanpak als een meer biotechnologische aanpak (cfr. GGO's) gehanteerd kunnen worden.

Droogtetolerantie gaat bij vele planten gepaard met het vermogen om onder condities van waterstress de osmotische potentiaal (en bijgevolg ook de waterpotentiaal) van de plant te verlagen via zogenaamde 'osmotische aanpassing' (osmotic adjustment). Dit is het gebeuren waarbij er in de plant een accumulatie plaatsvindt van bepaalde organische verbindingen, de zogenaamde 'compatibele oplosstoffen' of compatibele solutes. Het betreft hier een kleine groep van organische verbindingen die zeer oplosbaar zijn en niet interfereren met het cellulaire metabolisme, zelfs niet bij hoge concentraties. Naast hun betrokkenheid bij 'osmotische aanpassing' zouden sommige compatible solutes ook bijkomende beschermende functies hebben bij een tekort aan water voor de plant. Men spreekt daarom ook wel eens van osmoprotectantia in de plaats van compatible solutes. Voorbeelden van compatible solutes (of osmoprotectantia) zijn onder meer: proline (een aminozuur), glycine betaïne en proline betaïne (quaternaire ammoniumverbindingen), en pinitol en mannitol (polyhydriche alcoholen). Om de droogtetolerantie van een gewas te versterken zou men kunnen pogen om via biotechnologische weg de aanmaak van zulke compatible solutes te stimuleren. Zo zou men droogtegevoelige cultivars kunnen transformeren met genen die coderen voor enzymen betrokken in de biosyntheseweg van deze verbindingen, om op die manier tot transgene planten te komen die meer droogtetolerant zijn via een verhoogde 'compatible solutes- synthese'. Verder kan droogtetolerantie ook geïntroduceerd worden via overexpressie van genen die niet onmiddellijk tussenkomen in de biosynthesewegen van de compatible solutes. Een voorbeeld zijn de Lea (late embryogenesis abundant)-genen die ontdekt werden in zaden tijdens het rijpen en indrogen en waarvan de genproducten (de zogeheten LEA-proteïnen) toenemen in hoeveelheid in de vegetatieve weefsels van planten die worden blootgesteld aan stress door een gebrek aan water. Zo leidt overexpressie van het HVA1-gen uit gerst in rijst tot een transgene rijstplant waarvan zowel de zaailing als de volwassen plant een verbeterde resistentie vertonen t.o.v. droogte. Ook andere door watergebrek geïnduceerde genen kunnen via overexpressie de droogtetolerantie van een gewas verbeteren.

Hittestress in planten zal net als in andere organismen gepaard gaan met een versnelde transcriptie en translatie van zogenaamde heat shock proteïnen (HSP's). Over het algemeen functioneren deze eiwitten als 'chaperonne-eiwitten' die bijdragen aan het goede verloop van de vouwing van andere eiwitten. De transcriptie van vele HSP's wordt gecontroleerd door de zogenaamde heat shock transcription factor (HSF), die planten beter bestand kan maken t.o.v. hitte. In biotechnologisch

onderzoek waarbij Arabidopsis-planten werden gecreëerd waarin de HSF constitutief actief is (constitutief tot expressie komen van HSP's!) kon immers een verhoogde hittestolerantie worden aangetoond. Overexpressie van het HSF-construct zou daarom mogelijks de hittestolerantie van gewassen in het veld kunnen verbeteren. Tenslotte moet worden opgemerkt dat de klimaatverandering en bijgevolg ook de bijhorende temperatuurswijzigingen geleidelijk optreden, waardoor planten enigszins kunnen acclimatiseren en een zekere thermotolerantie kunnen verwerven op een meer 'natuurlijke wijze'.

Het introduceren van ziekte- of plaagresistentie in een gewas zal hoofdzakelijk geschieden via biotechnologische weg. Een bekend voorbeeld in dat verband zijn de *Bt*-gewassen (cfr. *Bt*-mais), waarbij het gewas getransformeerd werd met genen afkomstig van de *Bacillus thuringiensis*-bacterie, die coderen voor bepaalde kristalproteïnen (de zogenaamde *Bt*-proteïnen of *Bt*-kristallen) met een toxische werking t.o.v. bepaalde plaaginsecten. Op die manier zal het gewas deze kristalproteïnen tot expressie brengen, hetgeen een bescherming impliceert t.o.v. een aantal specifieke insectenplagen.

5.3.3.3 *Betrokkenen*

Het ontwikkelen van nieuwe gewasvariëteiten is een adaptatiemaatregel waarbij er betrokkenheid is van drie partijen. Ten eerste is er de overheid die de zoektocht naar nieuwe, meer droogte- en hittestolerante gewasvariëteiten financieel moet ondersteunen. Het ontwikkelen en vermarkten van de nieuwe variëteiten is de taak van een tweede partij, de private kweekbedrijven. Een derde partij tenslotte zijn de individuele land- en tuinbouwers die de nieuw ontwikkelde variëteiten moeten opnemen in hun teeltplannen.

5.3.3.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Droogte- en hittestolerantie zijn vandaag de dag reeds selectiecriteria bij de ontwikkeling van nieuwe gewasvariëteiten, zij het in beperkte mate. Aan een hoge harvest index wordt bijvoorbeeld veel meer belang gehecht. Anderzijds evolueert de biotechnologie inclusief de gentechnologie alsmaar verder, waardoor men steeds meer mogelijkheden heeft om de tolerantie van de plant ten aanzien van droogte en hitte te vergroten.

5.3.3.5 *Termijn*

De ontwikkeling van nieuwe gewasvariëteiten moet worden aanzien als een adaptatiemaatregel voor de lange termijn, aangezien dergelijke ontwikkeling vaak jaren werk vergt.

5.3.3.6 *Kosten-baten*

Vanwege het lange termijn-karakter van de ontwikkeling van een nieuwe gewasvariëteit en de dure technologieën die aan deze ontwikkeling te pas komen, kunnen de kosten van de hier beschreven adaptatiemaatregel hoog oplopen. Een schatting van de precieze kosten is echter moeilijk. Wél is het waarschijnlijk dat de kosten voor de ontwikkeling en introductie van een nieuwe gewasvariëteit lager zullen uitvallen dan de potentiële verliezen aan inkomsten gesommeerd over gans Vlaanderen als gevolg van hitte- en waterstress bij gebruik van een huidige variëteit.

5.3.3.7 *Milieu-effecten*

Het ontwikkelen van nieuwe gewasvariëteiten heeft geen effecten voor het ruimtegebruik en idem voor het water- en energieverbruik..

Wanneer men bij de ontwikkeling van nieuwe variëteiten een hoge fotosynthese-efficiëntie meeneemt als selectie criterium, heeft de beschreven adaptatiemaatregel mogelijks ook een zeker mitigerend effect. Een hoge fotosynthese-efficiëntie impliceert immers vaak een verhoogde affiniteit van het gewas voor CO₂. Het gewas zal m.a.w. makkelijker CO₂ kunnen fixeren, hetgeen de concentratie van dit broeikasgas in de atmosfeer kan doen afnemen, zij het in zeer kleine mate.

5.3.4 Gewassen voor biomassaproductie

5.3.4.1 Sector en subsectoren

sector: akkerbouw

5.3.4.2 Omschrijving maatregel

Dit is een bijzondere maatregel omdat hij adaptatie en mitigatie combineert. Het mitigerend effect van biomassateelten is niet zozeer te wijten aan sequestratie, doch aan de substitutie van fossiele brandstoffen. Belangrijk daarbij is de substitutiefactor die zeer gering is bij de eerste generatie bio-energie-teelten en beter bij de tweede generatie, vooral bij houtachtige gewassen. Met een groeiende vraag naar hernieuwbare energie stijgt de vraag naar de teelt van biomassagewassen. Opportuniteiten voor de Vlaamse landbouw liggen in het gebruik van reeds bestaande teelten (zetmeel-, suiker- en oliehoudende gewassen) en vooral in het ontwikkelen van nieuwe (stresstolerante) gewassen of variëteiten (zie ook sectie 5.3.3).

5.3.4.3 Betrokkenen

Het aanpassen van teeltschema's om biomassagewassen te telen is een beslissing die zich op bedrijfsniveau situeert. De overheid kan hier echter een sturende rol spelen door informatie te leveren en aanmoedigingspremies te geven. Een groter rol is hier weggelegd voor onderzoek zowel naar nieuwe teelten voor biomassaproductie als naar het verband met het huidige landgebruik en functionaliteit.

5.3.4.4 Mate van ontwikkeling en/of toepassing

Het verbouwen van gewassen die primair, geheel of ten dele, worden aangeplant ten behoeve van het opwekken van energie of als brandstof, is op heden geen standaardpraktijk in Vlaanderen. De enige biomassateelt op Vlaamse bodem die op dit ogenblik het vermelden waard is, is de koolzaadteelt, hoewel ons koolzaadareaal in vergelijking met een land als Duitsland eerder marginaal te noemen is.

5.3.4.5 Termijn

Het telen van biomassagewassen is een maatregel die reeds op de korte termijn meer algemeen ingang zou kunnen vinden, indien het tenminste gewassen betreft waarmee men in Vlaanderen reeds enige teeltveraring heeft (bijvoorbeeld koolzaad). De ontwikkeling van nieuwe gewassen of variëteiten voor biomassaproductie of het introduceren van biomassagewassen die voorheen niet in Vlaanderen werden verbouwd (bijvoorbeeld soja), zullen eerder maatregelen zijn voor de lange termijn.

5.3.4.6 Kosten-baten

De baten van de hierboven omschreven adaptatiemaatregel situeren zich in de tegemoetkoming aan de Kyoto-doelstellingen.

Het kostenplaatje verbonden aan de implementatie van deze maatregel zal ondermeer afhankelijk zijn van de kosten voor nieuwe machines en de kosten voor de ontwikkeling van nieuwe gewassen of variëteiten.

5.3.4.7 Milieu-effecten

Het verbouwen van biomassagewassen heeft een impact op het ruimtegebruik, vooral omdat er een groot verband is met het huidige landgebruik en functionaliteit. Productie van biomassagewassen concurreert met andere gebruiksmogelijkheden van grond, zoals voedselproductie.

De reductie van CO₂-emissie is een opportuniteit voor de biomassateelt. Via een toename van het aandeel van hernieuwbare energie in het totale energieverbruik (substitutie van fossiele brandstoffen), kan immers een bijdrage worden geleverd aan de reductie van de CO₂-uitstoot. Bijgevolg heeft de teelt van biomassagewassen een mitigerend effect, zoals hierboven reeds werd aangehaald.

Voor het waterverbruik heeft deze adaptatiemaatregel geen onmiddellijke gevolgen.

5.3.5 Waterconserverende en gereduceerde bodembewerking

Bronnen: Easterling, 1996; Iglesias en Minguéz, 1997; Adams *et al.*, 1998; Smith *et al.*, 2000; Olesen en Bindi, 2002; Smit en Skinner, 2002

5.3.5.1 Sector en subsectoren

- sector: akkerbouw, tuinbouw
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht

5.3.5.2 Omschrijving maatregel

Ter bestrijding van droogte kunnen verscheidene waterconserverende technieken worden toegepast, dewelke ook hun nut kunnen bewijzen als potentiële adaptatiemaatregel om de impact van de klimaatverandering te reduceren. Een voorbeeld van dergelijke technieken is gereduceerde bodembewerking ('conservation tillage'). Gereduceerde bodembewerking beoogt zo weinig mogelijk bodembewerkingen. Gewasresten van het vorig seizoen worden geheel of gedeeltelijk op het veld achtergelaten aan de oppervlakte in plaats van ze volledig onder te ploegen. Minimale bodembewerking helpt de bodem om vocht vast te houden via een reductie van de evaporatie en een toename van de infiltratie van neerslag in de bodem door herstel van de diepgravende regenwormen die permanente verticale drainagekanalen onderhouden (cfr. conservation tillage in Brazilië: in een leembodem met intense bodembewerking (dus geen conservation tillage) reeds waterlogging bij 800 mm neerslag per jaar; in een bodem met wormen (conservation tillage!) nog geen waterlogging bij 1500 mm per jaar). Gereduceerde bodembewerking zorgt tenslotte ook voor een verlaging van de bodemtemperatuur.

Door een verhoogde neerslagdynamiek en -intensiteit voornamelijk in het voorjaar en najaar verminderen de bewerkbaarheid en berijdbaarheid van het land (waterzieke grond). Dit geldt in het voorjaar voor zaaien en poten en in het najaar voor de oogst van late gewassen zoals aardappelen en bieten. Grondbewerking en bemesting in voor- en najaar kunnen minder goed plaatsvinden, hetgeen tot opbrengstderving en oogstschade leidt. Minimale bodembewerking helpt echter de bodem te vrijwaren niet alleen van wind- en watererosie maar ook van bodemverdichting door een verminderd (minimaal) gebruik van zware machines op het land.

5.3.5.3 Betrokkenen

Gereduceerde bodembewerking is een adaptatiemaatregel die zich voornamelijk op bedrijfsniveau situeert. Het is immers de individuele land- of tuinbouwer die moet afstappen van het gebruik om de gewasresten van een teelt onder te ploegen. Ook de overheid heeft een belangrijke rol te spelen bij de implementatie van deze maatregel. Via voorlichting en eventueel ook via subsidies kan zij trachten de adoptiegraad van gereduceerde bodembewerking te doen toenemen.

5.3.5.4 Mate van ontwikkeling en/of toepassing

In Europa is gereduceerde bodembewerking veel minder gangbaar in vergelijking met Noord-Amerika. Echter, de laatste jaren is de interesse voor deze techniek bij ons gegroeid.

5.3.5.5 Termijn

Gereduceerde bodembewerking is een voorbeeld van een adaptatiemaatregel die reeds op de korte termijn algemeen ingang zou kunnen vinden.

5.3.5.6 Kosten-baten

Vanwege de verminderde grondbewerking zal gereduceerde bodembewerking leiden tot een besparing op de arbeids- en brandstofkosten.

5.3.5.7 Milieu-effecten

Gereduceerde bodembewerking heeft geen onmiddellijke gevolgen voor het ruimtegebruik, noch voor het waterverbruik.

Via koolstofsequestratie in de bodem heeft deze adaptatiemaatregel een zeker mitigerend effect. Bij zero bodembewerking of no tillage (een vorm van gereduceerde bodembewerking waarbij grondbewerking volledig wordt afgezworen en waar er rechtstreeks wordt gezaaid of geplant in de gewasresten van de vorige teelt die geheel op het veld werden achtergelaten) zal er een significante reductie zijn van de koolstofemissie gerelateerd aan de verbranding van fossiele brandstof (bij afwezigheid van grondbewerking blijft de tractor aan de kant; afname van het verbruik van fossiele energie!), die wordt geschat op 23,8 kg C/ha/jaar. Het totale potentieel voor koolstofmitigatie bij zero bodembewerking wordt dan ook berekend als de som van de jaarlijkse accumulatie aan organische koolstof in de bodem via koolstof-sequestratie en de koolstof-emissiereductie via een verminderd gebruik van fossiele brandstof. Anderzijds wijst onderzoek uit dat de emissies van CH₄ en N₂O stijgen bij minimale grondbewerking, vooral indien geen aangepaste technieken (injectie) worden gebruikt om mest toe te dienen. Bij zero bodembewerking is er echter een betere interne recyclage van stikstof, waardoor er minder bemesting nodig is, met een positieve weerslag op het milieu. De waterhuishouding speelt een grote rol bij gasuitwisseling: bodems waarop zero grondbewerking wordt toegepast zijn een bron van broeikasgassen, vooral bij waterconcentraties groter dan deze op veldcapaciteit. In het geval van CH₄ is dit ook te wijten aan anaërobe omstandigheden. Het spreekt vanzelf dat er interactie is met irrigatie.

5.3.6 Irrigatie en drainage

Bronnen: Rosenberg, 1992; Pereira, 1999; de Loë et al., 2001; Nillesen en van Ierland, 2006

5.3.6.1 Sector en subsectoren

- sector: voornamelijk tuinbouw, in mindere mate akkerbouw
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.3.6.2 Omschrijving maatregel

De lengte van het groeiseizoen ten gevolge van de klimaatverandering laat voor Vlaanderen een gestage stijging zien. Het groeiseizoen wordt echter niet alleen bepaald door de temperatuur. Planten kunnen alleen groeien indien ze voldoende vocht krijgen. De droogteschade ontstaat, doordat de gewassen niet die hoeveelheid kunnen verdampen, die nodig is voor een optimale groei. Een toenemend actueel tekort op de waterbalans (neerslag min evapotranspiratie) ten gevolge van droogteperiodes tijdens het groeiseizoen kan echter gecompenseerd worden door irrigatie. In vergelijking met vandaag zal de irrigatievraag in de toekomst alleen maar toenemen. Naast een grotere irrigatiebehoefte voor teelten die nu reeds worden geïrrigeerd, is het niet ondenkbaar dat teelten die vandaag nog zonder beregening kunnen, als gevolg van de klimaatverandering toch een zekere irrigatie zullen behoeven (bijvoorbeeld maïs wordt op heden wel eens geïrrigeerd in de Kempen; in de toekomst wordt beregening van maïs waarschijnlijk een standaardpraktijk). Aangezien meer irrigatiewater zal nodig zijn om de opbrengsten op het huidige niveau te houden, zal er bovendien een afname zijn van de 'irrigatiegebruiksefficiëntie' (irrigation use efficiency, IUE), die wordt gedefinieerd als de (drogestof)opbrengst die wordt gerealiseerd bij toepassing van een bepaalde hoeveelheid irrigatiewater. Belangrijk bij het toepassen van irrigatie is de interactie met andere adaptatiemaatregelen. Zo leiden het vroeger zaaien of planten en/of het aanwenden van cultivars met een korter groeiseizoen tot een lagere irrigatievraag en kan de IUE gehandhaafd worden of mogelijk zelfs worden verbeterd.

Bij de huidige omvang van irrigatie kan aan het neerslagtekort en de watervraag in de zomer worden voldaan door het oppervlaktewatersysteem. Een te beperkte irrigatiecapaciteit of een irrigatieverbod met bijvoorbeeld grondwater teneinde lage grondwaterstanden te voorkomen, leidt echter vaak tot schade. Investeren in een grotere irrigatiecapaciteit lijkt aangewezen bij een toename van droogteperiodes tijdens het groeiseizoen. Naast het voorzien in nieuwe irrigatie-infrastructuur, kan ook de efficiëntie van de reeds bestaande infrastructuur worden verbeterd. Het efficiënter beheren van de bestaande irrigatiesystemen omvat onder meer het opstellen van irrigatieschema's. Deze proberen een antwoord te formuleren op de vraag wanneer en hoeveel er moet worden beregend. Hiervoor dient men de waterbehoeften van het gewas te kennen, dewelke men kan berekenen via gewasopvolging, en dient men de status van het vochtgehalte in de bodem nauwgezet op te volgen, dewelke men kan aanwenden voor het simuleren van de bodemwaterbalans. Irrigatieschema's kunnen worden geïntegreerd in irrigatiemanagement-systemen. Een voorbeeld van een dergelijk

management-systeem is een recentelijk ontwikkeld systeem voor de berekening van golfcourts in de V.S. dat bestaat uit een irrigatiesysteem en een netwerk voor de monitoring van het vochtgehalte in de bodem gelinkt aan een weersstation via een online internetverbinding. Irrigatie gebeurt dan op basis van de status van het actuele bodemvochtgehalte en weersvoorspellingen voor de komende 5 dagen.

Drainage zal vooral belangrijk zijn in het voor- en najaar, omwille van de verhoogde neerslagdynamiek en -intensiteit in deze perioden van het jaar. Zonder drainage zal vroeger zaaïen of planten in vele gevallen al niet mogelijk zijn, aangezien de bewerkbaarheid en berijdbaarheid van het land te laag zullen zijn vanwege te nat.

5.3.6.3 *Betrokkenen*

Irrigatie en drainage zijn adaptatiemaatregelen die zich voornamelijk op bedrijfsniveau situeren en investeringen vragen op dat niveau. De adoptie van nieuwe irrigatie- en drainagetechnieken en het investeren in nieuwe irrigatie- en drainage-infrastructuur is immers de verantwoordelijkheid van de individuele land- of tuinbouwer. Verder is ook voor de agri-business-sector (en in mindere mate voor de overheid) een rol weggelegd via de ontwikkeling van nieuwe irrigatie- en drainagetechnologie.

5.3.6.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Momenteel wordt bijna uitsluitend berekend en gedraineerd in de tuinbouwsector (groente-, fruit- en sierteelt). Akkerbouwgewassen worden in Vlaanderen op heden quasi nooit berekend of gedraineerd.

5.3.6.5 *Termijn*

De hier besproken adaptatiemaatregel betreft een maatregel die zich reeds kan manifesteren op de korte termijn.

5.3.6.6 *Kosten-baten*

Afhankelijk van de opbrengst van de teelt is de investering in irrigatiesystemen rendabel. De kosten voor de berekening met oppervlaktewater van akkergewassen (aardappel, suikerbiet, tarwe), groenten (wortel, ui, spruiten, bloemkool) of bloembollen bedragen € 90,- tot € 300,- per hectare per jaar in de veronderstelling dat 3 berekeningstoedieningen plaatsgrijpen. Voor groenten zijn de kosten het hoogst.

De investeringskosten liggen rond de € 10.000,- voor een geautomatiseerd irrigatiemanagementsysteem en nog eens zoveel per hectare voor de recurrente kosten zoals onderhoud. De investering is enkel efficiënt indien een deel van het teeltplan bestaat uit tuinbouwproducten. In Zuid-West Nederland berekende men een toename van het bedrijfsinkomen door irrigatie met € 175,- tot € 743,- per hectare per jaar onder de huidige klimaatcondities (2005). Indien als gevolg van de klimaatverandering de droogte zou toenemen met 22% respectievelijk 37%, worden de jaarlijkse winsten door irrigatie tussen € 213,- en € 1045,- per hectare verwacht. Een stijging in de productie van beregende hoog-rendabele gewassen zal de winstmarge echter doen afnemen door een mogelijk overaanbod op de markt.

Voor de kosten van een drainage-systeem werden niet onmiddellijk kwantitatieve gegevens teruggevonden.

5.3.6.7 *Milieu-effecten*

Het voorzien van een adequate irrigatie en/of drainage is een adaptatiemaatregel met weinig directe impact op het ruimtegebruik; er is echter een impact op de functionaliteit van het landgebruik.

Bij irrigatie van de teelt zal het energieverbruik per oppervlakte teelt stijgen, aangezien irrigatie energie vereist (o.a. pompen, beregeningssystemen). Voor de drainage van een veld is echter niet onmiddellijk energie benodigd en bijgevolg heeft drainage geen impact op het energieverbruik.

Verder gaat irrigatie inherent gepaard met een toename van het waterverbruik van een teelt. In de droge zomermaanden kenmerkend voor ons toekomstig klimaat zal irrigatie dan ook de waterschaarste nog versterken. Vandaar het belang van de captatie en de opslag van water, voornamelijk gedurende de nattere wintermaanden (zie 3.4.1). Drainage is in feite op zich reeds een vorm van watercaptatie (cfr. via de aanleg van drainagebuizen kan overtollig water gerecupereerd worden).

5.3.7 Bestrijden van ziekten, plagen en onkruiden

Bronnen: Olesen en Bindi, 2002

5.3.7.1 *Sector en subsectoren*

- sector: akkerbouw, tuinbouw
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.3.7.2 *Omschrijving maatregel*

Zoals in hoofdstuk 4 werd uiteengezet zal de klimaatverandering globaal leiden tot een toename van de problemen met plantenziekten en -plagen, evenals een toename van het verschijnen van onkruiden in de teelt. Een potentiële adaptatiemaatregel zou er dan ook in kunnen bestaan om het pesticidegebruik in de toekomst te intensifiëren. Vanwege de negatieve impact op het milieu valt zulke maatregel echter onder geen enkel beding te verantwoorden. Een goed alternatief waarvoor wél kan worden geijverd is een verhoging van de adoptiegraad van de praktijk van de biologische en de geïntegreerde plantenbescherming (integrated pest management, IPM).

5.3.7.3 *Betrokkenen*

De individuele land- of tuinbouwer is de voornaamste actor die betrokkenheid heeft bij de hierboven omschreven adaptatiemaatregel. Naast het nauwgezet opvolgen van zijn gewas om eventuele ziekten, plagen of onkruiden reeds in een vroeg stadium vast te stellen, is hij ook belast met de eigenlijke bestrijding ervan. Ook de agri-business-sector en de overheid zijn betrokken bij implementatie van deze maatregel. Eerstgenoemde heeft als taak de ontwikkeling van meer milieuvriendelijke en biologische bestrijdingsmethoden. De taak van de overheid zou er in kunnen bestaan om het pesticidegebruik te ontmoedigen (door bijvoorbeeld hogere belastingen op te leggen) en aldus de biologische en de geïntegreerde bestrijding te stimuleren.

5.3.7.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

In de glastuinbouwsector en de fruitteeltsector kennen de biologische en de geïntegreerde bestrijding op heden reeds een hoge graad van adoptie. Zeker in de glastuinbouwsector kunnen ziekten en plagen vandaag dikwijls al onder controle worden gehouden zonder ook maar 1 pesticide te gebruiken. In de akkerbouwsector daarentegen gebeurt de ziekte- en plaagbestrijding nog voornamelijk via chemische weg.

5.3.7.5 *Termijn*

Aangezien biologische en geïntegreerde gewasbescherming in de Vlaamse land- en tuinbouw reeds sinds jaren worden toegepast, zal een verhoging van de adoptiegraad van deze praktijken reeds op de korte termijn gerealiseerd kunnen worden.

5.3.7.6 *Kosten-baten*

De baten van ziekte- en plaagbestrijding kunnen omschreven worden als het vermijden van productieverliezen die het gevolg zouden zijn van ziekte- en plaagaantasting van het gewas.

5.3.7.7 *Milieu-effecten*

Wanneer volop de kaart wordt getrokken van de biologische en de geïntegreerde bestrijding van plantenziekten en -plagen is een zeker mitigerend effect niet ondenkbaar via een reductie van de emissie van broeikasgassen gerelateerd aan de verminderde productie van pesticiden. Voor het ruimtegebruik heeft de beschreven adaptatiemaatregel geen onmiddellijke gevolgen. Wat het waterverbruik betreft kan gesteld worden dat een toename van de inzet van biologische en geïntegreerde gewasbescherming geen al te grote impact zal hebben op de watervoorraden, aangezien het aanwenden van natuurlijke vijanden (parasieten en/of predatoren) normalerwijze geen gebruik van water behoeft.

5.4 Adaptatiemaatregelen andere diensten

5.4.1 Wateropslag op het landbouwbedrijf

Bronnen: Easterling, 1996; Mendelsohn, 2000; de Loë et al., 2001; Smit en Skinner, 2002; Nillesen en van Ierland, 2006

5.4.1.1 Sector en subsectoren

-sector: akkerbouw, tuinbouw, veeteelt (inclusief grasland)

-subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.4.1.2 Omschrijving maatregel

De klimaatverandering geeft aanleiding tot nattere winters en drogere zomers. Een potentiële adaptatiemaatregel zou er bijgevolg in bestaan om het overtollige water in de winter te capteren en het op te slaan op het landbouwbedrijf (blauwe dienst van de landbouwsector!), zodat het kan worden aangewend tijdens de zomermaanden en eventuele watertekorten in die periode worden vermeden. Deze adaptatiemaatregel omvat verschillende deelmaatregelen:

- Capteren van regenwater voor drinkwater voor vee of voor kleinschalige irrigatie van tuinbouwteelten. Dit vereist de aanleg van regenwaterputten en/of vijvers.
- Capteren van schoon infiltratiewater. Dit vereist de aanleg van retentie- en infiltratie-structuren om infiltratiewater te capteren in geschikte zones enerzijds en het bewaken van de kwaliteit anderzijds. De aanleg van infiltratiestructuren kan beschouwd worden als de uitbreiding van de waterwingebieden. De aanleg van retentiestructuren zorgt voor het bufferen van afvoer en erosie.
- Capteren van overtollig oppervlaktewater. De opslag van overtollig oppervlaktewater op landbouwgronden kan gaan over de aanleg van overstromingsgebieden, grachten en polders. Het land blijft in het bezit van de landbouwer maar hij wordt vergoed voor de schade geleden door eventuele overstroming.

5.4.1.3 Betrokkenen

Wateropslag op het landbouwbedrijf situeert zich op verschillende niveaus: op het landbouwbedrijf, op lokaal niveau en op regionaal niveau. In de eerste plaats dient het een keuze te zijn voor de betrokken landbouwer. Hier dient afgestemd te worden met de bekkenbeheerplannen op lokaal en regionaal niveau.

5.4.1.4 Mate van ontwikkeling en/of toepassing

De aanleg van regenwaterputten op landbouwbedrijven in het algemeen en van vijvers specifiek op glastuinbouwbedrijven zijn vandaag quasi standaardpraktijken. Ook het capteren van overtollig oppervlaktewater wordt vandaag reeds toegepast (cfr. het installeren van overstromingsgebieden in het kader van het geactualiseerde Sigmaplan).

5.4.1.5 Termijn

De meeste van de hierboven geformuleerde deelmaatregelen zouden reeds op de korte termijn meer algemeen ingang kunnen vinden, aangezien het meestal maatregelen betreft die ook op heden al enige toepassing kennen. Uitzondering hierop is de afbakening van overstromingsgebieden, hetgeen een lange termijn-aangelegenheid is.

5.4.1.6 Kosten-baten

De baten van deze adaptatiemaatregel omvatten voornamelijk het vermijden van watertekorten in droogteperiodes en een reductie van de overstromingsrisico's.

Wat de kosten betreft zal vooral het capteren van overtollig oppervlaktewater een kost met zich meebrengen. De landbouwer als bewaker van het oppervlaktewaternet dient immers gecompenseerd te worden voor de derving van inkomsten tengevolge van eventuele overstroming en hetzelfde geldt bij onteigening. De compensatie voor inkomstenderving door overstroming kan bestaan uit een jaarlijkse compensatie voor schade aan het gewas of uit een éénmalige vergoeding voor de afname van de waarde van de grond, waarbij de exacte kost in beide gevallen afhankelijk zal zijn van de kans op overstroming.

5.4.1.7 *Milieu-effecten*

Er is weinig directe impact op het ruimtegebruik in het geval van waterputten of retentie- en infiltratiestructuren. In het geval van capteren van overtollig oppervlaktewater is de impact op het ruimtegebruik echter veel groter. Zo vereist bijvoorbeeld het afbakenen van overstromingsgebieden een zorgvuldige ruimtelijke planning.

Voor het energieverbruik heeft de hier besproken adaptatiemaatregel geen onmiddellijke gevolgen, althans niet rechtstreeks (de opslag van water op zich vergt geen additionele energie!). Onrechtstreeks is er waarschijnlijk wél sprake van een zekere toename in het energieverbruik (cfr. oppompen van het gecapteerde water voor bijvoorbeeld irrigatie vergt extra energie).

5.4.2 Bewaken van residu's en emissies van nutriënten en pesticiden

5.4.2.1 *Sector en subsectoren*

Sector: akkerbouw, tuinbouw, veeteelt (inclusief grasland)

5.4.2.2 *Omschrijving maatregel*

Uitloging van agro-chemicaliën zoals nutriënten en pesticidenresidu's dienen te worden vermeden in het oppervlakte- en grondwater. De landbouw moet efficiënter omgaan met agro-chemicaliën zoals nutriënten en pesticiden om de verliezen waarvan verwacht wordt dat ze zullen toenemen onder de nieuwe klimaatomstandigheden (cfr. verhoogde neerslagdynamiek en -intensiteit, voornamelijk in voor- en najaar), onder controle te houden.

5.4.2.3 *Betrokkenen*

Voor het welslagen van deze adaptatiemaatregel is een belangrijke taak weggelegd voor de individuele land- en tuinbouwers. Meer nog dan nu reeds het geval is dienen zijn de codes van goede landbouwpraktijken inzake gewasbescherming en bemesting strikt na te leven. Ook de overheid heeft een belangrijke functie te vervullen. Naast voorlichting is de overheid bijvoorbeeld ook belast met het opvolgen van de concentraties aan agro-chemicaliën in oppervlakte- en grondwater via de meetnetten van de VMM (cfr. het MAP-meetnet), en ook penalisatie behoort tot het takenpakket (cfr. heffingen op waterverontreiniging).

5.4.2.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Op heden is het bewaken van de goede kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater één van de pijlers van het milieubeleid in Vlaanderen en wordt de wetgeving daaromtrent nog voortdurend aangepast en verfijnd. Zo zijn we bijvoorbeeld voor de implementatie van de Europese nitraatrichtlijn uit 1991 inzake de bescherming van water tegen verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen vandaag reeds aanbeland aan het derde MAP.

5.4.2.5 *Termijn*

Aangezien deze adaptatiemaatregel in feite neerkomt op een verderzetting en intensivering van reeds bestaande praktijken, betreft het een maatregel voor de korte termijn.

5.4.2.6 *Kosten-baten*

De baten van het bewaken van residu's en emissies van nutriënten en pesticiden kunnen worden aangeduid als het garanderen van een aanvaardbare kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater in Vlaanderen. Een kwantitatieve inschatting van de kosten nodig voor de uitvoering van deze maatregel is moeilijk.

5.4.2.7 *Milieu-effecten*

De hier beschreven adaptatiemaatregel heeft weinig directe impact op het energieverbruik en ook voor het waterverbruik zijn er geen onmiddellijke gevolgen.

Wél is er een zekere impact op het ruimtegebruik, meer bepaald via het in acht nemen van bufferstroken langsheen waterlopen, waarin er omwille van het gevaar voor drift of run-off niet behandeld mag worden met gewasbeschermingsmiddelen en waarin er ook een bemestingsverbod geldt. Meestal zal men in dergelijke bufferzones opteren om geen gewas aan te planten, zodat de effectief bewerkbare oppervlakte van de akker afneemt.

Deze maatregel heeft verder ook een zeker mitigerend effect. Zo wordt in het MAP immers volop de kaart getrokken van de emissiearme toediening van mest (cfr. mestinjectie), hetgeen de emissies van CH₄ en N₂O beperkt.

5.4.3 *Aanwenden van meer agrarische biodiversiteit*

5.4.3.1 *Sector en subsectoren*

- sector: akkerbouw, tuinbouw, graasland
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht en fruitteelt, in mindere mate ook sierteelt

5.4.3.2 *Omschrijving maatregel*

Het verzekeren van agrarische biodiversiteit omvat het gebruik van een grotere waaier aan cultivars, een grotere teeltwisseling, het gebruik van voor- en/of nateelten, tussenteelten, en agroforestry. Een toename van de agrarische biodiversiteit maakt de huidige landbouwsystemen vatbaarder voor autonome adaptatie, waarbij een landbouwer zelf inspeelt op een veranderend klimaat door het inzetten van andere gewassen of cultivars. Agroforestry heeft naast een toename van de biodiversiteit ook nog een aantal andere pluspunten. Zo bieden de bomen schaduw voor het vee, fixeren ze CO₂ en recupereren ze nitraten die anders zouden wegspoelen. Verder biedt agroforestry meer mogelijkheden voor geïntegreerde bestrijding. Een toename van de CO₂-fixatie evenals een afname van de nitraatuitspoeling zijn eveneens voordelen verbonden aan het gebruik van voor-, na- of tussenteelten.

5.4.3.3 *Betrokkenen*

Deze adaptatiemaatregel is een voorbeeld van een maatregel die zich voornamelijk op bedrijfsniveau situeert.

5.4.3.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Het aanwenden van meer agrarische biodiversiteit is reeds aanwezig in de biologische landbouw en wordt meer en meer toegepast onder impuls van een groeiende vraag naar streekgewassen.

5.4.3.5 *Termijn*

Aangezien deze adaptatiemaatregel geen nieuwe technologie behoeft, zou deze reeds op de korte termijn algemeen ingang kunnen vinden. Belangrijk om op te merken is wel dat agroforestry, hoewel dit op de korte termijn kan worden ingevoerd, steeds een strategie op lange termijn vereist.

5.4.3.6 *Kosten-baten*

De baten van deze adaptatiemaatregel kunnen omschreven worden als de verwachte toename van de adaptatiegraad aan klimaatwijzigingen bij een grotere agrarische biodiversiteit.

5.4.3.7 *Milieu-effecten*

Zowel voor-, na- als tussenteelten hebben tot gevolg dat het veld gedurende een langere periode van het jaar bedekt is (of omgekeerd: het veld ligt minder lang braak), hetgeen men zou kunnen beschouwen als een zekere impact op het ruimtegebruik. Indien voor de extra teelten berekening zou noodzakelijk zijn, is er tevens een impact op het waterverbruik dat zal toenemen. Aangezien (zoals hierboven vermeld) de extra teelten en ook de praktijk van agroforestry tot een toename leiden van het potentieel voor CO₂-fixatie, is er bovendien een zeker mitigerend effect van de hier besproken adaptatiemaatregel. Voor het energieverbruik heeft deze maatregel geen onmiddellijke gevolgen, tenzij dan misschien de extra fossiele energie die benodigd is voor het verbouwen (cfr. inzetten van tractoren) van de extra teelten + voor hun eventuele irrigatie.

5.4.4 Landschapszorg

Bronnen: persoonlijke communicatie professor M. Hermy

5.4.4.1 *Sector en subsectoren*

- sector: akkerbouw, tuinbouw, graasland (grondgebonden landbouw)
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht

5.4.4.2 *Omschrijving maatregel*

Landschapszorg omvat als maatregel verschillende deelmaatregelen al naargelang de functies die men wenst te benadrukken, met name zorg voor biodiversiteit, waarborg voor bodemkwaliteit en waterbeheersing, zorg voor allerlei culturele aspecten.

De maatregel heeft een grote impact op het bieden van kansen aan wilde biodiversiteit in het agrarische gebied. Het behoud, en waar wenselijk de aanleg en het onderhoud van kleine landschapselementen (kle) is essentieel voor de instandhouding van de flora en fauna die gebonden is aan landbouwlandschappen en tevens van groot belang als migratie en uitwijkplaats voor de algehele flora en fauna van een regio. Onder het behoud en onderhoud van kleine landschapselementen verstaan we onder andere de aanleg van meer en beter beheerde heggen, houtkanten, holle wegen en een veralgemening van maai- en bemestingsbeperkingen..

De kle's maken immers deel uit van het landschapsecologische netwerk van een regio en dit netwerk is een belangrijke schakel die noodzakelijk is voor het behoud van de biodiversiteit. In een context van een veranderend klimaat blijft deze functie essentieel, vooral omdat migratiemogelijkheden nog een belangrijkere rol zullen spelen dan onder de huidige omstandigheden. Adaptatie betekent wellicht dat migratiemogelijkheden verhoogd zullen moeten worden en dus dat het migratiepotentieel van het landschap groter moet worden. Dit houdt een uitbreiding van de kleine landschapselementen in. Onder de kle's beschouwen we hier ook deze die actueel onder beheersovereenkomsten vallen (bv. akkerrandenbeheer). Uiteraard spelen kle's ook mee in regulerende functies (bv. afscherming gewassen t.o. milieuvloeden; opvangen milieuvloeden van bepaalde landbouwpraktijken (emissies van meststoffen en pesticiden, erosie, ...) naar omgeving; kle's (bv. grazige/kruidige stroken binnen en buiten eigenlijke percelen) dragen bij tot een verhoging van de bestrijdingscapaciteit van ziekten en plagen.

5.4.4.3 *Betrokkenen*

Onderhoud en eventueel uitbreiding van kleine landschapselementen is een adaptatiemaatregel die zich voornamelijk op bedrijfsniveau situeert en de uitvoering ervan op perceelsniveau. Het is de individuele land- of tuinbouwer die een aantal maatregelen kan nemen. De overheid heeft een belangrijke rol te spelen bij de implementatie van deze maatregel. Via voorlichting en via subsidies (bv. in het kader van beheersovereenkomsten) kan zij trachten de adoptiegraad te doen toenemen.

5.4.4.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

De afgelopen decennia is er een duidelijke trend naar minder kleine landschapselementen ten gevolge van schaalveranderingen, ondanks de bestaande mogelijkheden in het kader van de beheersovereenkomsten.

5.4.4.5 *Termijn*

Het onderhoud en eventueel uitbreiding van kleine landschapselementen is een voorbeeld van een adaptatiemaatregel die reeds op de korte termijn algemeen ingang zou kunnen vinden.

5.4.4.6 *Kosten-baten*

In principe brengt het onderhoud en zeker de aanleg van nieuwe elementen een duidelijke kost met zich mee. In de mate waarin dit via spontane ontwikkeling kan gebeuren is deze kost beperkt tot onderhoud. Indien kleine landschapselementen als low-input-high-diversity systemen kunnen ingeschakeld worden in biomassawinning, kunnen de kosten uitgroeien tot een nieuwe bron van inkomsten.

5.4.4.7 *Milieu-effecten*

Landschapszorg heeft een impact op het ruimtegebruik, maar deze blijft in de meeste gevallen beperkt. Verder is bij deze adaptatiemaatregel sprake van een zeker mitigerend effect via het vastleggen van CO₂ door voornamelijk houtachtige species (cfr. heggen en houtkanten). Voor het waterverbruik zijn er geen onmiddellijke gevolgen en hetzelfde geldt voor het energieverbruik, tenzij de extra fossiele energie in rekening wordt gebracht die nodig is voor de werking van de machines en tractoren die worden ingezet bij de aanleg en het onderhoud van kleine landschapselementen.

5.4.5 Vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen

5.4.5.1 *Sector en subsectoren*

- sector: akkerbouw, tuinbouw, graasland (grondgebonden landbouw)
- subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht

5.4.5.2 *Omschrijving maatregel*

Vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen kan gebeuren door het groeien van gewassen met een langere groeicyclus en het planten van meer meerjarige en houtachtige gewassen in het landbouwgebied.

Het verzorgen van de bodemkoolstofbalans door onder meer residumanagement zoals gereduceerde of minimale bodembewerking en CH₄- en N₂O-management werd besproken in de maatregel omtrent gereduceerde bodembewerking.

5.4.5.3 *Betrokkenen*

De maatregel zoals hierboven omschreven situeert zich voornamelijk op bedrijfsniveau, waarbij de individuele land- of tuinbouwer de voornaamste actor is. Ook voor de overheid is echter een taak weggelegd bij de implementatie van deze maatregel via voorlichting en subsidie.

5.4.5.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Het aanplanten van meerjarige, houtachtige gewassen in het landbouwgebied is een praktijk die vandaag reeds wordt toegepast in het kader van beheersovereenkomsten (cfr. aanplanten van heggen, houtkanten of houtwallen). Ook gereduceerde bodembewerking heeft op heden reeds toepassing in Vlaanderen, zij het slechts op beperkte schaal. De interesse voor deze vorm van bodembewerking is echter groeiende.

5.4.5.5 *Termijn*

Het vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen is een maatregel die geen nieuwe technologie behoeft en daarom reeds op korte termijn algemeen ingang zou kunnen vinden.

5.4.5.6 *Kosten-baten*

De baten van de hier besproken maatregel kunnen worden aangeduid als het verminderen van de broeikasgasconcentraties in de atmosfeer, of althans het verhinderen van een verdere toename van de broeikasgasconcentraties, waardoor de drijvende kracht achter het hele klimaatveranderingproces wordt gefnuikt.

5.4.5.7 *Milieu-effecten*

Het vastleggen van en vermijden van uitstoot van broeikasgassen is in feite eerder een mitigerende maatregel dan een echte adaptatiemaatregel. Door te kiezen voor hoogproductieve gewassen is de biomassa-productie en koolstofsequestratie per hectare hoog.

Voor het waterverbruik heeft deze maatregel geen onmiddellijke gevolgen en ook de impact op het ruimtegebruik is beperkt. Het enige wat in verband met het ruimtegebruik zou vermeld kunnen worden is het langer bedekt zijn van het veld bij de teelt van gewassen met een langere cyclus. Wat het energieverbruik betreft is er een afname van het verbruik van fossiele energie bij gereduceerde bodembewerking, zoals reeds eerder werd besproken. Omdat meerjarige en houtachtige gewassen geen mestinput vereisen en gereduceerde bodembewerking weinig tractorbewegingen impliceert, heeft de in deze paragraaf beschreven maatregel ook een positieve weerslag op de aspecten waterkwaliteit, biodiversiteit en erosiebestrijding. Daarom is deze maatregel geschikt om te worden toegepast op volgende terreinen: op steile hellingen, langs waterlopen, in buffers, in gebieden met mestbeperkingen, enzovoort.

5.4.6 Bieden van kader voor agrotourisme en recreatie

Bronnen: persoonlijke communicatie professor H. Gulinck

5.4.6.1 *Sector en subsectoren*

De landbouwsector in zijn geheel

5.4.6.2 *Omschrijving maatregel*

Passief

Klimaatverandering en de daaraan verbonden temperatuurstijging zal waarschijnlijk de groeiende vraag naar recreatie in rurale gebieden versterken. Het verhogen van de capaciteit van agrotourisme en plattelandsrecreatie door landbouwbedrijven is in het kader van klimaatveranderingen meer dan een antwoord op opportuniteiten van rurale ontwikkeling (verbreding), maar in het bijzonder ook op een algemene geografische verschuiving van de vraag naar toerisme en recreatie. De hypothese kan gesteld worden dat een deel van klassieke buitenlandse bestemmingen deels hun aantrekkingskracht verliezen (te hete zomers in het Middellandse-zeebekken, te dure reiskosten bij verhoogde brandstofprijzen, toegenomen duurzaamheidsbesef, enzovoort) en er tot zekere hoogte een terugplooiing is naar meer regionale en lokale voorzieningen (cfr. bepaalde algemene scenario's). Landbouw zal in staat (moeten) zijn om een deel van de verhoogde binnenlandse vraag te beantwoorden.

Indirect

Het succes van agrotourisme hangt, blijkens buitenlandse studies, sterk af van:

- algemeen decor en inrichting van de bedrijfsomgeving
- aanwezigheid van voldoende alternatieve attractiviteiten in de grotere omgeving van het bedrijf (locatiekenmerken)
- ondernemerschap en perceptie van de bedrijfsleider zelf: contrast tussen "pro's", "indifferenten" en "contra's"

Concrete maatregelen situeren zich dan ook voor een deel buiten het bedrijf en zijn dan ook eerder indirect.

Vervolgens kan men stellen dat maatregelen op landschapsniveau, ter buffering van negatieve impacten van klimaatverandering (anti-erosie en overstromingsbuffers bijv.) op vele plaatsen zullen zorgen voor een grotere landschappelijke diversiteit en aantrekkingskracht.

Direct

Divers groen bodemgebruik gedurende langere periodes tijdens het jaar; verzorgen van multi-modale (voet, fiets, paard, mindervaliden) toegankelijkheid; aanbieden van meer, betere en meer continu geopende agri-toeristische faciliteiten.

5.4.6.3 *Betrokkenen*

- bevolking in het algemeen
- landbouwbedrijven
- andere stakeholders op het platteland

5.4.6.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Recreatie en toerisme zijn voorbeelden van culturele diensten die agro-ecosystemen ons vandaag reeds verschaffen. Het hoevertoerisme zit de laatste jaren sterk in de lift en onthaasting op het platteland is een vorm van vrijetijdsbesteding die alsmaar aan belang wint.

5.4.6.5 *Termijn*

De hier omschreven adaptatiemaatregel is een maatregel voor de lange termijn. De meeste opportuniteiten voor agrotourisme en recreatie op het platteland zullen zich immers pas aandienen wanneer de klimaatverandering en de gevolgen hiervan nog meer voelbaar/zichtbaar worden dan op heden het geval is.

5.4.6.6 *Kosten-baten*

- op bedrijfsniveau waarschijnlijk positief indien een schaalgerichte exploitatie gebeurt (extra werkkrachten nodig voor het deel "toerisme" enz.)
- verhoogde consumptie in rurale omgevingen

5.4.6.7 *Milieu-effecten*

De impact van de hier besproken adaptatiemaatregel op het ruimtegebruik uit zich in andere mobiliteitspatronen gekoppeld aan recreatie en een verhoogde aandacht voor ruimtelijke kwaliteit op landschaps- en op bedrijfsniveau.

Wat betreft de gevolgen van de maatregel voor het energieverbruik en de uitstoot van broeikasgassen kunnen er twee hypothesen worden geformuleerd:

Hypothese 1: een relatieve versterking van het aandeel van het toeristisch-recreatieve aanbod door landbouwbedrijven vermindert het regionale/nationale verbruik van fossiele brandstoffen (minder lange-afstand transport)

Hypothese 2: educatie gekoppeld aan hoevertoerisme kan een stimulans zijn voor gezinnen en individuen tot verbeterd milieugedrag (actieve toepassing van technieken van alternatieve energie, organische recycling enz.)

Het waterverbruik tenslotte zal vermoedelijk toenemen bij een verhoogde aanwending van het platteland voor agrotourisme en recreatie.

5.4.7 Stormresistente windturbines voor energie

Bronnen: VILT, 2004

5.4.7.1 *Sector en subsectoren*

-sector: akkerbouw, tuinbouw

-subsectoren tuinbouw: groenteteelt in open lucht, fruitteelt, sierteelt

5.4.7.2 *Omschrijving maatregel*

Deze adaptatiemaatregel heeft betrekking op het ter beschikking stellen van landbouwgrond voor de productie van energie uit wind. Aangezien men als gevolg van de klimaatverandering een toename verwacht van hevigere stormen, vereist adaptatie het gebruik van meer stormresistente windturbines om wind te capteren.

5.4.7.3 *Betrokkenen*

De exploitatie van windmolenparken is meestal in handen van private energiebedrijven. Doorgaans beheren landbouwers de windmolenparken niet, hoewel dit in sommige gevallen wel zo is, en dan meestal onder de vorm van een coöperatieve samenwerking (cfr. 'coöperatie Wase Wind'). Op kleinere schaal zouden alleenstaande, kleinere windmolens uitgebaat kunnen worden door de individuele land- of tuinbouwer ten behoeve van de energievoorziening van het eigen bedrijf. Tenslotte is ook de overheid betrokken bij deze maatregel, onder meer via het aanmoedigen van meer onderzoek en ontwikkeling in en van windenergie, via de ondersteuning van de toepassing en verspreiding van reeds bekende technologie, via het stimuleren van windenergie bij lokale besturen en via het voorzien van de nodige aandacht voor windmolenparken in ruimtelijke structuurplannen.

5.4.7.4 *Mate van ontwikkeling en/of toepassing*

Op heden werden in Vlaanderen reeds windturbines ingeplant op landbouwgrond. Het gaat echter slechts om een aantal exemplaren.

5.4.7.5 *Termijn*

Het plaatsen van windturbines is een adaptatiemaatregel voor de korte termijn.

5.4.7.6 *Kosten-baten*

De baten van deze adaptatiemaatregel zijn duidelijk en omvatten naast een tegemoetkoming aan de Kyoto-doelstellingen de opwekking van groene stroom.

De kosten voor de aanschaf en plaatsing van een windturbine zijn hoog. Voor een windmolen met een mast van 100 meter hoog en wieken van 40 meter lang bedraagt het kostenplaatje om en bij de 2,5 miljoen €.

5.4.7.7 *Milieu-effecten*

Wanneer windturbines worden ingeplant in een weide of grasland, heeft dit een zekere impact op het ruimtegebruik: de oppervlakte die effectief kan begraasd of beplant worden neemt af. Toch gaat het hier om een maatregel die weinig grond vereist en waarvoor er bovendien geen onteigeningen nodig zijn. Wél is de inplanting van windturbines onderhevig aan een strenge reglementering waarbij vooral de RUP's van belang zijn.

Wat het energieverbruik betreft zal deze maatregel leiden tot een toename van de inbreng van alternatieve (hernieuwbare) energie in het totale energieverbruik, waardoor een bijdrage wordt geleverd aan de reductie van de CO₂-uitstoot. Bijgevolg heeft deze adaptatiemaatregel een zeker mitigerend effect.

Voor het waterverbruik zijn er geen onmiddellijke gevolgen.

6 EVALUATIE VAN DE EFFECTIVITEIT VAN ADAPTATIEMAATREGELEN OP MACRONIVEAU

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de impacten van de klimaatverandering zoals die gelden voor het microniveau geaggregeerd of opgeschaald tot het niveau Vlaanderen. Dit is gebeurd enerzijds los van enige adaptatiemaatregel en anderzijds onder de veronderstelling dat een aantal adaptatiemaatregelen in uitvoering worden gebracht.

6.2 Materiaal en methode

6.2.1 Rationale

In hoofdstuk 4 werden impacten, op microniveau, zo veel als mogelijk uitgedrukt t.o.v. de huidige situatie of een situatie uit het recente verleden. Voor de productieve diensten waarvoor de impacten met rekenmodellen werden begroot kon dit kwantitatief gebeuren. Voor de overige diensten en bij de vaststelling van de impacten van de adaptatiemaatregelen (hoofdstuk 5) werd eerder kwalitatief en met een niet geëxpliciteerd referentieniveau gewerkt.

In dit hoofdstuk ligt de nadruk op de productieve diensten. Vooreerst wordt de referentietoestand geëxpliciteerd als de toestand waarin geen klimaatverandering en geen adaptatie plaatsvindt (afgekort als NoCC-NoAd, 'No Climate Change, No Adaptation'). Hiervoor wordt teruggegrepen naar de studie van Gellynck et al. (2007) over de toekomstige ruimtebehoefte van de landbouwsector in Vlaanderen. De impacten op macro-niveau, van een laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario zoals deze geïdentificeerd werden in deel 3.2.3 en 4.2.3.1, worden vervolgens vastgesteld ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd) met behulp van de kennis verworven voor het micro-niveau in hoofdstuk 4. Dit leidt tot drie klimaatveranderingsscenario's zonder adaptatie voor Vlaanderen (afgekort als CC-NoAd, 'Climate Change, No Adaptation'). In de derde stap wordt overgegaan tot de inschatting van de bijkomende impact van drie adaptatiestrategieën voor elk van de drie klimaatveranderingsscenario's zonder adaptatie (CC-NoAd). Deze geven aanleiding tot negen mogelijkheden waarin een graduele adaptatie als respons op de klimaatverandering wordt beschouwd (afgekort als CC-Ad, 'Climate Change with Adaptation').

Voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), de drie klimaatveranderingsscenario's zonder adaptatie (CC-NoAd) en de verschillende strategieën van adaptatie (CC-Ad) worden de jaren 2020-2050 telkens als tijdshorizon genomen. Deze referentiezone heeft enerzijds te maken met het feit dat de studie van Gellynck et al. (2007) het jaar 2020 neemt om de eindproductiewaarde te schatten, anderzijds met het terugbrengen in de tijd van de resultaten gebaseerd op regionale klimaatvoorspellingen voor 2070 en verder (voor meer details zie sectie 3.4.2).

6.2.2 Geen klimaatverandering en geen adaptatie (Referentietoestand)

Gellynck et al. (2007) berekenden de eindproductiewaarde van 16 landbouwproductieactiviteiten in het jaar 2020 o.b.v. een trendanalyse en een structurele analyse van gegevens voor de periode van 1990 tot 2004, afkomstig van de Algemene Directie Statistiek, Landbouwstatistieken van de Federale OverheidsDienst Economie en van het Verbond van Belgische TuinbouwVeilingen. De eindproductiewaarden voor het jaar 2020 werden geschat door de grootte van de voorspellende variabelen in het structurele (regressie-)model te waardenen o.b.v. de uitslag van een participatieve SWOT-analyse (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats) en een SOR-analyse (Strategic

Orientation Round). Hierbij werden 3 socio-economische ontwikkelingsscenario's gehanteerd, afgeleid van de EURURALIS-studie (Klijn et al., 2005): (i) een referentiescenario 'Mondiale Samenwerking' (B1), (ii) een scenario 'Mondiale Economie' (A1) en (iii) een scenario 'Regionale Gemeenschappen' (B2).

Het areaal dat in 2020 nodig zal zijn om de potentiële eindproductiewaarde van de 16 productieactiviteiten te realiseren werd vervolgens vastgesteld voor elk van de drie scenario's door de geschatte eindproductiewaarde (EUR) te delen door de verwachte economische productiviteit (EP, EUR/ha). De waarden voor economische productiviteit werden bekomen door technische productiviteit (TP, Ton/ha) en prijseffect (PE, EUR/Ton in lopende prijzen) te vermenigvuldigen. Voor de dierlijke productieactiviteiten werd de technische productiviteit uitgedrukt in Liter melk/dier of Ton/dier, het prijseffect in EUR/Liter melk of EUR/Ton en bijgevolg de economische productiviteit in EUR/dier. Een bijkomende factor (veebezettingsdichtheid, aantal dieren/ha) was nodig om het aantal dieren om te zetten in benodigd areaal. Waarden voor technische productiviteit en prijseffect werden gelijk gesteld, ofwel aan de logaritmische trendwaarde voor 2020 afgeleid uit cijfers voor de periode 1990-2004 ofwel aan het gemiddelde voor deze periode. De logaritmische trendcijfers werden enkel gebruikt indien de verklarende waarde uitgedrukt als determinatiecoëfficiënt (R^2) van het lineaire trendmodel hoger was dan 40%. In alle andere gevallen werd de gemiddelde waarde voor 1990-2004 gebruikt tenzij voor melk- en rundvee waarvoor het gemiddelde van de periode 2000-2004 gehanteerd werd.

In Tabel 18 worden voor elk van de 16 productieactiviteiten en voor het jaar 2020, de eindproductiewaarde (EW), economische productiviteit (EP), technische productiviteit (TP), prijseffect (PE) en benodigd areaal weergegeven. De EW-, EP- en areaal-cijfers zijn, voor zover beschikbaar, overgenomen uit p.81, 91 resp. 94 van Gellynck et al (2007) met dien verstande dat de EW-waarde van Groenten in Open Lucht werd gecorrigeerd. De waarden voor TP zijn deze gebruikt door Gellynck et al. (2007) maar niet als dusdanig gerapporteerd in het projectverslag. De PE werd berekend als het quotiënt van EP en TP. De uiterst rechtse kolom is het areaal resp. het aantal dieren per productie-activiteit dat berekend werd als het quotiënt van EW en EP. De verschillen tussen deze waarden en de arealen gerapporteerd door Gellynck et al. (2007) zijn te verklaren door de accumulatie van afrondingen die doorheen de berekeningen gemaakt werden. Deze verklaring gaat echter niet op voor suikerbieten. Het in deze studie berekende en gebruikte suikerbietenareaal is 6.000 ha groter dan dat berekend door Gellynck et al. (2007). Hierbij werd reeds ingecalculeerd dat de suikerbietenmarkt in 2020 geliberaliseerd zal zijn. Gellynck et al. (2007) rapporteerde niet het aantal dieren, en daarom werd dit aantal berekend.

Tabel 18 Eindproductiewaarde (EW), economische productiviteit (EP) technische productiviteit (TP), prijseffect (PE), areaal en aantal dieren voor 16 landbouwproductieactiviteiten in 2020 volgens Gellynck et al. (2007) of afgeleid daarvan.

Nr	Productie-activiteit	Afkorting	EW	EP 2020	TP 2020	PE 2020	Netto areaal 2020	Netto areaal 2020
	Plantaardig		(mEUR)	(EUR/ha)	(Ton/ha)	(EUR/Ton)	(ha)	(ha)
			Gellynck	Gellynck	Gellynck	Berekend	Gellynck	Berekend
1	Granen	GRA	38.00	651.00	9.48	68.71	57,741.00	58,371.74
2	Aardappelen	AAR	386.00	5,071.00	48.60	104.35	76,014.00	76,119.11
3	Suikerbieten	SUI	123.00	2,417.00	69.98	34.54	44,013.00	50,889.53
4	Andere akkerbouwgewassen (Korrelmaïs)	AAK	NA	1,393.00	11.71	118.94	48,113.00	48,113.00
5	Groenten en Aardbeien in open lucht	GOL	442.00	13,544.00	22.36	605.82	32,630.00	32,634.38
6	Groenten en aardbeien onder glas	GOG	635.00	235,072.00	108.15	2,173.50	2,701.00	2,701.30
7	Fruit	FRU	540.00	21,534.00	26.73	805.74	25,076.00	25,076.62
8	Niet-eetbare tuinbouwproducten	NET	443.00	69,707.00	NA		6,352.00	6,352.00
9	Voedergewassen en grasland	VOE					335,468.00	335,468.00
Nr	Productie-activiteit	Afkorting	EW 2020	EP 2020	TP 2020	PE 2020	Aantal dieren 2020	Aantal dieren 2020
	Dierlijk		(mEUR)	(EUR/dier)	(Liter of Ton/dier)	(EUR/liter of Ton)	(-)	(-)
10	Runderen Melk	MEL	477.00	789.00	3,837.27	0.21		604,563.00
11	Runderen Vlees	VLE	235.00	789.00	0.33	2,395.60		286,439.00
12	Paarden	PAA						
13	Varkens	VAR	2,007.00	202.00	0.09	2,187.07		9,935,644.00
14	Leghennen	LEG	51.00	6.00	NA			
15	Braadkippen	BRA	271.00	19.00	NA			
16	Kalveren	KAL						

6.2.3 Klimaatverandering zonder adaptatie

Daar waar door Gellynck et al. (2007) het aantal dieren en het areaal dat per productieactiviteit nodig is om de potentiële eindproductiewaarde te bereiken, werden berekend vertrekkende van de eindproductiewaarde (EW), wordt in deze en volgende stap van dit hoofdstuk omgekeerd te werk gegaan. Het aantal dieren of het areaal geschat voor 2020 worden als basis genomen. Het prijseffect wordt onveranderd verondersteld. Enkel de technische productiviteitsfactor (TP) wordt afhankelijk gesteld van het klimaat. Elke TP-waarde wordt met behulp van de kennis en informatie die verzameld is in hoofdstuk 4 (impact op microniveau) aangepast in het licht van het behandelde klimaatscenario. De aanpassing van de technische productiviteit aan de laag, midden en hoog klimaatveranderingscenario's is gebaseerd op een aggregatie tot één factor aan de hand van een ruimtelijke weging van de berekende oogstfracties voor de verschillende bodemtypes. Uiteindelijk wordt de klimaatafhankelijke eindproductiewaarde berekend door het areaal te vermenigvuldigen met de waarde voor prijseffect en de aangepaste waarde voor de technische productiviteiten. De technische productiviteit en dus ook de eindproductiewaarde in de glastuinbouw wordt beschouwd niet beïnvloed te worden door de klimaatveranderingen. Er wordt verondersteld dat de impacten van de klimaatverandering volledig ondervangen kunnen worden in het gecontroleerde serreklimaat. Deze veronderstelling zou niet gelden indien met toegevoegde eerder dan eindproductiewaarde zou gewerkt worden omdat de toegevoegde waarde mede bepaald wordt door de gemaakte kosten.

6.2.4 Klimaatverandering met adaptatie

In deze stap worden voor elk van de drie klimaatscenario's, de impacten van de klimaatverandering gemoduleerd in functie van de toegepaste adaptatiemaatregelen. Er wordt verondersteld dat het geheel van de maatregelen die opgelijst zijn voor dierlijke productie enerzijds en plantaardige productie anderzijds een ondeelbaar basispakket vormen en als dusdanig worden toegepast (Tabel 19). Er wordt bovendien gesteld dat gepaste inzet van het adaptatiepakket zal toelaten de negatieve impacten van de klimaatverandering op de productie ongedaan te maken om als dusdanig het

referentieniveau (Tabel 18) te behouden. De waarden van de technische productiviteit bij maximale adoptie van het adaptatiepakket worden gelijk verondersteld aan deze voor het referentieniveau. De waarden voor de andere adoptiegraden zijn gelijk aan het gewogen (aan de hand van relatieve arealen in Tabel 20) gemiddelde van de technische productiviteit van het referentieniveau en van het niveau onder elk van de drie scenario's van klimaatverandering.

De mate van adoptie van de pakketten door de landbouwbedrijven vormt de basis voor het onderscheid tussen drie gradaties van adaptatie. In een eerste gradatie (AD1 in Tabel 21) wordt verondersteld dat enkel de meest innovatieve bedrijven zullen overgaan tot adaptatie terwijl de middelgrote bedrijven zich hierbij aansluiten in de tweede gradatie (AD2 in Tabel 21). De derde gradatie gaat ten slotte uit van een adoptiegraad van 100% (AD3 in Tabel 21). Op deze wijze ontstaan voor elke productieactiviteit 9 varianten: 3 klimaatscenario's met telkens 3 adaptatiegradaties. Vermits 'aantallen dieren' en 'areaal cultuurgrond' de basis vormen voor de berekening van de impacten van de adaptatiepakketten (zie 6.2.3) bij een gegeven klimaatverandering, moet de mate van adoptie (percentages bedrijven) omgezet worden in fracties van de betrokken veestapel en het totale areaal. In Tabel 20 worden de gehanteerde fracties weergegeven voor de drie verschillende bedrijfstypes.

Er kan bovendien verondersteld worden dat de mate van adoptie afhankelijk is van de sterkte van de klimaatverandering. In een laag klimaatveranderingsscenario zullen enkel de meest innovatieve bedrijven overgaan tot adaptatie terwijl in een midden klimaatveranderingsscenario ook de middelgrote bedrijven dat zullen doen. Wordt het hoog klimaatveranderingsscenario werkelijkheid dan kan aangenomen worden dat maatregelen zich opdringen voor het volledige areaal en de volledige veestapel. Al is per klimaatveranderingsscenario één gradatie meer plausibel, de drie gradaties zijn becijferd voor elk klimaatveranderingsscenario.

Tabel 19 Overzicht van de maatregelen in de twee onderscheiden adaptatiepakketten

<i>Basispakketten</i>		<i>Gerelateerd aan diensten te leveren door de landbouwsector</i>	
D: Adaptatiepakket Dierlijke Productie			
D1	Voldoende schaduw voorzien	Productieve (grondgebonden dierlijke), (biodiversiteit), (landschap)	Ondersteunende Culturele
D2	Staldak isoleren en voorzien van reflectie-coating	Productieve (dierlijke)	
D3	Optimale ventilatie van de stal	Productieve (dierlijke)	
D4	Evaporatieve koeling (direct en indirect)	Productieve (dierlijke)	
D5	Aanpassingen aan de rantsoensamenstelling	Productieve (dierlijke)	
D6	Aanpassingen aan de drinkwatervoorziening	Productieve (dierlijke)	
D7	Selectie van hittetolerante dierenrassen	Productieve Ondersteunende biodiversiteit)	(dierlijke), (agrarische
P: Adaptatiepakket Plantaardige Productie			
P1	Aanpassen van plant- en oogstdata	Productieve biomassa)	(plantaardige,
P2	Substitutie van gewas of cultivar	Productieve biomassa)	(plantaardige,
P3	Ontwikkeling van nieuwe cultivars (variëteiten)	Productieve biomassa), (agrarische biodiversiteit),	(plantaardige, Ondersteunende
P4	Gewassen voor biomassaproductie	Productieve biomassa, energie), (C-vastlegging)	(plantaardige, Regulerende
P5	Waterconserverende en gereduceerde / minimale bodembewerking	Productieve biomassa), (bodemkwaliteit)	(plantaardige, Ondersteunende
P6	Irrigatie	Productieve biomassa)	(plantaardige,
P7	Bestrijden van ziekten en plagen	Productieve biomassa)	(plantaardige,

Tabel 20 Relatieve aantallen, oppervlakten en veestapel voor drie types van bedrijven.

Typologie (in economische termen)	Aandeel in totaal aantal bedrijven	Aandeel in totale landbouwoppervlakte	Aandeel in totaal aantal dieren
Innovatieve bedrijven (met grote omzet)	20%	40%	40%
Middelgrote bedrijven (met medium omzet)	50%	50%	50%
Kwetsbare bedrijven (met kleine omzet)	30%	10%	10%

Tabel 21 Berekende fracties per adoptiegraad aan de hand van de cijfers in Tabel 20.

Adaptatiegraad	Cumulatief Percentage van totaal aantal bedrijven	Cumulatief Relatief aandeel in totale landbouwoppervlakte	Cumulatief Relatief aandeel in totaal aantal dieren
AD1	20%	40%	40%
AD2	70%	90%	90%
AD3	100%	100%	100%

6.3 Resultaten

6.3.1 Klimaatverandering zonder adaptatie vergeleken met de referentietoestand

De uitgangswaarden voor de technische productiviteit (TP) en de eindproductiewaarde (EW) worden in Tabel 22 vergeleken met de TP- en EW-waarden aangepast en herberekend voor elk van de klimaatveranderingsscenario's en voor die productieactiviteiten waarvoor de noodzakelijke basisgegevens beschikbaar zijn in Tabel 18.

Tabel 22 Waarden voor technische productiviteit en eindproductie in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd) en voor de laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario's (CC-Laag-NoAd, CC-Midden-NoAd, CC-Hoog-NoAd)

		NoCC-NoAd		CC-LAAG-NoAd		CC-MEDIUM-NoAd		CC-HOOG-NoAd	
		TP	EW	TP_eff	EW_eff	TP_eff	EW_eff	TP_eff	EW_eff
1	Granen	9.48	38.00	9.49	38.05	9.35	37.48	9.26	37.15
2	Aardappelen	48.60	386.00	47.36	376.15	43.94	349.05	42.45	337.16
3	Suikerbieten	69.98	123.00	67.06	117.87	58.88	103.50	56.09	98.58
4	Korrelmaïs	11.71	NA	11.15		10.28		9.99	
5	Groenten in open lucht	22.36	442.00	21.96	434.14	21.63	427.71	21.47	424.52
6	Groenten onder glas	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00
7	Fruit	26.73	540.00	27.53	556.20	26.73	540.00	25.92	523.80
10	Melkvee	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3676.11	456.97
11	Vleesvee	0.33	226.00	0.33	226.00	0.33	226.00	0.32	226.00
13	Varkens	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	1942.78

De waarden voor technische productiviteit van grondgebonden gewassen zijn gebaseerd op de gesimuleerde relatieve productie onder het laag, midden en hoog klimaatveranderingsscenario (sectie 3.4.2) ten opzichte van het historische klimaat (waarnemingen vóór 1990). Per gewas werden ruim 435 simulaties uitgevoerd voor drie verschillende klimaatscenario's en voor de historische

klimaatreeks, en telkens voor drie bodemtexturen (zand, leem, polderklei). Vervolgens werd een ruimtelijk gewogen gemiddelde productiefactor berekend, rekening houdend met het relatieve voorkomen van de productieactiviteit in kwestie en de ruimtelijke spreiding van elk van de drie bodemtexturen in Vlaanderen. Voor de dierlijke productie werden relatieve productiefactoren berekend met een productiemodel voor het hoog klimaatveranderingsscenario en de andere geschat op basis van expertkennis. De resultaten van de gewogen productiefactoren zijn voor een aantal andere gewassen en dieren opgenomen in Tabel 23. Voor groenten onder glas werd geen impact op de technische productiviteit aangenomen. Met de waarden voor de gewogen productiefactoren werden de technische productiviteiten van de referentietoestand (NoCC-NoAd) vermenigvuldigd.

Tabel 23 Gewogen productiefactoren als gemiddelde van de gesimuleerde productiviteit onder drie klimaatscenario's (laag midden hoog), relatief ten opzichte van de historisch gemiddelde productie en in het geval van plantaardige productie ruimtelijk gewogen aan de hand van het relatieve voorkomen van de productieactiviteit (teelt) en de ruimtelijke spreiding van elk van de drie bodemtexturen (zand, leem, klei) in Vlaanderen.

Gewas/Dier	Basis	laag/hist	midden/hist	hoog/hist
Bloemkool (lenteteelt)	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	1.003	0.971	0.958
Bloemkool (herfstteelt)	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.961	0.964	0.963
Voedermâis	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.964	0.863	0.835
Aardappelen	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.974	0.904	0.873
Suikerbiet	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.958	0.841	0.801
Wintertarwe	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	1.001	0.986	0.978
Korrelmâis	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.952	0.877	0.853
Gras	435 simulaties en ruimtelijke aggregatie	1.006	0.910	0.856
Bloemkool (lente & herfst)	870 simulaties en ruimtelijke aggregatie	0.982	0.968	0.960
Fruit	Expertise	1.030	1.000	0.970
Melkvee	30 simulaties & expertise	1.000	1.000	0.958
Vleesvee	30 simulaties & expertise	1.000	1.000	0.958
Varkens	30 simulaties & expertise	1.000	1.000	0.968

6.3.2 Klimaatverandering met adaptatie

Tabel 24, Tabel 25 en Tabel 26 zijn opgesteld per klimaatscenario. Zij geven voor elk van de 3 adoptiegradaties, de aangepaste technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW). Bovendien is voor elke situatie de EW voor de 9 betrokken productieactiviteiten gesommeerd (mEUR).

Tabel 24 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het laag klimaatveranderingsscenario (CC-Laag-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het laag klimaatveranderingsscenario (CC-Laag-Ad1, CC-Laag-Ad2, CC-Laag-Ad3).

Productieactiviteit	NoCC-NoAd		CC-LAAG-NoAd		CC-LAAG-Ad1		CC-LAAG-Ad2		CC-LAAG-Ad3	
	TP	EW	TP_eff	EW_eff	TP_eff	EW_eff	TP_eff	EW_eff	TP_eff	EW_eff
1 Granen	9.48	38.00	9.49	38.05	9.48	38.03	9.48	38.01	9.48	38.00
2 Aardappelen	48.60	386.00	47.36	376.15	47.85	380.09	48.47	385.02	48.60	386.00
3 Suikerbieten	69.98	123.00	67.06	117.87	68.23	119.92	69.69	122.49	69.98	123.00
4 Korrelmâis	11.71	NA	11.15		11.38		11.66		11.71	
5 Groenten in open lucht	22.36	442.00	21.96	434.14	22.12	437.28	22.32	441.21	22.36	442.00
6 Groenten onder glas	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00
7 Fruit	26.73	540.00	27.53	556.20	27.21	549.72	26.81	541.62	26.73	540.00
10 Melkvee	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00
11 Vleesvee	0.33	226.00	0.33	226.00	0.33	226.00	0.33	226.00	0.33	226.00
13 Varkens	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00
Totaal		4874.00		4867.41		4870.05		4873.34		4874.00

Tabel 25 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het midden klimaatveranderingsscenario (CC-Midden-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het midden klimaatveranderingsscenario (CC-Midden-Ad1, CC-Midden-Ad2, CC-Midden-Ad3).

Productieactiviteit	NoCC-NoAd		CC-Midden-NoAd		CC-Midden-Ad1		CC-Midden-Ad2		CC-Midden-Ad3	
	TP	EW	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff
1 Granen	9.48	38.00	9.35	0.00	9.40	37.69	9.46	37.95	9.48	38.00
2 Aardappelen	48.60	386.00	43.94	0.00	45.81	363.83	48.13	382.31	48.60	386.00
3 Suikerbieten	69.98	123.00	58.88	0.00	63.32	111.30	68.87	121.05	69.98	123.00
4 Korrelmaïs	11.71	NA	10.28		10.85		11.57		11.71	
5 Groenten in open lucht	22.36	442.00	21.63	0.00	21.92	433.42	22.28	440.57	22.36	442.00
6 Groenten onder glas	108.15	635.00	108.15	0.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00
7 Fruit	26.73	540.00	26.73	0.00	26.73	540.00	26.73	540.00	26.73	540.00
10 Melkvee	3837.27	477.00	3837.27	0.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00	3837.27	477.00
11 Vleesvee	0.33	226.00	0.33	0.00	0.33	226.00	0.33	226.00	0.33	226.00
13 Varkens	0.09	2007.00	0.09	0.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00	0.09	2007.00
Totaal		4874.00		0.00		4831.24		4866.87		4874.00

Tabel 26 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor de referentietoestand (NoCC-NoAd), voor klimaatverandering zonder adaptatie onder het hoog klimaatveranderingsscenario (CC-Hoog-NoAd) en voor de drie adaptatiegradaties onder het hoog klimaatveranderingsscenario (CC-Hoog-Ad1, CC-Hoog-Ad2, CC-Hoog-Ad3).

Productieactiviteit	NoCC-NoAd		CC-HOOG-NoAd		CC-HOOG-Ad1		CC-HOOG-Ad2		CC-HOOG-Ad3	
	TP	EW	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff
1 Granen	9.48	38.00	9.26	37.15	9.35	37.49	9.45	37.91	9.48	38.00
2 Aardappelen	48.60	386.00	42.45	337.16	44.91	356.70	47.98	381.12	48.60	386.00
3 Suikerbieten	69.98	123.00	56.09	98.58	61.64	108.35	68.59	120.56	69.98	123.00
4 Korrelmaïs	11.71	NA	9.99		10.68		11.54		11.71	
5 Groenten in open lucht	22.36	442.00	21.47	424.52	21.83	431.51	22.27	440.25	22.36	442.00
6 Groenten onder glas	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00	108.15	635.00
7 Fruit	26.73	540.00	25.92	523.80	26.24	530.28	26.65	538.38	26.73	540.00
10 Melkvee	3837.27	477.00	3676.11	456.97	3740.57	464.98	3821.16	475.00	3837.27	477.00
11 Vleesvee	0.33	226.00	0.32	226.00	0.32	220.30	0.33	225.05	0.33	226.00
13 Varkens	0.09	2007.00	0.09	1942.78	0.09	1968.47	0.09	2000.58	0.09	2007.00
Totaal		4874.00		4681.95		4753.07		4853.85		4874.00

6.4 Evaluatie

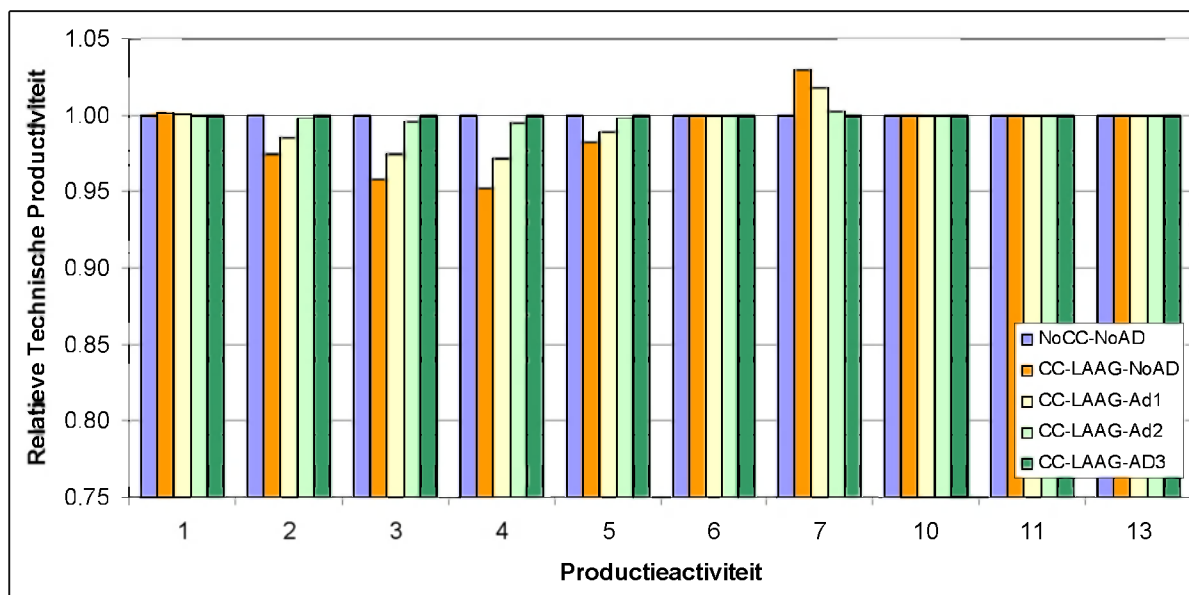
6.4.1 Effectiviteit

Om de bespreking van de resultaten te vergemakkelijken worden de gegevens in Tabel 24, Tabel 25 en Tabel 26 hieronder weergegeven relatief ten opzichte van de cijfers voor de referentietoestand (NoCC-NoAd). De figuren zijn een grafische weergave van deze cijfers.

Tabel 27 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-laag-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Laag-Ad1, CC-Laag-Ad2, CC-Laag-Ad3) onder het laag klimaatveranderingscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd)

		NoCC-NoAd		CC-LAAG-NoAd		CC-LAAG-Ad1		CC-LAAG-Ad2		CC-LAAG-Ad3	
		TP	EW	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff
1	Granen	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000
2	Aardappelen	1.000	1.000	0.974	0.974	0.985	0.985	0.997	0.997	1.000	1.000
3	Suikerbieten	1.000	1.000	0.958	0.958	0.975	0.975	0.996	0.996	1.000	1.000
4	Korrelmaïs	1.000	1.000	0.952		0.971		0.995		1.000	
5	Groenten in open lucht	1.000	1.000	0.982	0.982	0.989	0.989	0.998	0.998	1.000	1.000
6	Groenten onder glas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	Fruit	1.000	1.000	1.030	1.030	1.018	1.018	1.003	1.003	1.000	1.000
10	Melkvee	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	Vleesvee	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	Varkens	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Totaal		1.000		0.999		0.999		1.000		1.000

Een laag klimaatveranderingscenario zonder adaptatie leidt tot een vermindering van de eindproductiewaarde van de 9 beschouwde productieactiviteiten met 0.1% of 6.6 mEUR. Wanneer 70% van de bedrijven overgaan tot adaptatie wordt de vermindering in eindproductiewaarde marginaal.

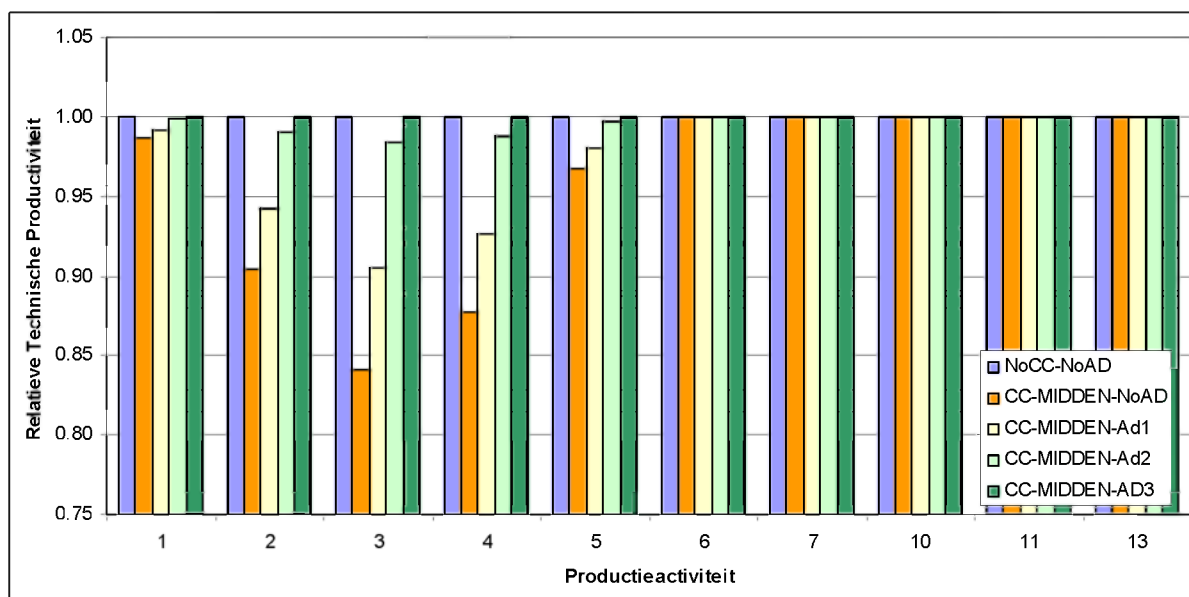


Figuur 21 Relatieve technische productiviteit voor lage klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 27)

Tabel 28 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-Midden-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Midden-Ad1, CC-Midden-Ad2, CC-Midden-Ad3) onder het midden klimaatveranderingsscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd)

		NoCC-NoAd		CC-Midden-NoAd		CC-Midden-Ad1		CC-Midden-Ad2		CC-Midden-Ad3	
		TP	EW	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff
1	Granen	1.000	1.000	0.986	0.986	0.992	0.992	0.999	0.999	1.000	1.000
2	Aardappelen	1.000	1.000	0.904	0.904	0.943	0.943	0.990	0.990	1.000	1.000
3	Suikerbieten	1.000	1.000	0.841	0.841	0.905	0.905	0.984	0.984	1.000	1.000
4	Korrelmaïs	1.000	1.000	0.877		0.926		0.988		1.000	
5	Groenten in open lucht	1.000	1.000	0.968	0.968	0.981	0.981	0.997	0.997	1.000	1.000
6	Groenten onder glas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	Fruit	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	Melkvee	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	Vleesvee	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	Varkens	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Totaal		1.000		0.985		0.991		0.999		1.000

een midden klimaatveranderingsscenario zonder adaptatie leidt tot een vermindering van de eindproductiewaarde van de 9 beschouwde productieactiviteiten met 1,5 % of 71 mEUR. Wanneer 70% van de bedrijven overgaan tot adaptatie wordt de vermindering in eindproductiewaarde teruggebracht tot 0.1%.

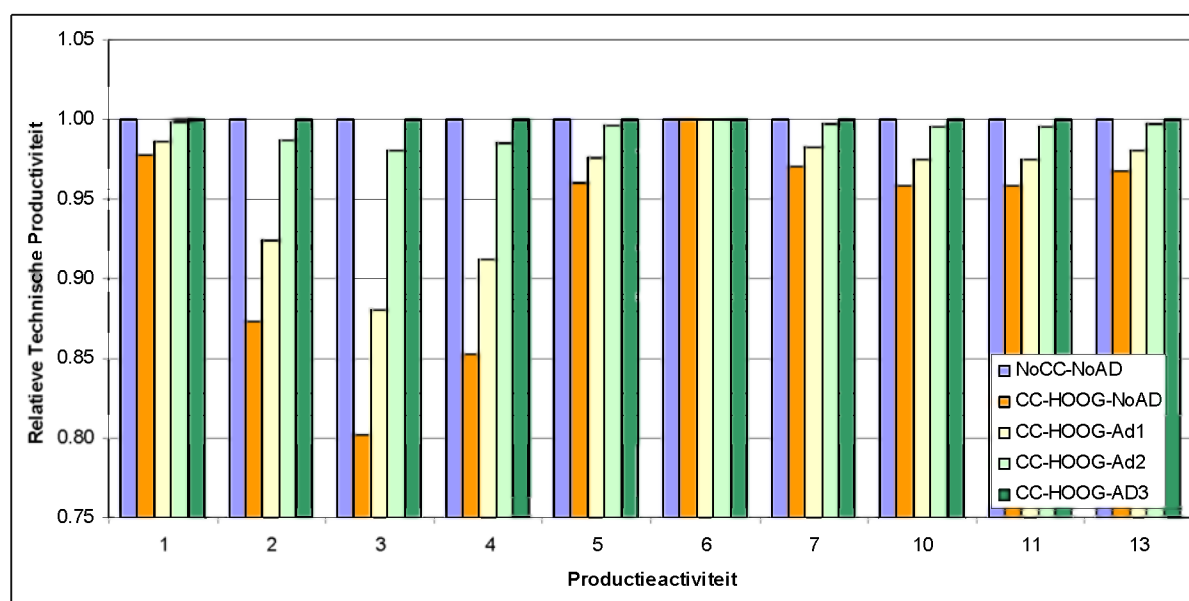


Figuur 22 Relatieve technische productiviteit voor midden klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 28)

Tabel 29 Technische productiviteit (TP) en eindproductiewaarde (EW) in 2020-2050 voor 10 respectievelijk 9 productieactiviteiten telkens voor klimaatverandering zonder adaptatie (CC-Hoog-NoAd) en met drie verschillende adaptatiegraden (CC-Hoog-Ad1, CC-Hoog-Ad2, CC-Hoog-Ad3) onder het midden klimaatveranderingsscenario, relatief ten opzichte van de referentietoestand (NoCC-NoAd)

		NoCC-NoAd		CC-HOOG-NoAd		CC-HOOG-Ad1		CC-HOOG-Ad2		CC-HOOG-Ad3	
		TP	EW	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff	TP eff	EW eff
1	Granen	1.000	1.000	0.978	0.978	0.987	0.987	0.998	0.998	1.000	1.000
2	Aardappelen	1.000	1.000	0.873	0.873	0.924	0.924	0.987	0.987	1.000	1.000
3	Suikerbieten	1.000	1.000	0.801	0.801	0.881	0.881	0.980	0.980	1.000	1.000
4	Korrelmaïs	1.000	1.000	0.853		0.912		0.985		1.000	
5	Groenten in open lucht	1.000	1.000	0.960	0.960	0.976	0.976	0.996	0.996	1.000	1.000
6	Groenten onder glas	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7	Fruit	1.000	1.000	0.970	0.970	0.982	0.982	0.997	0.997	1.000	1.000
10	Melkvee	1.000	1.000	0.958	0.958	0.975	0.975	0.996	0.996	1.000	1.000
11	Vleesvee	1.000	1.000	0.958	1.000	0.975	0.975	0.996	0.996	1.000	1.000
13	Varkens	1.000	1.000	0.968	0.968	0.981	0.981	0.997	0.997	1.000	1.000
	Totaal		1.000		0.961		0.975		0.996		1.000

Een hoog klimaatveranderingsscenario zonder adaptatie leidt tot een vermindering van de eindproductiewaarde van de 9 beschouwde productieactiviteiten met 4,1 % of 201 mEUR. Wanneer 70% van de bedrijven overgaan tot adaptatie wordt de vermindering in eindproductiewaarde teruggebracht tot 0.4%.



Figuur 23 Relatieve technische productiviteit voor hoge klimaatverandering zonder en met adaptatie (voor individueel waarden zie Tabel 29)

De relatief beperkte impacts op de eindproductiewaarde van het laag en midden klimaatveranderingsscenario vindt een verklaring in het feit dat de technische productiviteit van de twee omvangrijkste activiteiten (groenten onder glas en varkens) geacht worden niet onderhevig te zijn aan de klimaatverandering. De TP voor varkensteelt wordt wel negatief beïnvloed onder het hoge klimaatveranderingsscenario zodat de totale impacts of de EW hier meer aanzienlijk zijn. Zeven van de 16 productieactiviteiten die door Gellynck et al. (2007) werden onderscheiden zijn niet opgenomen in de impactberekening bij gebrek aan basisgegevens (Tabel 18). De activiteiten 'Niet eetbare tuinbouwproducten' en 'Pluimveeteelt' zouden mogelijk verschuivingen in de berekeningen kunnen veroorzaken.

6.4.2 Efficiëntie

Om de efficiëntie in te kunnen schatten van de adaptatiepakketten en de adoptie ervan, dienen naast de baten ook de kosten te worden ingeschat. Dit is binnen het bestek van deze studie niet mogelijk gebleken door het ontbreken van zulke gegevens in de literatuur. Het enige wat we kunnen doen aan de hand van voorliggende resultaten is een ruwe schatting te maken van wat de adaptatiemaatregelen maximaal mogen kosten om een positieve kosten/baten verhouding te krijgen.

Hier toe gaan we uit van het meest extreme scenario, met name het hoog klimaatveranderingsscenario. Zonder adaptatie is er een verlies in eindproductiewaarde van 4,1% of 200 mEUR. Dit is echter het effect in 2020. Om een ruw idee te krijgen van de totale som rekenen we dit percentage lineair terug naar 2008. Bij een constante eindproductiewaarde zou dat in totaal een bedrag van 1300 mEUR over de periode 2008-2020 betekenen (zonder te verdisconteren en rekening te houden met inflatie). Rekening houdend dat de toegevoegde waarde ongeveer een derde uitmaakt van de eindproductiewaarde, betekent dit een verlies aan 433 mEUR aan toegevoegde waarde. In andere woorden, als de hele sector het pakket adaptatiemaatregelen toepast, dan mag dit maximaal 433 mEUR kosten onder de veronderstelling van hoge klimaatverandering. Ter vergelijking, het totaal bedrag te besteden voor PDPO 2007-2013 is ongeveer 668 mEUR.

6.5 Discussie

Een methode werd uitgewerkt om de relatieve impacten van verwachte klimaatveranderingen én adaptatiemaatregelen op de eindproductiewaarde van de plantaardige en dierlijke productie voor de tijdspanne 2020-2050 te schatten. In de methode wordt een referentieniveau gehanteerd dat werd overgenomen uit de studie van Gellynck et al. (2007). Deze auteurs maakten een prognose voor 2020 van de potentiële eindproductiewaarde, technische productiviteit, prijseffect en benodigd areaal of aantal dieren dat nodig is om de potentiële eindproductiewaarde te realiseren, voor 16 productieactiviteiten. Klimaatverandering en adaptatie zijn niet aan de orde in de studie van Gellynck et al. zodat de cijfers gebruikt kunnen worden om de verschillende klimaatveranderingsscenario's te kwantificeren (NoCC-Laag, Midden, Hoog-NoAd).

Om de impacten van de drie geselecteerde klimaatveranderingsscenario's (CC-Laag-NoAd, CC-Midden-NoAd en CC-Hoog-NoAd) te begroten gaat de methode uit van gelijkblijvend areaal, gelijkblijvend aantal dieren én een constant prijseffect. Als zodanig wordt de verandering van de eindproductiewaarden onder gewijzigd klimaat uitsluitend bepaald door de gewijzigde technische productiviteit (TP), waardoor het effect van de klimaatverandering apart kan begroot worden. Voor grondgebonden plantaardige productieactiviteiten werd een correctiefactor voor de referentie technische productiviteit berekend met een fysisch gebaseerd dynamisch gewasgroeimodel. Voor dierlijke productieactiviteiten gebeurde dit aan de hand van een threshold model dat op basis van de overschrijding van een aantal dagen met hoge gevoelstemperatuur productieverliezen schat. Expertbeoordelingen werden gebruikt voor het invullen van alle niet-berekende productieverliezen teneinde de overige technische productiviteiten (TP) in te schatten.

Aan de hand van de vastgestelde impacten van de klimaatverandering op de technische productiviteit en de eindproductiewaarden werd in de methode aangenomen dat deze impacten ongedaan gemaakt kunnen worden met gepaste inzet van de geïdentificeerde adaptatiemaatregelen. In die zin zal de mate waarin de impacten van de klimaatverandering gecounterd worden enkel afhangen van de mate waarin de landbouwers de gepaste maatregelen effectief uitvoeren. Vanuit deze logica werd voor elk klimaatveranderingsscenario drie niveaus van adoptie van adaptatiemaatregelen door de landbouwers verondersteld en doorgerekend (CC-Laag-Ad1, CC-Laag-Ad2, CC-Midden-Ad3, CC-Midden-Ad1, CC-Midden-Ad2, CC-Midden-Ad3, CC-Hoog-Ad1, CC-Hoog-Ad2, CC-Hoog-Ad3).

De resultaten van deze methode geven aan dat de technische productiviteit van vooral de zomergewassen negatief beïnvloed wordt door de klimaatveranderingen, in het bijzonder voor het hoge klimaatveranderingsscenario. Watertekort is de belangrijkste verklarende factor. In totaal (voor 9 productieactiviteiten met geschatte eindproductiewaarde in 2020 van 4.874 miljoen EURO) blijven de impacten beperkt tot 0.1% of 6.6 miljoen EURO voor het lage klimaatveranderingsscenario, 1.5% of 71 miljoen EURO voor het midden klimaatveranderingsscenario en 4.1 % of 201 miljoen EURO voor het hoge klimaatveranderingsscenario. Indien 70% van de bedrijven zouden overgaan tot adaptatie dan blijven de impacten beperkt tot respectievelijk 0%, 0.1% en 0.4%. Gecumuleerd geven deze cijfers aan wat de adaptatiemaatregelen mogen kosten om tot een acceptabele efficiëntie te komen. De efficiëntie van de individuele maatregelen werd niet beoordeeld.

Van de 16 productieactiviteiten die door Gellynck et al. (2007) onderscheiden werden, werden zeven niet in rekening gebracht in dit hoofdstuk. De productieactiviteiten 'Korrelmaïs' en 'Voedergewassen en grasland' werden niet als aparte activiteiten beschouwd aangezien verondersteld werd dat ze bijdragen tot de eindproductiewaarde die gerealiseerd wordt door de activiteiten 'Melkvee' en 'Vleesvee'. Ook 'Kalveren' werden tot 'Vee' gerekend. 'Paarden' werden buiten beschouwing gelaten gezien het niet om klassieke productie gaat, ondanks het significante ruimtegebruik. Bij gebrek aan basisgegevens werden bij deze berekeningen de productieactiviteiten 'Niet eetbare tuinbouwproducten', 'Leghennen' en 'Braadkippen' niet betrokken. De voorspelde eindproductiewaarde voor deze drie activiteiten onder de referentietoestand (NoCC-NoAd) bedraagt 765 miljoen EURO. 13.5% van de eindproductiewaarde van de landbouwsector (5.639 miljoen EURO) werd als zodanig niet in rekening gebracht bij de berekening van de impacten.

7 CONCLUSIE, OPTIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusie

Doorheen deze studie is de landbouwsector beschreven als een leverancier van een brede waaier van diensten, ingedeeld in (A) productieve diensten, (B) ondersteunende diensten, (C) regulerende diensten en (D) culturele diensten. Voor de productieve diensten die rechtstreeks slaan op plantaardige of dierlijke productie voor directe of indirecte menselijke consumptie of voor valorisatie buiten de voedingssector werd de impact van de verwachte klimaatverandering berekend op micro-niveau, met name op bedrijfs- en perceelsniveau. Voor de andere diensten was deze impactbeschrijving kwalitatief.

De gebruikte klimaatreeksen voor het doorrekenen van de impact op microniveau zijn het resultaat van een multi-criteria analyse van verschillende regionale klimaatmodellen uit het PRUDENCE project op basis waarvan het KMI voor Ukkel drie klimaatveranderingsscenario's definieerde. Omdat het over tijdreeksen gaat die aansluiten bij een toekomstig klimaat en er binnen de regio Vlaanderen geen grote klimaatverschillen zijn, konden de modelresultaten van plantaardige of dierlijke productie gebaseerd op deze tijdreeksen geëxtrapoleerd worden voor Vlaanderen. De klimaatveranderingsscenario's zijn afgeleid van regionale klimaatmodellen die gebaseerd zijn op de randvoorwaarden gedefinieerd door mondiale klimaatmodelberekeningen van het Third Assessment Report. Ondertussen zijn de mondiale klimaatmodellen herzien naar aanleiding van de Fourth Assessment Report, maar werden de regionale modellen nog niet herberekend. De schattingen van de generatie fourth assessment mondiale klimaatmodellen liggen veel hoger. De waarnemingen tonen nu reeds waarden die hoger liggen dan de klimaatvoorspellingen van de third assessment. Om tegemoet te komen aan deze onderschattingen, werden in dit rapport de voorspellingen van de regionale klimaatmodellen gecentreerd rond het jaar 2085 (tijdreeksen voor de jaren 2070-2099) teruggebracht tot de tijdspanne 2020-2050 om oogstverliezen en de waterbalansdynamiek te simuleren.

Op basis van de modelresultaten aangevuld met bevindingen uit de literatuur werden maatregelen voorgesteld waarmee, op micro-niveau, de negatieve impacten van de klimaatverandering op de landbouwdiensten geminimaliseerd en de positieve impacten gemaximaliseerd kunnen worden. Met betrekking tot de plantaardige productie situeren de zeven adaptatiemaatregelen zich op vier grote vlakken: aanpassingen in de teelttechniek, aangepaste variëteitenkeuze, veredeling op basis van nieuwe genetische en bestaande hulpbronnen, en voorkomen en bestrijden van ziekten en plagen. Voor dierlijke productie kunnen de acht adaptatiemaatregelen herleid worden tot de aanpassing van de huisvesting en rantsoensamenstelling, de selectie van rassen en het voorkomen en bestrijden van ziekten. Met betrekking tot de landbouw en de ruimere omgeving werden zeven maatregelen gedefinieerd die te maken hebben met het gebruik van natuurlijke hulpbronnen (water, bodem, wind, biodiversiteit), met het milieu en met de zorgfunctie van de landbouw. Tussen de adaptatiemaatregelen enerzijds en de diensten (productieve, ondersteunende, regulerende en culturele) anderzijds is er een veel-op-veel relatie zodat beleidsmatig een aanleiding voor een maatregel kan ontstaan vanuit adaptatie aan de klimaatverandering of vanuit de taakstelling voor het verwezenlijken van de diensten. De duurzaamheid van een maatregel vereist een onderkenning van de wisselwerking tussen de adaptatiemaatregelen enerzijds en de agro-ecologische diensten anderzijds. Deze holistische benadering is reeds aanwezig in het huidige landbouwbeleid (cross-compliance, beheersovereenkomsten).

De impacten van de klimaatverandering zoals die gelden voor het microniveau werden vervolgens geaggregeerd of opgeschaald tot het niveau Vlaanderen. Dit is gebeurd enerzijds los van enige adaptatiemaatregel en anderzijds onder de veronderstelling dat de adaptatiemaatregelen in uitvoering worden gebracht. Deze studie behandelt enkel de effectiviteit. Voor glastuinbouw wordt verondersteld dat de klimaatverandering geen impact zal hebben op de technische productiviteit (TP). De nood aan koeling, wateropslag en beregening zal echter stijgen waardoor de efficiëntie beïnvloed wordt.

7.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

7.2.1 Selectie van klimaatscenario's

Uitgaande van verschillende emissiescenario's en bijhorende verhaallijnen is het aangewezen om de verhaallijnen voor de Vlaamse landbouw op te stellen. Dit kan gebeuren via een brede bevraging al dan niet steunend op het scenariowerk dat verricht werd door de VLM in het kader van de projectgroep 'plattelandsbeleid, een gezamenlijk innovatieproces'.

De beschikbare klimaatveranderingscenario's voor Vlaanderen (laag, midden, hoog) zijn momenteel gebaseerd op neerslag en evaporatie gesimuleerd door Europese regionale klimaatmodellen voor een grid dat Ukkel omvat. Aangezien de historische ruimtelijke variatie in klimaat niet erg groot is, kan men uitgaan van het feit dat in de toekomst de klimaatverschillen tussen verschillende Vlaamse regio's van dezelfde grootteorde zullen zijn.

Omwille van kleine ruimtelijke variaties is het toch van belang om de fijnschalige klimaatsystemen in verschillende regio's van Vlaanderen te simuleren. De resultaten van regionale klimaatmodellen kunnen gebruikt worden bij het inschatten van de sturende krachten op de klimaatverandering in verschillende regio's van Vlaanderen. De regionaal gemodelleerde tijdreeksen kunnen verfijnd worden met behulp van transformatie of weergeneratoren.

7.2.2 Impacten op microniveau

In het algemeen dient onderzocht te worden op welke manier het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) een bijdrage kan leveren aan het klimaatbestendig maken van landbouwproductieprocessen, (rurale) gebieden en (agro-)ecosystemen.

7.2.2.1 *Plantaardige productieve diensten*

Klimaatreeksen afgeleid van fysisch gebaseerde regionale klimaatmodellen dienen statistisch geanalyseerd te worden zodat laag, midden en hoog scenario's kunnen worden gedefinieerd die relevant zijn voor vegetatiegroei. De data van het PRUDENCE project zijn beschikbaar als 3-D matrices (x, y en tijd) maar de digitale verwerking ervan vereist middelen die niet binnen het bestek van deze opdracht mogelijk zijn.

Biomassa en oogst kunnen worden begroot door fysisch gebaseerde modellen met behulp van een uitgebreidere klimatologische dataset waarvan de klimaatvariabelen berekend zijn door middel van een combinatie van trendanalyse en regionale klimaatmodellen.

Naast kwantitatieve impacten zou het ook nuttig zijn na te gaan welke effecten kunnen verwacht worden op de kwaliteit van de gewasproductie.

7.2.2.2 *Dierlijke productieve diensten*

Omgevingstemperatuur is een belangrijke factor in het berekenen van de gevoelstemperatuur. Hierin spelen echter andere klimatologische variabelen dan gemiddelde, maximale en minimale temperatuur een rol, met name windsnelheid en windrichting, relatieve vochtigheid en radiantie. Deze klimatologische dataset dient te worden berekend door fysisch gebaseerde regionale klimaatmodellen.

Voor dierziekten, en vooral dan de blauwtongziekte, dienen eventuele omgevingstemperatuureffecten afgewogen te worden tegenover veranderingen in diertransporten en windeffecten.

7.2.2.3 *Andere diensten (landbouw en de ruimere omgeving)*

In het algemeen kan meer ingezet worden op de uitwerking van de scenario's in diverse bedrijfsmodellen, waaruit kan afgeleid worden a) welke de impact is van landbouw op de ruimere omgeving onder verschillende scenario's, b) op welke wijze landschap een actieve partner kan worden in beheer van de ruimere omgeving, c) in hoeverre klimaatadaptatiemaatregelen zich uiten in verbetering van omgevingskenmerken. Net zoals voor de thema's plantaardige en dierlijke productie zal hier wellicht sprake zijn van verschillende mogelijke types trade-offs tussen diverse mogelijke opties.

De belangrijkste hiaten met betrekking tot landbouw en de ruimere omgeving zijn:

- Het ongekende effect van de combinatie van cofactoren (naast veranderend klimaat): demografische, economische en politieke. Welke grondige verschuivingen zouden optreden als gevolg van bijvoorbeeld sterk verhoogde grondstof- en voedselprijzen? Nu reeds zijn er signalen dat als gevolg van hogere prijzen gedragingen van consumenten en producenten beginnen te verschuiven (o.a. Cassady et al., 2007). Het is erg moeilijk om het “pure klimaateffect” los te koppelen van allerlei andere effecten die er eventueel door versterkt worden.
- De impact zijn op Vlaanderen van geopolitieke ontwikkelingen die mee aangestuurd worden door klimaatveranderingen? Meer A1 of meer B2? De maatschappelijke en politieke reacties kunnen in één of andere richting uitgaan bij een bepaalde drempel van klimaatverandering.
- Naast kennis van welke de impacten zijn, is er behoefte aan vertaling van de grote scenario's tot verhaallijnen voor Vlaanderen en tot enkele “pilot-landschapsscenario's”. Hiermee wordt landschap niet geïnterpreteerd in verengde zin, maar wel de integrale lokatie en inrichtingscondities.
- De toekomstige rol van landschapselementen in de mitigatie en adaptatie van klimaateffecten ten behoeve van de landbouw, de betekenis van deze elementen in de biomassa-productie voor energiewinning en de betekenis in de noodzakelijke migratie van de wilde biodiversiteit als gevolg van de klimaatverandering vergen meer geïntegreerd onderzoek.

7.2.3 Evaluatie van de effectiviteit van adaptatiemaatregelen op macroniveau

De resultaten van deze evaluatie zijn relatief te beoordelen en te interpreteren ten opzichte van deze bekomen door Gellynck et al. (2007) aan dewelke de situatie van geen klimaatverandering in combinatie met geen adaptatie gelijk gesteld werd. Nieuwe elementen in deze aanpak zijn:

- de technische productiviteit wordt gecorrigeerd voor klimaatimpacten; en,
- de adaptatiemaatregelen kunnen de impacten van de klimaatveranderingen op de technische productiviteit ongedaan maken.

De technische productiviteit van 9 van de 16 productie-activiteiten die door Gellynck et al. (2007) werden onderscheiden, konden beoordeeld worden. Voor de overige productie-activiteiten was er geen toegang tot alle nodige basisgegevens. De impacten geschat in absolute termen (EURO) geven dus niet het volledige beeld. Vervollediging is aangewezen.

De mate van het klimaateffect op de technische productiviteit en de mate van adoptie van de adaptatiemaatregelen vormen de twee vrijheidsgraden in de berekeningen. De absolute en relatieve cijfers moeten als indicatief beschouwd worden en als een basis voor verder creatief denk- en rekenwerk.

7.3 Opties voor beleid

Aangezien landbouw één van de meest klimaatgevoelige sectoren is, heeft de landbouw geen andere keuze dan zich aan te passen aan klimaatverandering. De landbouwsector heeft zich van oudsher aangepast aan de weersomstandigheden en de daarmee gepaard gaande onzekerheden. Desondanks zijn er in de literatuur genoeg voorbeelden dat er totnogtoe weinig aanpassing is aan de huidige klimaatverandering. De meeste van de **adaptatiemaatregelen** situeren zich op bedrijfsniveau door aanpassingen in bijvoorbeeld plant- en oogstdata, aanpassing van de teelttechniek, gewasrotaties, rantsoen- en drinkwatervoorziening voor vee of het gebruik van technologieën. Het landbouwbeleid kan stimulerend of afremmend werken voor bepaalde praktijken of maatregelen. Onderzoek en ontwikkeling zijn daarbij van belang alsook informatiecampagnes over de investeringskosten, het creëren van de juiste socio-economische voorwaarden voor duurzame adaptatie en het monitoren van klimaat door onder meer het tijdig verstrekken van correcte informatie.

Gegeven de complexiteit van de landbouw en de betrokkenheid van een groot aantal stakeholders en actoren is het schatten van **kosten en baten** van adaptatiemaatregelen een ware uitdaging. In deze studie werden de kosten voor Vlaanderen begroot door middel van gesimuleerde impacten op de productieve plantaardige en dierlijke diensten. De resultaten geven aan wat het geheel aan

adaptatiemaatregelen mag kosten om tot een acceptabele efficiëntie te komen. De efficiëntie van de individuele maatregelen werd niet beoordeeld en zou een logische volgende stap zijn.

De Vlaamse Landbouwsector reageert snel op prijswijzigingen en wijzigingen in rentabiliteit, en verwacht kan worden dat de sector de vereiste adaptatiemaatregelen op bedrijfsniveau (rassenkeuze, rotaties, oogst- en plantdata) zal invoeren en hierbij onderzoek en ontwikkeling zal aandrijven. De overheid kan hier stimulerend optreden, maar een bijzondere taak voor de overheid ligt bij het nemen van stimulerende en regulerende maatregelen en het ondersteunen van het nodige onderzoek om te zorgen voor de **duurzaamheid van de adaptatiemaatregelen op bedrijfsniveau**. Hierbij denken we vooral aan de bescherming van grond- en oppervlaktewater en het behoud van bodemkwaliteit. Pertinente onderzoeksvragen zijn: Welke positieve en negatieve milieu-impacten zullen gepaard gaan met verwachte verschuivingen in teelt patronen onder een gewijzigd klimaat? Hoe kan de verhoogde ziekte en onkruiddruk bestreden worden zonder verhoogd pesticidengebruik? Hoe kan vermeden worden dat een meer variabel klimaat en grotere winterneerslag leidt tot meer nitraatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater? Welke maatregelen kunnen genomen worden om het verhoogd erosierisico onder een meer variabel klimaat in te perken? Kan het invoeren van niet-kerende grondbewerking een antwoord zijn op het toegenomen risico op erosie en waterstress? Het onderzoek naar deze aspecten dienen ondersteund te worden door de overheid.

Landbouw kan een bijdrage leveren aan het **klimaatbestendig** maken van een gebied. Dit kan enerzijds door het stimuleren van een meer duurzame landbouw die actief gebruik maakt van ecologische diensten zoals bijvoorbeeld agrarische biodiversiteit en duurzaam bodembeheer, anderzijds door het leveren van diensten aan de maatschappij zoals wateropslag op het bedrijf in het kader van duurzaam waterbeheer. Het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid kan hierin een faciliterende rol spelen, voornamelijk via de tweede pijler.

Het Vlaamse landgebruik wordt voor 45 tot 50% gedomineerd door landbouw. Het Europese Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB) is een sterk beleidsraamwerk met verschillende stimulerende maatregelen die niet enkel de landbouw maar ook landgebruik beïnvloeden. Bij het realiseren van adaptatiemaatregelen dient het **ruimtelijk beleid** echter een sterk ondersteunende rol te spelen: een klimaatbestendige ruimtelijke ordening heeft behoefte aan meer ruimte voor het herstel van natuurlijke hulpbronnen (bodem, water, natuur). Teneinde de kwetsbaarheid van een regio te verlagen vergt dit het opstellen van een afwegingskader voor locatiekeuzes.

De verschillende **opties voor het landbouwbeleid** om adaptatie te bevorderen, kunnen worden gerealiseerd door bijhorende beleidsinstrumenten die zich situeren op het vlak van regulering en wetgeving, aanmoediging en overeenkomsten, markt- en inkomensbeheer, en het monitoren met tijdig verstrekken van correcte informatie. In het "Third Assessment" rapport (IPCC, 2001; Burton, 1996) worden een aantal generische beleidsopties voor adaptatie voorgesteld, met name:

- Verliezen dragen. Dit is de kwetsbare weg waarbij de klimaatverandering wordt ondergaan omdat de investeringskosten té hoog zijn ten opzichte van de risico's en verwachte impacten;
- Verliezen delen. Hier worden de verliezen gedeeld door de betrokkenen door middel van allerlei vormen van solidariteit tot verzekeringssystemen en overheidssteun. Inkomenswaarborg en verzekering tegen oogstderving (bijvoorbeeld voor misoogsten door waterschade) zijn mogelijkheden om de verliezen te ondervangen;
- Wijzigen van de bedreiging. In een aantal gevallen kunnen de risico's die gepaard gaan met klimaatverandering worden omgebogen door het invoeren van controlemaatregelen en bijhorende financiering voor het bestrijden van bijvoorbeeld overstroming of extreme vormen van erosie;
- Voorkomen van effecten. De impacten van de klimaatverandering kunnen worden gecounterd door middel van adaptatiemaatregelen op perceels- en bedrijfsniveau;
- Gebruik veranderen. Bepaalde productieactiviteiten kunnen een zo groot bestaansrisico inhouden dat het aangewezen is om de activiteit stop te zetten. Dit vergt een herverdeling van landgebruik, functies en diensten van de resterende activiteiten;
- Locatie veranderen. Een drastische respons is het reloceren van productieactiviteiten. Landbouwsystemen en huidige landbouwzones dienen daarbij aangepast te worden aan de nieuwe klimaatsomstandigheden. Concreet voor Vlaanderen betekent dit de introductie van teelten of rassen uit huidige, meer zuidelijk gelegen landbouwstreken. Landgebruik, functies en diensten zullen hierdoor grondige veranderingen ondergaan;
- Onderzoek & technologie. Hier wordt ingezet op verbeterde technieken zoals bijvoorbeeld irrigatie & drainage, op meer aandacht voor veredeling en toepassing van nieuwe

veredelingstechnieken om klimaattolerante rassen en variëteiten te ontwikkelen en op onderzoek naar de natuurlijke capaciteit van gewassen om zich aan te passen aan de veranderende omgeving teelttechnisch beter te exploiteren; en naar genetische hulpbronnen en hun conservatie om dit te realiseren;

- Aanmoedigen van gedragsverandering. Informatiecampagnes kunnen worden opgezet om correcte informatie te verstrekken met betrekking tot klimaatverandering en tot adaptatiemogelijkheden.

In praktijk zullen verschillende van deze beleidsopties worden ingezet al naar gelang de productieactiviteit, het verwachte klimaatveranderingscenario en de strategie van de overheid om al dan niet sterk regulerend op te treden. De meest courante **landbouwbeleidsinstrumenten** die kunnen worden gehanteerd zijn:

- Verzekeringsmechanismen en systemen;
- Prijssignalen en marktbeleid;
- Financieringsschema's;
- Regulering;
- Aanmoediging en overeenkomsten; en,
- Onderzoek en ontwikkeling.

Voor Vlaanderen dienen zich ook **opportunities** aan met betrekking tot adaptatie van de landbouw aan klimaatverandering. De economische dynamiek in de Vlaamse landbouw met hoogproductieve methodes, kennis, gesofisticeerde technologie, management, infrastructuur en investeringscapaciteiten, functioneert vooralsnog veel sneller dan die van klimaatverandering. De vraag is natuurlijk hoeveel misoogsten en economische verliezen men moet tolereren vooraleer spontane adaptatie in werking treedt. De gevolgen van de klimaatverandering dienen daarom integraal deel uit te maken van het landbouwbeleid door middel van verfijnde verzekeringsmechanismen, beheer van natuurlijke hulpbronnen en waarborgen van agro-ecologische diensten, en verhogen van klimaatbestendige infrastructuur. Belangrijk hierbij is het opzetten van informatiesystemen wat de nodige technische en institutionele capaciteit vereist.

8 REFERENTIES

- Adams, R.M., Hurd, B.H., Lenhart, S. en Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11: 19-30.
- ADS, 2007. Klimatologisch overzicht volgens de berekeningen van de Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie volgens cijfers van het Koninklijk Meteorologisch Instituut van België. http://statbel.fgov.be/home_nl.asp
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A., 2007. Europe. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- Alexandrov, V.A. en Hoogenboom, G. (2000). Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the Southeastern USA. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 45-63.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. *Crop Evapotranspiration : Guidelines for computing crop water require-ments*. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, FAO, Rome.
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers) (2003). Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. In: *ASAE standards 2003, 50th edition*. ASAE, St. Joseph (Michigan).
- Austic, R.E. (1985). Feeding poultry in hot and cold climates. In: *Stress physiology in livestock-Volume 3: Poultry*. Yousef, M.K. (ed.). CRC Press, Boca Raton (Florida). 159p.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G, Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symnioudis, I., Watt, A.D. en Whittaker, J.B., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8: 1-16.
- Beker, A. en Teeter, R.G. (1994). Drinking water temperature and potassium chloride supplementation effects on broiler body temperature and performance during heat stress. *The Journal of Applied Poultry Research*, 3: 87-92.
- Berman, A., 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*, 83: 1377-1384.
- Bernaerts E., Demuyneck E. & Platteau J., 2008. Productierekening van de Vlaamse land- en tuinbouw 2006-2007, Beleidsdomein Landbouw en Visserij, afdeling Monitoring en Studie, Brussel.
- Betts, R.A., Boucher, O., Collins, M., Cox, P.M., Falloon, P.D., Gedney, N., Hemming, D.L., Huntingford, C., Jones, C.D., Sexton, D.M.H., Webb, M.J., 2007. Projected increase in continental runoff due to plant responses to increasing carbon dioxide. *Nature* 448, 1037-1041.
- Boukhris O., Baguis P., Willems P., Roulin E., 2007. Climate change impact on hydrological extremes along rivers and urban drainage systems II. Study of climate change scenarios, Interim report May 2007, 92 p
- Bray, D.R., Bucklin, R.A., Carlos, L. en Cavalho, V. (2003). Environmental temperatures in a tunnel ventilated barn and in an air conditioned barn in Florida. In: *Proceedings of the 5th international dairy housing conference*. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J. en Weretilnyk, E. (2000). Responses to abiotic stresses. In: *Biochemistry & molecular biology of plants*. Buchanan, B.B., Gruissem, W. en Jones, R.L. (eds.). American Society of Plant Physiologists, Rockville. 1367p.
- Bridges, T.C., Gates, R.S., Overhults, D.G. en Turner, L.W. (2004). Assessing the benefits of misting-cooling systems for growing-finishing swine in Kentucky as affected by environment and pig placement date [on line]. Beschikbaar op: <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/aen/aen83/aen83.pdf> [20/12/2007].
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Haris, S.F.B. Tett and P.D. Jones (2006). "Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850". *J. Geophysical Research* 111: D12106.

- Brouk, M.J., Smith, J.F. en Harner, J.P., III (2003a). Effect of sprinkling frequency and airflow on respiration rate, body surface temperature and body temperature of heat stressed dairy cattle. In: Proceedings of the 5th international dairy housing conference. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- Brouk, M.J., Smith, J.F. en Harner, J.P., III (2003b). Effect of utilizing evaporative cooling in tiestall dairy barns equipped with tunnel ventilation on respiration rates and body temperature of lactating dairy cattle. In: Proceedings of the 5th international dairy housing conference. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- Bultot, F., Dupriez, G.L. and Gellens, D., 1988. Estimated annual regime of energy balance components, evapotranspiration and soil moisture for a drainage basin in case of a CO₂ doubling. *Climate Change* 12, pp. 39–56.
- Burton, I., 1996. The growth of adaptive capacity: practice and policy. In: Smith, J., Bhatti, N., Menzhulin, G., Benioff, R., Budyko, M.I., Campos, M., Jallow, B., Rijsberman, F. (Eds.), *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. Springer, New York, pp. 55–67.
- Calegari, F., Calamari, L. en Frazzi, E. (2003). Effects of ventilation and misting on behaviour of dairy cattle in the hot season in South Italy. In: Proceedings of the 5th international dairy housing conference. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- Cannon, R.J.C., 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology*, 4:785-796.
- Carr, L. en Carter, T. (1985). Housing and management of poultry in hot and cold climates. In: *Stress physiology in livestock-Volume 3: Poultry*. Yousef, M.K. (ed.). CRC Press, Boca Raton (Florida). 159p.
- Cassady, D., Jetter, K.M. and Culp, J., 2007. Is price a barrier to eating more fruits and vegetables for low-income families? *Journal of the American Dietetic Association*, 107 (11): 1909-1915.
- Chakraborty, S., Pangga, I.B., Lupton, J., Hart, L., Room, P.M. en Yates, D., 2000b. Production and dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* spores on *Stylosanthes scabra* under elevated CO₂. *Environmental Pollution*, 108: 381-387.
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V. en Teng, P.S., 2000a. Climate change: potential impact on plant diseases. *Environmental Pollution*, 108: 317-326.
- Chase, L.E., 2006. Climate change impacts on dairy cattle [on line]. Beschikbaar op: <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.3Cattle.pdf> [31/10/2007].
- Christensen, J., Carter, T., Rummukainen, M., Amanatidis, G., 2007a. Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change* 81, 1-6.
- Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P., 2007. Regional Climate Projections. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Coakley, S.M., Scherm, H. en Chakraborty, S., 1999. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology*, 37: 399-426.
- Collier, R.J., Dahl, G.E., VanBaale, M.J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89: 1244-1253.
- Conrad, J.H. (1985). Feeding of farm animals in hot and cold environments. In: *Stress physiology in livestock-Volume 2: Ungulates*. Yousef, M.K. (ed.). CRC Press, Boca Raton (Florida). 261p.
- Coviella, C.E. en Trumble, J.T., 1999. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conservation Biology*, 13: 700-712.
- Cuculeanu, V., Marica, A. en Simota, C. (1999). Climate change impact on agricultural crops and adaptation options in Romania. *Climate Research*, 12: 153-160.
- Daghir, N.J. (1995a). Broiler feeding and management in hot climates. In: *Poultry production in hot climates*. Daghir, N.J. (ed.). CAB International, Wallingford (U.K.). 303p.
- Daghir, N.J. (1995b). Replacement pullet and layer feeding and management in hot climates. In: *Poultry production in hot climates*. Daghir, N.J. (ed.). CAB International, Wallingford (U.K.). 303p.

- Darwin, R., Tsigas, M., Lewandrowski, J. en Ranases, A. (1995). World agriculture and climate change: economic adaptations. Agricultural Economic Report No. 703. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington DC. 86p.
- De Brabander, D., De Campeneere, S. en Ryckaert, I. (2007). Melkveevoeding. Vlaamse overheid Beleidsdomein Landbouw en Visserij, afdeling Duurzame Landbouwwontwikkeling, Brussel. 104p.
- de Loë, R., Kreutzwiser, R. en Moraru, L. (2001). Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector. *Global Environmental Change*, 11: 231-245.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2001. The welfare of hens in free range systems. Defra publications, London. 20p.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2002. Technical review-Bluetongue: The virus, hosts and vectors. Defra publications, London. 25p.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2003. Code of recommendations for the welfare of livestock: Pigs. Defra publications, London. 35p.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2005. Heat stress in poultry-Solving the problem. Defra publications, London. 24p.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), 2007. Bluetongue: Guidance on the disease vector and potential mitigation measures. Defra publications, London. 6p.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) 2007 a. About bluetongue [on line]. Beschikbaar op: <http://www.defra.gov.uk/animalh/diseases/notifiable/bluetongue/about/index.htm> [6/11/07].
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) 2007 b Bluetongue: How to spot the disease. Defra publications, London. 8p.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, 1979.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 1977.
- Easterling, W.E. (1996). Adapting North American agriculture to climate change in review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80: 1-53.
- Enserink, M. 2006. During a hot summer, bluetongue virus invades northern Europe. *Science*, 313: 1218-1219.
- Ernst, R.A. (1995). Housing for improved performance in hot climates. In: Poultry production in hot climates. Dagher, N.J. (ed.). CAB International, Wallingford (U.K.). 303p.
- EURURALIS Scenarios, 2004. EURuralis 1.0. A scenario study on Europe's Rural Areas to support policy discussion. CD-ROM publication.
- FAVV (Federaal Agentschap voor Veiligheid van de Voedselketen) 2007. Bluetongue FAQ: Vragen en antwoorden voor houders van herkauwers [on line]. Beschikbaar op: http://www.favv-afsa.be/crisis/sa-blueT/doc07/2007-10-31_faq_v21_nl.pdf [7/11/07].
- Feyen, W., 2002. Extreme stormen in Vlaanderen. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling water, 342 p.
- Gebresenbet, G. en Sällvik, K. 2006. Animal welfare aspects-The technical challenge during housing, transport and slaughter: Dairy cows. In: Livestock production and society. Geers, R. en Madec, F. (eds.). Wageningen Academic Publishers, Wageningen. 308p.
- Gellynck, X., G. Van Huylenbroeck, V. Vandermeulen, K. Bervoets, H. Leinfelder, D. Verhoestraete, J. Van Orshoven, K. Bomans, H. Gulinck, G. Vloebergh, G. Laureys, J. De Greef and P. Wuillaume, 2007. Analyse van de huidige en toekomstige ruimtebehoefte voor land- en tuinbouw en toekomstige ontwikkelingen binnen land- en tuinbouw. Eindrapport studie ALT/AMS/2005/3 i.o.v. het Afdeling Monitoring en Studie van het Departement Landbouw en Visserij van de Vlaamse Overheid: 114 p. + bijlagen.
- Gobin, A., Campling, P., Feyen, J., 1995. Report on water resources development for domestic use and small-scale irrigation in the rural areas of southeastern Nigeria. Annual VLIR Project Report to ABOS.
- Gobin, A., Campling, P., Feyen, J., 1998. Work Programme 4000: Development of the modelling approach for soil water and vegetation development. In: Application Service for Drought Early Warning in Mali based on scatterometer information. Interim Report 1. European Space Agency – Data User Programme.

- Gowe, R.S. en Fairfull, R.W., 1995. Breeding for resistance to heat stress. In: Poultry production in hot climates. Dagher, N.J. (ed.). CAB International, Wallingford (U.K.). 303p.
- Gregory, N.G. 2004. Physiology and behaviour of animal suffering. Blackwell Publishing, Oxford. 268p.
- Hahn, G.L., 1985. Management and housing of farm animals in hot environments. In: Stress physiology in livestock-Volume 2: Ungulates. Yousef, M.K. (ed.). CRC Press, Boca Raton (Florida). 261p.
- Harrington, R., Fleming, R.A. en Woiwod, I.P. 2001. Climate change impacts on insect management and conservation in temperate regions: can they be predicted? *Agricultural and Forest Entomology*, 3: 233-240.
- Herm, M. en De Blust, G. (eds.), 1997. Punten en lijnen in het landschap. Schuyt & Co, Haarlem en Van de Wiele, Brugge. 336p.
- Hibberd, J.M., Whitbread, R. en Farrar, J.F. 1996. Effect of elevated concentrations of CO₂ on infection of barley by *Erysiphe graminis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 48: 37-53.
- IAH (Institute for Animal Health) 2006. IAH-factfile: Bluetongue [on line]. Beschikbaar op: <http://www.iah.bbsrc.ac.uk/bluetongue/BTV.htm> [6/11/07].
- Iglesias, A. en Minguez, M.I., 1997. Modelling crop-climate interactions in Spain: vulnerability and adaptation of different agricultural systems to climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1: 273-288.
- IPCC, 2001. Climate Change 2001. IPCC third assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers. <http://www.ipcc.ch/>
- Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D., 2003. Future Climate Impact on the Productivity of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe. *Climatic Change* 58, 93-108.
- Kammel, D.W., Raabe, M.E. en Kappelman, J.J., 2003. Design of high volume low speed fan supplemental cooling system in dairy free stall barns. In: Proceedings of the 5th international dairy housing conference. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- Kaukoranta, T., 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. *Agricultural and Food Science in Finland*, 5: 311-327.
- Kimball, B.A., Kobayashi, K., Bindi, M., 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment, *Advances in Agronomy*, Vol 77. *Advances in Agronomy*, pp. 293-368.
- Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Pinter, P.J., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Adamsen, F.J., Leavitt, S.W., Thompson, T.L., Matthias, A.D., Brooks, T.J., 1999. Free-air CO₂ enrichment and soil nitrogen effects on energy balance and evapotranspiration of wheat. *Water Resources Research* 35, 1179-1190.
- Kirkby, M., Gobin, A., 2003. Deliverable 05: pesera modelling strategy, including land use and vegetation growth submodules. European Commission funded fifth framework project - contract 'QLK5-CT-1999-01323'.
- Klijn, J.A., Vullings, L.A.E., Berg, M. v.d., Van Lammeren, R., Van Rheenen, T., Tabeau, A.A., Veldkamp, T., Verburg, P.H., Westhoek, H., Eickhout, B., 2005. Alterra-rapport 1196, The EURuralis study: Technical document. Alterra, Wageningen, Nederland. 215p.
- KNMI, 2006. "Klimaat in de 21ste eeuw: vier scenario's voor Nederland", Koninklijk Meteorologisch Instituut, De Bilt, Nederland.
- Lucas, E.M., Randall, J.M. en Meneses, J.F., 2000. Potential for evaporative cooling during heat stress periods in pig production in Portugal (Alentejo). *Journal of agricultural engineering research*, 76: 363-371.
- Luijmes, R. 2007. Hittestress bij koe eerder dan verwacht. *Nieuwe Oogst Magazine Veehouderij*, 13: 18-19.
- Mader, T.L en Davis, M.S., 2004. Effect of management strategies on reducing heat stress of feedlot cattle: feed and water intake. *Journal of Animal Science*, 82: 3077-3087.
- Mader, T.L., Holt, S.M., Hahn, G.L., Davis, M.S. en Spiers, D.E., 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 80: 2373-2382.
- Martens, J.W., McKenzie, R.I.H. en Green, G.J. 1967. Thermal stability of stem rust resistance in oat seedlings. *Canadian Journal of Botany*, 45: 451-458.

- Mauney, J.R., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Lamorte, R.L., Lewin, K.F., Nagy, J., Hendrey, G.R., 1994. Growth and Yield of Cotton in Response to a Free-Air Carbon-Dioxide Enrichment (Face) Environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 70, 49-67.
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Meehl, G.A., W.M. Washington, C.A. Ammann, J.M. Arblaster, T.M.L. Wigley and C. Tebaldi, 2004. "Combinations of Natural and Anthropogenic Forcings in Twentieth-Century Climate". *Journal of Climate* 17: 3721-3727.
- Mendelsohn, R., 2000. Efficient adaptation to climate change. *Climatic Change*, 45: 583-600.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N. and Roy, D.B., 2006. Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 15, pp. 498-504.
- Mertens, P.P.C. en Mellor, P.S. 2003. Bluetongue. *State Veterinary Journal*, 13 (No 1):18-25.
- Mijten, E., 2007. Eensgezindheid over aanpak van blauwtong. *Boer&Tuinder*, jaargang 113, nr. 48, p.10.
- Mijten, E., 2008. Europa dubbelzinnig over vaccinatie tegen blauwtong. *Boer&Tuinder*, jaargang 114, nr. 3, p. 6.
- MIRA, 2008. (Leo De Nocker, Karla Schoeters, Ils Moorkens, Kaat Jaspers, Kristien Aernouts, Daan Beheydt, Wouter Vanneuville & Johan Brouwers) Achtergronddocument Klimaatverandering. Milieurapport Vlaanderen, VMM, 2008. http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/02_THEMAS/02_12/ACHTERGRONDDOCUMENT_KLIAMAATVERANDERING.PDF
- Mitlöhner, F.M., Morrow, J.L., Dailey, J.W., Wilson, S.C., Galyean, M.L., Miller, M.F. en McGlone, J.J. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 79: 2327-2335.
- Nakicenovic, N. et al., 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp.
- Nienaber, J.A. en Hahn, G.L, 2004. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress [on line]. Beschikbaar op: <http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/54380560/Publications/Evora2004.pdf> [31/10/2007].
- Nienaber, J.A., Hahn, G.L. en Eigenberg, G.A. 1999. Quantifying livestock responses for heat stress management: a review. *International Journal of Biometeorology*, 42: 183-188.
- Nillesen, E.E.M. en van Ierland, E.C. (2006). Climate adaptation in the Netherlands, study in the framework of the Netherlands Programme Scientific Assessment and Policy Analysis Climate Change. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven. 118p.
- Olesen, J.E. en Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity. *European Journal of Agronomy*, 16: 239-262.
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Diaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubaek, G.H., Sau, F., Smith, B., Sykes, M.T., 2007. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change* 81, 123-143.
- Ottman, M.J., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Wall, G.W., Vanderlip, R.L., Leavitt, S.W., LaMorte, R.L., Matthias, A.D., Brooks, T.J., 2001. Elevated CO₂ increases sorghum biomass under drought conditions. *New Phytologist* 150, 261-273.
- Pereira, L.S. (1999). Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion. *Agricultural Water Management*, 40: 153-169.
- Petzoldt, C. en Seaman, A. 2006. Climate change effects on insects and pathogens [on line]. Beschikbaar op: <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.2Insects.Pathogens.pdf> [25/10/07].
- PLD Limburg (Provinciale Landbouwdienst Limburg) (s.d.) Stalklimatisatie [on line]. Beschikbaar op: <http://www1.limburg.be/landbouw/stalklimatisatie.html> [13/02/2008].
- Polley, H.W., 2002. Implications of Atmospheric and Climatic Change for Crop Yield and Water Use Efficiency. *Crop Science* 42, 131-140.
- Praks, J., Poikalainen, V., Veermäe, I. en Sossidou, E. 2007. Cattle. Part B: Livestock production systems: Welfare, environment and product quality. In: *Farm animal welfare, environment & food*

- quality interaction studies. Sossidou, E. en Szücs, E (eds.). WELFOOD Partners, Thessaloniki. 304p.
- Purse, B.V., McCormick, B.J.J., Mellor, P.S., Baylis, M., Boorman, J.P.T, Borras, D., Burgu, I., Capela, R., Caracappa, S., Collantes, F., De Liberato, C., Delgado, J.A., Denison, E., Georgiev, G., El Harak, M., De La Rocque, S., Lhor, Y., Lucientes, J., Mangana, O., Angel Miranda, M., Nedelchev, N., Nomikou, K., Ozkul, A., Patakakis, M., Pena, I., Scaramozzino, P., Torina, A. en Rogers, D.J. 2007. Incriminating bluetongue virus vectors with climate envelope models. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1231-1242.
- Purse, B.V., Mellor, P.S., Rogers, D.J., Samuel, A.R., Mertens, P.P.C. en Baylis, M. 2005. Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 171-181.
- Ravagnolo, O., Misztal, I. en Hoogenboom, G. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. *Journal of Dairy Science*, 83: 2120-2125.
- Risbey, J., Kandlikar, M., Dowlatabadi, H. en Graetz, D. (1999). Scale, context, and decision making in agricultural adaptation to climate variability and change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 4: 137-165.
- Rosenberg, N.J., 1992. Adaptation of agriculture to climate change. *Climatic change*, 21: 385-405.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X.B., Epstein, P.R. en Chivian, E. 2001. Climate change and extreme weather events: Implications for food production, plant diseases, and pests. *Global Change & Human Health*, 2: 90-104.
- Savoini, G. en Moretti, V.M. 2006. Quality of primary food products as affected by climate change. *Veterinary Research Communications*, 30: 99-103.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70, 1569-1578.
- Smit, B. en Skinner, M.W. (2002). Adaptation options in agriculture to climate change : a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7: 85-114.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Falloon, P. en Coleman, K. (2000). Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *Global Change Biology*, 6: 525-539.
- Sossidou, E. en Driessen, B. 2007. Sheep and goats. Part B: Livestock production systems: Welfare, environment and product quality. In: Farm animal welfare, environment & food quality interaction studies. Sossidou, E. en Szücs, E (eds.). WELFOOD Partners, Thessaloniki. 304p.
- Stowell, R.R., Gooch, C.A. en Bickert, W.G. (2003). Design parameters for hot-weather ventilation of dairy housing: a critical review. In: Proceedings of the 5th international dairy housing conference. Janni, K. (ed.). ASAE, St. Joseph (Michigan). 428p.
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B. en Schnitkey, G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of Dairy Science*, 86: E52-E77.
- Triggs, J.M., Kimball, B.A., Pinter, P.J., Wall, G.W., Conley, M.M., Brooks, T.J., LaMorte, R.L., Adam, N.R., Ottman, M.J., Matthias, A.D., Leavitt, S.W., Cerveny, R.S., 2004. Free-air CO₂ enrichment effects on the energy balance and evapotranspiration of sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology* 124, 63-79.
- Tubiello, F.N., Amthor, J.S., Boote, K.J., Donatelli, M., Easterling, W., Fischer, G., Gifford, R.M., Howden, M., Reilly, J., Rosenzweig, C., 2007. Crop response to elevated CO₂ and world food supply: A comment on "Food for Thought..." by Long et al., *Science* 312:1918-1921, 2006. *European Journal of Agronomy* 26, 215-223.
- Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C. en Stockle, C.O. (2000). Effects of climate change and elevated CO₂ on cropping systems: model predictions at two Italian locations. *European Journal of Agronomy*, 13: 179-189.
- UCSD (University of California San Diego). Bt GM (genetically modified) crops [on line]. Beschikbaar op: http://www.bt.ucsd.edu/bt_crop.html [15/02/2008].
- UGCN (uiergezondheidscentrum Nederland) en VETVICE (2007). Hittestress: Het 21 graden actieplan. Poster.
- van Bockstal P., Verstraete E., Zanders J., De Smedt P., Dries I. en Vervisch T., 2006. Vier scenario's voor het Vlaamse platteland in 2030. Werkdocument VLM.

- Vanclooster, M, P. Viane, J. Diels, and Christiaens, K. 1994. WAVE: a Mathematical Model for Simulating Water and Chemicals in the Soil and Vadose Environment-Reference and User's Manual. Institute for Land and Water Management, Leuven, Belgium.
- van den Berg, G. (2007). Kansen groter dan risico's: aardappelteelt gebaat bij klimaatverandering. Boerderij: weekblad voor de landbouw, 92, 46: 16-19.
- Van den Hurk, B.J.J.M., Tank, A.K., Lenderink, G., van Ulden, A., van Oldenborgh, G.J., Katsman, C., van den Brink, H., Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W., and Drijfhout, S., 2007. New climate change scenarios for the Netherlands Water Science and Technology, 2007, 56, 4, 27-33.
- van der Linde, A.M., 2007a. Licht overheerst in nieuwe stal. Boerderij: weekblad voor de landbouw, 93, 5: 42-43.
- van der Linde, A.M., 2007b. Stalklimaat staat voorop in nieuwe stal. Boerderij: weekblad voor de landbouw, 93, 7: 38-40.
- Verwaest T. en Verstraeten J., 2005. Measurements of sea-level rise at Oostende (Belgium). In Baeteman C. (ed.), abstract book, Late Quaternary Coastal Changes: Sea Level, Sedimentary Forcing and Anthropogenic Impacts, a joint INQUA-IGCP Project 495 Conference, Dunkerque, June 28-July 2, 2005.
- Verwaest T., Viaene P., Verstraeten J. en Mostaert F. (2005) De zeespiegelstijging. meten, begrijpen en afblokken. De Grote Rede 15, december 2005, p. 15-25.
- VILT (Vlaams Informatiecentrum over Land- en Tuinbouw) (2004). Wase windboeren oogsten groene stroom [on line]. Beschikbaar op: <http://www.vilt.be/gevilt/detail.phtml?id=739> [12/02/2008].
- VLM (Vlaamse Landmaatschappij)(2007). Laagfosfor- en laageiwitvoeder (het convenant) [on line]. Beschikbaar op: <http://www.vlm.be/landtuinbouwers/mestbank/aangifte/voeders/Pages/default.aspx> [14/02/2008].
- Wallin, J.R. en Waggoner, P.E. 1950. The influence of climate on the development and spread of *Phytophthora infestans* in artificially inoculated potato plots. Plant Disease Reporter Supplement, 190: 19-33.
- West, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 86: 2131-2144.
- Willems P., Boukhris O., Berlamont J., Van Eerdenbrugh K., Viaene P., Blanckaert J., 2007. Impact van klimaatverandering op Vlaamse rivieren', Het Ingenieursblad, 29, januari 2007, 28-33
- Wilson, J.R., Deinum, B. en Engels, F.M. 1991. Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. Netherlands Journal of Agricultural Science, 39: 31-48.
- Wolfenson, D., Bachrach, D., Mamman, M., Graber, Y. en Rozenboim, I. 2001. Evaporative cooling of ventral regions of the skin in heat-stressed laying hens. Poultry Science, 80: 958-964.
- Wong, S.C., Cowan, I.R., Farquhar, G.D., 1979. Stomatal Conductance Correlates with Photosynthetic Capacity. Nature 282, 424-426.
- Yalcin, S., Özkan, S., Türkmüt, L. en Siegel, P.B. 2001. Responses to heat stress in commercial and local broiler stocks. 1. Performance traits. British Poultry Science, 42: 149-152.
- Yamamura, K. en Kiritani, K. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones. Applied Entomology and Zoology, 33: 289-298.
- Zwart, Baltus, 2006. Wat doet de natuur als het klimaat verandert? Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), Nederland.